



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
(РИИ АлтГТУ)

О.П. Балашов

Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения

Методические указания к практическим занятиям и выполнению
расчетно-графической работы для студентов, обучающихся
по направлению «Электроэнергетика и электротехника»

Рубцовск 2016

УДК 621.31

Балашов О.П. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Методические указания к практическим занятиям и выполнению расчетно-графической работы для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2016. – 43 с.

В методических указаниях приводится содержание расчетно-графической работы по дисциплине «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения» и методика её выполнения. Рассматриваемый теоретический и практический материал может быть использован для практических занятий. Предназначено для самостоятельной работы студентов направления «Электроэнергетика и электротехника».

Рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры
электроэнергетики РИИ.
Протокол № 12 от 10.11.16.

Рецензент: к.т.н., доцент

Э.С. Маршалов

© Рубцовский индустриальный институт, 2016

Оглавление

1. Содержание расчетно-графической работы	4
2. Варианты расчетно-графической работы	4
3. Методические указания	8
3.1. Электроприемник производственного механизма.....	8
3.1.1. Назначение электроприемника и его структурная схема	8
3.1.2. Режим работы электроприемника	9
3.1.3 Принципиальная электрическая схема электроприемника и её описание....	10
3.2. Расчет и выбор электродвигателей с учетом его нагрузочной характеристики	13
3.2.1. Общие принципы.....	13
3.2.2. Режимы работы электродвигателей и нагрузочные диаграммы электроприводов.....	16
3.2.3. Определение мощности двигателя при различных режимах работы	17
3.3. Расчет и выбор нагревательного элемента электрической печи косвенного действия.....	25
3.3.1. Основные требования	25
3.3.2. Расчет нагревателей электрических печей	26
Определение диаметра и длины нагревателя для заданной печи	27
3.4. Организация технической диагностики электроустановок (ЭУ). Идентификация отказов.....	33
Список литературы.....	37
Приложение.	40

1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. Электроприемник производственного механизма.

1.1. Назначение электроприемника и его структурная схема.

1.2. Режим работы электроприемника.

1.3. Принципиальная электрическая схема электроприемника и её описание.

2. Расчет и выбор электродвигателя с учетом его нагрузочной характеристики.

3. Расчет и выбор нагревательного элемента электрической печи косвенного действия.

4. Построение диагностического графа. Расчет оценки технического состояния и остаточного ресурса электроприемника.

2. ВАРИАНТЫ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Вариант расчетно-графической работы состоит из трех групп цифр:

1 – Вариант производственного механизма (состоит из одного или двух значений)

2 – Вариант нагрузочной характеристики для выбора электрического двигателя (состоит из трех значений)

3 – Вариант расчета нагревательного элемента электрической печи косвенного действия (состоит из одного или двух значений)

1. Варианты производственных механизмов

1. Сверлильный станок.
2. Круглошлифовальный станок.
3. Фрезерный станок.
4. Токарный станок.
5. Строгальный станок.
6. Токарно-винторезный станок.
7. Электрический подъемник.
8. Лифтовая установка.
9. Расточной станок.
10. Электрический конвейер.
11. Универсальный станок.
12. Токарный полуавтомат.
13. Вентиляционная установка.
14. Компрессорная установка.
15. Расточной станок.
16. Кран-балка.
17. Токарно-карусельный станок.
18. Внутришлифовальный станок.
19. Копировальный станок.
20. Зубофрезерный станок.

21. Долбежный станок.
22. Резьбофрезерный станок.
23. Стан горячей прокатки.
24. Протяжной станок.
25. Тельфер.
26. Насосная установка.
27. Стан холодной прокатки.
28. Мостовой кран.
29. Полировочный станок.
30. Балансировочный станок.

2. Выбрать электрический двигатель с учетом нагрузочной характеристики

Номер расчётного задания состоит из трёх цифр:

1. Номер рисунка.
2. Номер варианта по таблице 1 (величины моментов даны в Н·м).
3. Номер варианта по таблице 2 (время в минутах).

Частота вращения приводного механизма $\omega_m = 50 \text{ с}^{-1}$, электрическая сеть 380/220 В, 50 Гц.

Таблица 1 – Величина момента нагрузки по нагрузочной диаграмме

№ варианта		1	2	3	4	5
Рис.1	M1	150	180	250	70	80
	M2	70	95	120	50	25
	M3	200	315	300	120	90
	M4	80	50	60	30	30
Рис.2	M1	100	110	50	25	25
	M2	130	150	85	50	45
	M3	100	120	70	30	25
Рис.3	M1	50	80	60	80	100
	M2	12	35	20	10	10
	M3	25	50	30	25	20
	M4	65	150	70	120	110
Рис.4	M1	220	50	90	100	200
	M2	100	20	30	55	70
Рис.5	M1	150	100	80	40	58
	M2	100	70	60	30	45
	M3	50	50	40	20	25
	M4	25	30	20	10	15
Рис.6	M1	20	50	75	59	100
	M2	10	25	30	35	70
	M3	50	80	65	75	250
Рис.7	M1	100	98	65	80	96
	M2	50	43	45	70	32
	M3	75	65	69	150	45
Рис.8	M1	90	97	150	78	69
	M2	80	60	75	20	60
	M3	70	20	26	15	50
	M4	200	150	250	75	70

Таблица 2 – Время работы двигателя по нагрузочной диаграмме

№ варианта	1	2	3	4	5
t1	2	12	15	5	7
t2	10	9	18	2	9
t3	3	4	2	1	2
t4	1	5	15	20	12

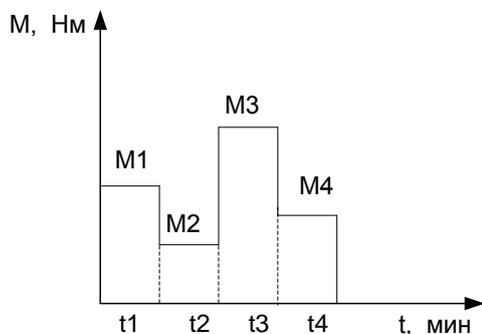


Рис.1

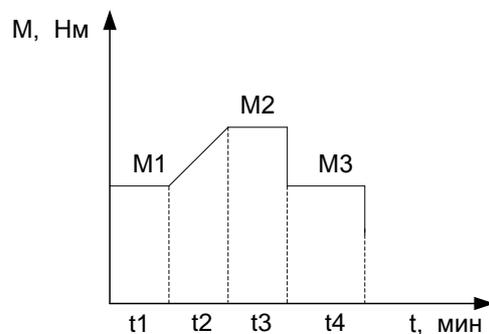


Рис.2

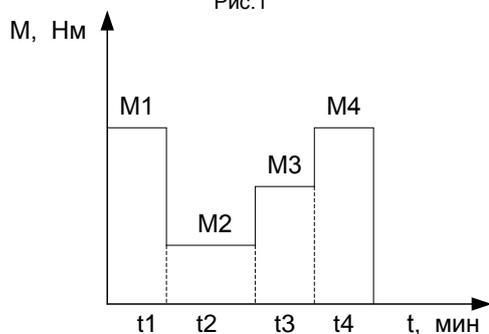


Рис.3

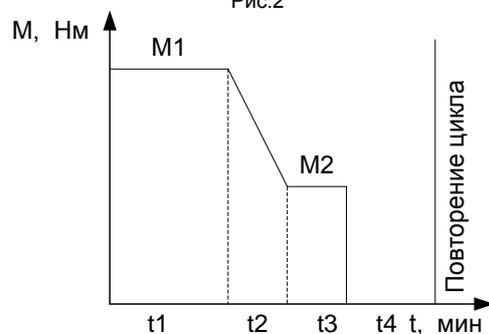


Рис.4

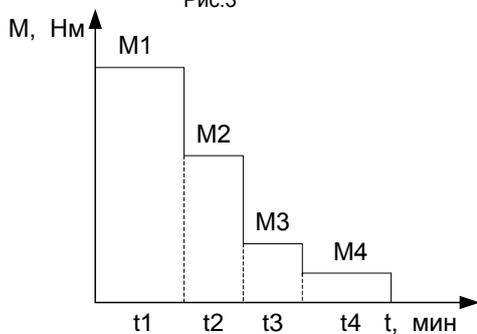


Рис.5

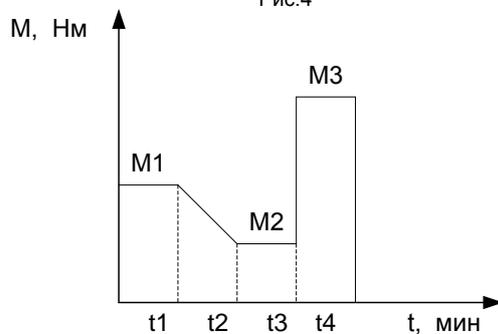


Рис.6

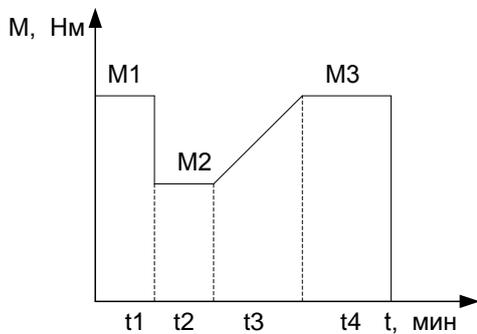


Рис.7

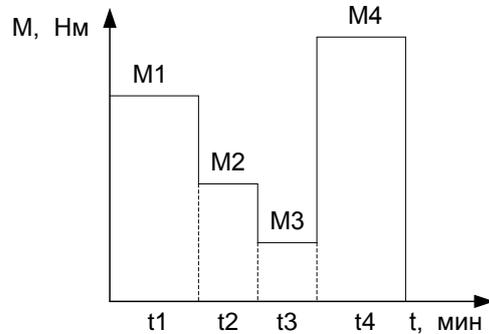


Рис.8

3. Расчет и выбор нагревательного элемента электрической печи косвенного действия

Номер варианта	Температура нагреваемого тела, град.С	Рабочая температура нагревателя, град.С	Тип печи	Размеры печи, мм			руд, Вт/л
				d	ℓ	h	
1	300	800	камерная	450	900	900	70
2	400	850	камерная	550	1000	1200	60
3	500	900	камерная	500	1000	1300	50
4	600	950	камерная	600	1000	1500	50
5	700	1000	камерная	600	1200	1200	60
6	800	1000	камерная	700	1200	1300	50
7	900	1000	камерная	600	900	1000	70
8	950	1000	камерная	800	800	1000	50
9	300	900	камерная	800	1000	1000	50
10	400	800	камерная	900	1200	1600	50
11	500	800	камерная	850	1100	1850	55
12	600	800	камерная	1000	800	2500	50
13	700	900	камерная	900	1800	1100	50
14	800	950	камерная	1000	800	1300	55
15	850	900	камерная	1000	800	800	60
16	900	950	камерная	1200	900	1000	65
17	400	1000	камерная	1300	1200	1300	50
18	500	950	камерная	1000	1000	1800	55
19	600	1000	камерная	1200	1200	800	55
20	700	800	камерная	1000	1200	1000	70
21	200	950	камерная	1300	1600	800	65
22	300	950	камерная	800	1600	1300	50
23	500	1000	камерная	1500	1400	1000	50
24	900	1000	камерная	500	600	1200	65
25	950	1000	камерная	450	680	900	60
26	300	900	камерная	400	720	800	55
27	400	800	камерная	380	750	750	55
28	500	800	камерная	340	350	700	60
29	600	800	камерная	420	450	820	70
30	700	900	камерная	475	550	880	80

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.1. ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА

3.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКА И ЕГО СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Необходимо рассмотреть назначение, состав и технические возможности электроприемника. Выполнить краткое описание основных узлов и частей установки. Привести основные технические характеристики.

Например:

Станок фрезерный вертикальный консольный модели 6P13, предназначен для фрезерования всевозможных деталей из стали, чугуна и цветных металлов торцовыми, концевыми, цилиндрическими, радиусными и другими фрезами.

На станке можно обрабатывать вертикальные, горизонтальные и наклонные плоскости, пазы, углы, рамки, зубчатые колеса и т. д.

Технологические возможности станка могут быть расширены с применением поворотного кругового стола и других приспособлений.

Станок предназначен для выполнения различных фрезерных работ в условиях индивидуального и серийного производства.

Техническая характеристика и жесткость станка позволяет полностью использовать возможности быстрорежущего и твердосплавного инструмента.

Возможность настройки станка на различные полуавтоматические и автоматические циклы позволяет организовать многостаночное обслуживание.

Станок состоит из следующих основных частей:

1) Станина - является узлом, на котором монтируются остальные узлы и механизмы станка.

2) Коробка скоростей - смонтирована непосредственно в корпусе станины. Соединение коробки с валом электродвигателя осуществляется муфтой.

3) Поворотная головка - центрируется в кольцевой выточке горловины станины и крепится к ней четырьмя болтами.

4) Коробка подач - обеспечивает получение рабочих подач и быстрых перемещений стола, салазок и консоли.

5) Консоль - узел, объединяющий цепи подач станка. В консоли смонтирован ряд валов и зубчатых колес, передающих движение от коробки подач - к винтам продольной, поперечной и вертикальной подачи, к механизму включения быстрого хода, к электродвигателю подач.

6) Стол и салазки - обеспечивают продольные и поперечные перемещения стола.

7) Электрооборудование.

Основные технические данные и характеристики станка приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики станка

Наименование параметров	Значение параметров
Стол	
Размер рабочей поверхности, мм	1600 x 400
Наибольшее перемещение стола, мм	
продольное	1000
поперечное	300
вертикальное	400
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	300
Механика станка	
Блокировки подач	есть
Торможение шпинделя	есть
Предохранение от перегрузки	есть
Привод	
Электродвигатель привода главного движения:	
Тип	A02-52-4-C2
Число оборотов в минуту, об/мин.	1460
Мощность, кВт	10
Электродвигатель привода подач:	
Тип	A02-32-4-C2
Число оборотов в минуту, об/мин.	1430
Мощность, кВт	3
Электронасос охлаждающей жидкости:	
Тип	X12-22M
Число оборотов в минуту, об/мин.	2800
Мощность, кВт	0,12
Производительность, л/мин	22

3.1.2. РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКА

Необходимо описать условия, в которых работает электрооборудование, размещение основных узлов электроприемника.

Рассмотреть силовые схемы, состав электрооборудования, включение и отключение электродвигателей и других силовых установок. Выполнить описание работы силовой части.

Аналогично рассмотреть состав схемы управления, режимы работы и органы управления.

Можно представить структурную схему электроприемника, включающую основные функциональные части, их назначение и взаимосвязи. Составные части изображаются упрощенно в виде прямоугольников произвольной формы. Графическая схема даёт наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в электрооборудовании установки. На линиях взаимодействия стрелками обозначается направление хода процессов, происходящих в схеме.

Для построения структурной схемы электрооборудование разрабатываемой установки (с учётом внесённых изменений) разбивают на основные функциональные блоки.

Например:

На станке применяются следующие величины напряжений переменного тока:

- силовая цепь $3\approx 50$ Гц, 380 В;
- цепь управления 50 Гц, 110 В;
- цепь местного освещения 50 Гц, 24 В;
- цепь питания выпрямителя 50 Гц, 110 В.

Освещение рабочего места производится светильником с гибкой стойкой типа СГС-1, смонтированным слева на станине.

Кнопки управления смонтированы на пультах, которые находятся на консоли и на левой стороне станины.

Все аппараты управления размещены на двух панелях, встроенных в нише с дверками, на лицевую сторону которых выведены рукоятки следующих органов управления:

- QS1 - вводный выключатель;
- QS2 - реверсивный переключатель шпинделя;
- SA2 - переключатель режимов;
- QS3 - выключатель охлаждения.

Электросхема предусматривает работу в трех режимах: наладочном, от рукояток и по автоматическому циклу.

Электродвигатели главного привода и привода подач реверсивные. Необходимые скорости вращения шпинделя обеспечиваются механической коробкой передач. Торможение электродвигателя шпинделя - электродинамическое.

Охлаждение режущего инструмента обеспечивает электронасос.

3.1.3. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКА И ЕЁ ОПИСАНИЕ

В принципиальную электрическую схему включается полный состав элементов электрооборудования, и дается детальное представление о принципе её работы. Она отражает взаимные связи между отдельными электрическими устройствами, аппаратами и приборами с учетом принципа действия и последовательности работы отдельных ее элементов.

Прежде чем составить схему, необходимо определить систему подключения к сети электродвигателей, катушек пускателей и реле, электромагнитов, приборов, регуляторов и других элементов. Принципиальную электрическую схему изображают в положении отключенного питания, когда на аппараты и их части нет принудительных воздействий. Такое положение является исходным для электрической схемы.

Например: Электроприемник работает на напряжение 380 В переменного тока и промышленной частоты в 50 Гц и состоит из:

- 1) силовой цепи;
- 2) цепи управления.

В силовую цепь включено:

а) 6 плавких предохранителей (FU1, FU4), которые защищают цепь от короткого замыкания (КЗ) и перегрузок;

б) 3 кольцевых токосъемника (ХА), которые действуют как стабилизаторы, снимая проходящее повышенное напряжение;

в) 2 автоматических выключателя (QF1, QF2) предохраняют цепь от тепловых и токовых перегрузок;

г) 5 двигателей: главный двигатель (М1), двигатель перемещения траверсной колонны (М2), двигатель зажима шпиндельной головки (М3), двигатель отжима шпиндельной головки (М4), двигатель охлаждения (М5);

д) 1 тепловое реле (КК), которое защищает главный двигатель от тепловых перегрузок;

В цепь управления включено:

а) 4 предохранителя (FU2, FU3), из которых 3 предохранителя (FU2) защищают цепь управления от токов короткого замыкания, и 1 предохранитель (FU3) - цепь освещения;

б) 6 магнитных пускателей (KM1, KM2, KM3, KM4, KM5, KM6) относятся к пускорегулирующей аппаратуре и способны дистанционно включать и отключать двигатели, находящиеся в силовой цепи станка;

в) 1 реле (KV) осуществляет нулевую защиту, предотвращающие самозапуск главного двигателя (М1) и двигателя перемещения траверсной колонны (М2);

г) 1 крестовой пакетный переключатель на 4 положения (вверх, вниз, влево, вправо), переключающий двигатели на автоматический и полуавтоматический режим работы;

д) 2 кнопки, (SB1, SB2) зажима и отжима шпиндельной головки станка;

е) 4 конечных выключателя (SQ1, SQ2, SQ3, SQ4), ограничивающие перемещение траверсной колонны станка в крайних положениях;

ж) лампочка (EL) служит лампой местного освещения, закреплена на станине станка;

з) трансформатор (TV) понижает напряжение для лампочки местного освещения до 32 В. Этого освещения вполне достаточно для полноценной и безопасной работы на станке.

Все электрооборудование, за исключением двигателя электронасоса охлаждения, установлено на поворотной части станка, поэтому напряжение сети 380 В подается через автоматический выключатель QF1 на кольцевой токосъемник ХА и далее через щеточный контакт в распределительный шкаф, установленный на траверсе.

Рассмотрим схему радиально – сверлильного станка модели 2А55, предназначенного для обработки отверстий диаметром до 50 мм свёрлами из быстрорежущей стали.

Перед началом работы следует произвести зажим колонны и шпиндельной головки, что осуществляется нажатием кнопки SB1 (Зажим). Получает питание катушка (т.е. магнитный пускатель) KM5, главными контактами включает двигатели M3 (двигатель гидрозажима колонны) и M4 (двигатель гидрозажима шпиндельной головки), которые в свою очередь приводят в действие гидравлические зажимные устройства. Одновременно через вспомогательный контакт катушки KM5 включается реле KV, подготавливающее питание цепей управления через свой контакт после прекращения воздействия на кнопку SB1 и отключения катушки KM5. Данное реле предотвращает самозапуск двигателей M1 и M2. Для отжима колонны и шпиндельной головки, при необходимости их перемещения, нажимается кнопка SB2 (Отжим). При этом теряет питание реле KV, что делает возможным работу на станке при отжатых колонне и шпиндельной головке.

Управление двигателями шпинделя M1 и перемещения траверса M2 производится при помощи крестового пакетного переключателя S, рукоятка которого может перемещаться в четыре положения:

- 1) влево;
- 2) вправо;
- 3) вверх;
- 4) вниз.

Переключение этих положений способствует замыканию контактов S1, S2, S3, S4. Так, в положении рукоятки “Влево” включается магнитный пускатель KM1, и шпиндель вращается против часовой стрелки.

Если рукоятку переместить в положение “Вправо”, то магнитный пускатель KM1 перестанет получать питание и отключится. Но тем временем, после отключения катушки KM1, включится катушка KM2, и шпиндель станка начнет вращаться по часовой стрелке.

При установке рукоятки крестового пакетного переключателя S в положение “Вверх” получает питание магнитный пускатель KM3, который включает в работу двигатель M2. При этом ходовой винт механизма вращается вначале вхолостую, передвигая сидящую на ней гайку, что вызывает отжим траверсы, после чего происходит подъем траверсы. По достижении траверсой необходимого уровня переводят рукоятку S в нейтральное положение, поэтому отключается магнитный пускатель KM4 и двигатель M2 реверсируется. Реверс его необходим для осуществления автоматического зажима траверсной колонны благодаря вращению ходового винта в обратную сторону и передвигению гайки до положения зажима, после чего двигатель потеряет питание и отключится.

Если теперь установить рукоятку крестового пакетного переключателя S в положение “Вниз”, то сначала произойдет отжим траверсной колонны, а затем её опускание и т.д. Перемещение траверсы в крайних положениях ограничиваются конечными выключателями SQ1 и SQ4, разрывающими цепи питания магнитных пускателей.

3.2. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ЕГО НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.2.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Электродвигатели к рабочим машинам и механизмам выбирают по следующим параметрам:

- а) напряжению;
- б) роду тока (постоянный или переменный);
- в) частоте вращения;
- г) условиям окружающей среды;
- д) характеру и значению нагрузки.

Выбор электродвигателей по напряжению и роду тока сводится к применению асинхронных машин с короткозамкнутым ротором напряжением 380/220В переменного тока, так как они наиболее дешевы, просты и надежны в эксплуатации. Асинхронные электродвигатели с фазным ротором применяют сравнительно редко, главным образом, когда необходимы большой пусковой момент и пониженное значение пускового тока. Применение таких двигателей оказывается целесообразным при питании от источников малой мощности в тех случаях, когда короткозамкнутые двигатели не проходят по условиям запуска.

При выборе электродвигателя по частоте вращения нужно стремиться к тому, чтобы частота вращения двигателя была как можно ближе к частоте вращения рабочей машины.

Мощность электродвигателя должна быть наиболее близкой к мощности рабочей машины, так как электродвигатель работает с наивысшим коэффициентом мощности $\cos \varphi$. Однако длительная перегрузка двигателя недопустима, потому что она приводит к недоиспользованию его мощности и резкому понижению $\cos \varphi$, что отрицательно влияет на работу электроустановки в целом. Следовательно, при несовпадении мощности двигателя и рабочей машины следует выбирать ближайший больший по мощности двигатель.

Правильный выбор номинальной мощности электродвигателя определяет экономическую эффективность установки. Применение двигателя недостаточной мощности приводит к преждевременному выходу его из строя. Использование двигателей завышенной мощности ведет к увеличению первоначальной стоимости электропривода и к увеличению расхода электроэнергии и потерь.

Мощность электродвигателя выбирается, исходя из необходимости обеспечения пуска, преодоления всех сопротивлений во время работы, соблюдения нормального теплового режима электродвигателя.

Нагрев электродвигателя связан с потерями энергии. При длительной работе с постоянной нагрузкой будет превышена температура охлаждающей среды на определенную величину и наступит тепловое равновесие. Если считать теплоотдачу двигателя пропорциональной разности температур двигателя и среды (температуре перегрева θ_y), то:

$$\theta_y = \frac{\Delta P}{A}, \quad (1)$$

где ΔP — потери мощности, Вт;

A — удельная теплоотдача двигателя, Вт/°С.

Удельная теплоотдача двигателя — это количество теплоты, отдаваемое двигателем в окружающую среду за секунду при разности температур в один градус.

Установившаяся температура перегрева θ_y прямо пропорциональна потерям мощности и обратно пропорциональна теплоотдаче двигателя.

Удельная теплоотдача:

$$A = \frac{\Delta P_n}{\theta_{yn}}, \quad (2)$$

где ΔP_n — номинальные потери мощности, Вт;

θ_{yn} — номинальная установившаяся температура перегрева, °С.

При включении двигателя в работу или при изменении нагрузки наблюдается тепловой переходный процесс.

Температуру перегрева двигателя в переходных режимах вычисляют по выражению

$$\vartheta = \vartheta_y (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \vartheta_{нач} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (3)$$

Величина T называется постоянной времени нагрева двигателя. Она представляет собой то время, в течение которого температура двигателя повысится от нуля до значения установившейся температуры при постоянных потерях и отсутствии отдачи теплоты в окружающую среду. Для двигателей небольшой мощности $T=10...20$ мин. (таблица 2).

Таблица 2 - Ориентировочные значения постоянной времени нагрева для электродвигателей серии 4А

Номинальная мощность электродвигателя, кВт	Значение T , мин.
до 4	15...20
5,5...11	25...30
15...37	35...40
45...90	50...60

Постоянная времени нагрева T больше у двигателей тихоходных, закрытого исполнения и возрастает с увеличением номинальной мощности.

Из графиков (рис. 1), построенных по уравнению (3), видно, что температура двигателя достигает практически установившегося значения за время, равное $4T$. Охлаждается двигатель медленнее, если он не вращается. В этом случае

теплоотдача уменьшается примерно в два раза и соответственно увеличивается постоянная времени переходного процесса T_0 и само время (рис. 1,б).

Постоянную времени нагрева и охлаждения определяют, пользуясь равенством:

$$T = \frac{C}{A}, \text{ где } C - \text{ теплоёмкость двигателя.}$$

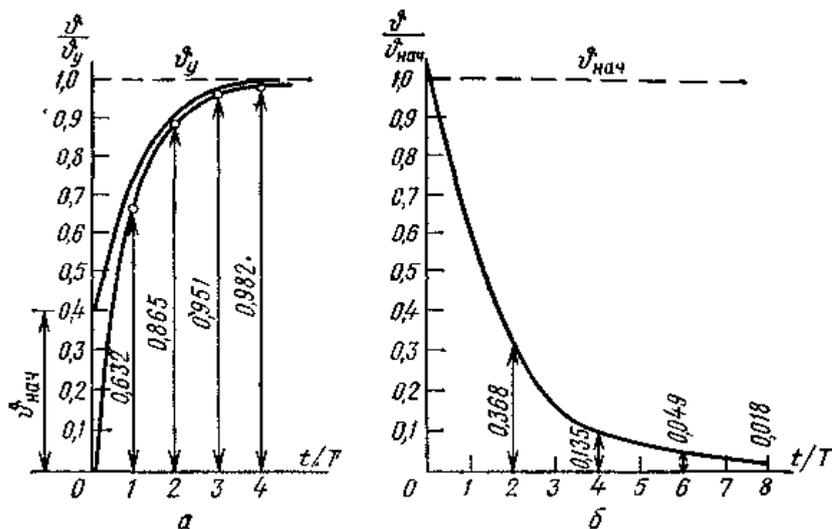


Рисунок 1 – Изменение температуры двигателя при нагреве (а) и охлаждении (б)

В электродвигателе наименьшей нагревостойкостью обладают изоляционные материалы. В электрических машинах в основном применяют изоляционные материалы, которые относят к классам А, Е, В, F, Н.

Класс А включает в себя материалы из хлопка, бумаги, полиамидных волокон, пропитанных или погруженных в масло, а также эмали и лаки. Предельно допустимая температура для этих материалов 105°C .

В электродвигателях серии 4А применяют более нагревостойкую изоляцию из синтетических и неорганических материалов классов Е, В, F. Максимальная допустимая температура их нагрева соответственно $120, 130, 155^{\circ}\text{C}$. Еще более нагревостойкие материалы класса Н используют во взрывобезопасных двигателях большой мощности.

Срок службы изоляции зависит от температуры, при которой она работает. Установлено, что повышение рабочей температуры на 10°C по сравнению с предельно допустимой сокращает срок службы изоляции вдвое. При температуре более 200°C двигатель выйдет из строя в течение нескольких минут. Вследствие этого нагрев электродвигателей является основным критерием допустимой нагрузки.

Кроме предельно допустимой температуры нагрева указывают предельно допустимое превышение температуры двигателя над окружающей средой. Эта величина получается вычитанием из предельно допустимой температуры нагрева

двигателя номинальной температуры окружающей среды, которая принята равной 40°C.

3.2.2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В зависимости от характера изменения нагрузки во времени различают продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный режимы работы рабочих машин. Номинальным режимом электрической машины называют режим работы, для которого машина предназначена предприятием-изготовителем. ГОСТ Р 52776—2007 на электрические машины предусматривает десять номинальных режимов работы электродвигателей.

Номинальный режим указывают на заводском щитке условными обозначениями S1, S2, S3 и т. д.

Основные номинальные режимы работы электродвигателей: продолжительный — S1, кратковременный—S2, повторно-кратковременный—S3, перемежающийся — S6 (рис. 2).

Дополнительные номинальные режимы: повторно-кратковременный с частым пуском S4, повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением S5, перемежающийся с частыми реверсами S7, перемежающийся режим с изменением частоты вращения S8.

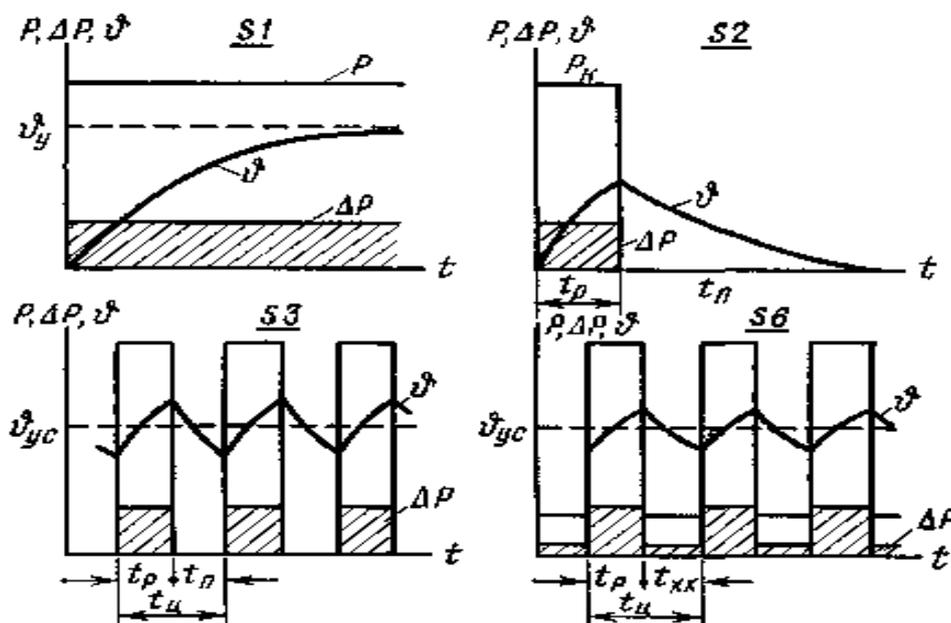


Рисунок 2 – Графики, характеризующие основные номинальные режимы работы электродвигателей

Продолжительный режим (S1) характеризуется тем, что температура всех частей электродвигателя при работе с постоянной нагрузкой достигает установившегося значения. Температуру считают установившейся, если в течение часа работы она увеличивается не более чем на один градус.

Такое состояние в электродвигателе наступает при работе с постоянной нагрузкой в течение времени, равном $4T$. Следовательно, при времени работы, равном $4T$ и больше, режим работы продолжительный.

Кратковременный режим (S2) характеризуется тем, что в рабочий период температура двигателя не успевает достичь установившегося значения, а пауза велика, так что температура двигателя снижается до температуры охлаждающей среды. В этом случае время работы $t_p < 4T$, а время паузы $t_n > 4T$.

При повторно-кратковременном режиме (S3) кратковременные периоды нагрузки чередуются с непродолжительными периодами отключения двигателя. При этом $t_p < 4T$; $t_n < T$, то есть ни в одном из периодов температура не достигает установившегося значения, но среднее ее значение θ_{yc} устанавливается неизменным.

Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью рабочего периода ПВ и длительностью цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_n. \quad (4)$$

$$\text{ПВ} = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}}. \quad (5)$$

Относительная продолжительность рабочего периода, выраженная в процентах, называется относительной продолжительностью включения и обозначается ПВ%. Номинальной длительностью цикла считают 10 мин.

$$\text{ПВ}\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Перебегающим номинальным режимом работы электродвигателя (S6) называют такой режим длительной работы двигателя, при котором кратковременные рабочие периоды t_p чередуются с периодами холостого хода $t_{\text{хх}}$ и $t_p < 4T$, $t_{\text{хх}} < 4T$.

Работа двигателя в перебегающем режиме характерна тем, что значение средней температуры достигает установившегося θ_{yc} . Длительность цикла и относительную продолжительность нагрузки определяют так же, как для повторно-кратковременного режима.

Режимы работы производственных машин и электродвигателей определяются по нагрузочным диаграммам. Под нагрузочной диаграммой производственной машины подразумевается зависимость статического момента или мощности от времени.

3.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Выбор мощности двигателя для продолжительного режима

Если момент и мощность рабочей машины не изменяется, то должен быть выбран двигатель с номинальной мощностью P_n , равной мощности нагрузки с учетом потерь:

$$P_n = \frac{P_m}{\eta}, \quad (7)$$

где P_m – мощность рабочей машины,
 η — к. п. д.

Нагрузка на валу электродвигателя может периодически изменяться, тогда также периодически будут меняться потери в двигателе и его температура (рис. 3). Когда двигатель достаточно поработает, температура будет колебаться около среднего значения. Эта средняя установившаяся температура.

$$\theta_{yc} = \frac{\Delta P_c}{A}, \quad (8)$$

где ΔP_c — среднеарифметическая мощность потерь.

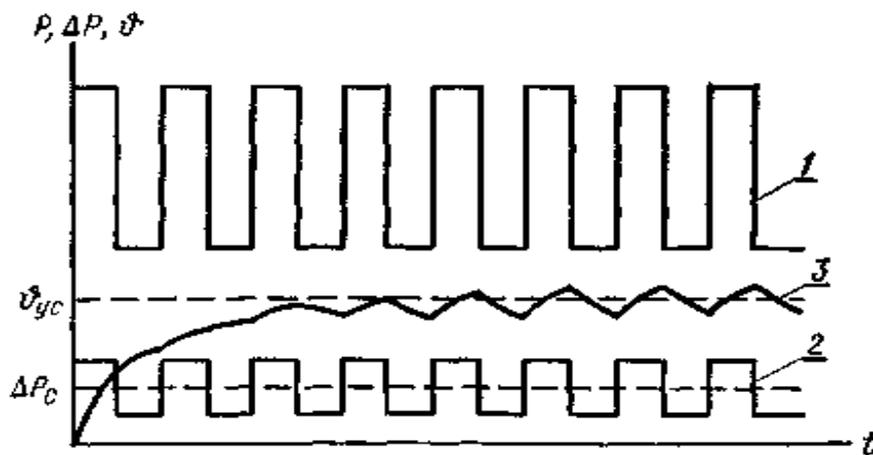


Рисунок 3 – Изменение мощности (1), потерь (2), температуры двигателя (3) при переменной продолжительной нагрузке

Выбирая электродвигатель по нагреву, рассматривают условие, чтобы средняя температура в двигателе равнялась номинальной. Для этого необходимо, чтобы средняя мощность потерь электродвигателя, работающего с переменной нагрузкой, была равна потерям мощности при номинальной нагрузке:

$$\Delta P_n = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (9)$$

В практических расчетах по этому способу, называемому методом средних потерь, предварительно выбирают двигатель по среднему значению нагрузки, а затем определяют потери для номинальной и частичных нагрузок, пользуясь равенством:

$$\Delta P = P \frac{1 - \eta}{\eta}. \quad (10)$$

Значение коэффициента полезного действия η двигателя берут из справочников.

Если полагать, что потери состоят из постоянных и переменных, которые пропорциональны квадрату тока, то можно вывести формулу для определения эквивалентного тока. За эквивалентный ток принимают некоторый постоянный по величине продолжительный ток, который вызывает такой же нагрев двигателя, как и действительный изменяющийся ток в рассматриваемый промежуток времени.

Для ступенчато-прямоугольного графика:

$$I_э = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (11)$$

В двигателях с неизменным магнитным потоком момент электродвигателя прямо пропорционален току, и для них получим аналогичное уравнение для вычисления эквивалентного момента:

$$M_э = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (12)$$

В асинхронных двигателях мощность практически прямо пропорциональна моменту, поэтому

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (13)$$

Номинальный момент электродвигателя, требуемый по условиям нагрева:

$$M_n \geq M_э. \quad (14)$$

Номинальная мощность по условиям нагрева

$$P_n \geq P_э. \quad (15)$$

При резкопеременной нагрузке следует определить также требуемый номинальный момент по условиям перегрузки:

$$M_{n(\text{пер})} = \frac{M_{\text{макс}}}{m_m}, \quad (16)$$

где $M_{\text{макс}}$ — наибольший момент переменной нагрузки.

Коэффициент допустимой перегрузки для асинхронных двигателей:

$$m_m = 0,75 k_{\text{мин}}. \quad (17)$$

Из двух значений M_n и $M_{n(\text{пер})}$ выбирается большее.

Если пуск осуществляется под нагрузкой, следует проверить, обеспечит ли двигатель достаточно быстрый разгон агрегата. Для этого определяют номинальный момент двигателя по условиям пуска, учитывая, что минимальный пусковой момент двигателя должен быть в 1,25 раза больше статического момента рабочей машины при пуске:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25M_c}{k_{мин} u^2}, \quad (18)$$

где $k_{мин}$ — кратность минимального пускового момента;

u — напряжение во время пуска, выраженное в относительных единицах.

Для агрегатов с большим приведенным моментом инерции надо определить время пуска. Предельное время пуска для короткозамкнутых асинхронных двигателей равно 10... 15 с.

Определение мощности при кратковременном режиме работы

Двигатели выбирают так, чтобы их номинальная мощность равнялась мощности рабочей машины при соответствующем времени работы.

Обычно для машин малой и средней мощности применяют двигатели, предназначенные для продолжительного режима. При этом по условиям нагрева за счет кратковременности работы номинальная мощность их может быть меньше мощности нагрузки.

Формулу для определения номинального момента можно получить из уравнения нагрева двигателя, приравняв температуру в конце работы θ_n к номинальной установившейся температуре:

$$\theta_n = \theta_{ук} (1 - e^{-\frac{t_p}{T}}). \quad (19)$$

Считая эти температуры пропорциональными квадрату соответствующих токов и моментов, имеем:

$$M_n \geq M_{кр} \sqrt{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}}, \quad (20)$$

или

$$P_n \geq P_{кр} \sqrt{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}}, \quad (21)$$

где $M_{кр}$, $P_{кр}$ — момент и мощность нагрузки;

t_p — время работы.

Так как необходимый момент, требуемый по условиям пуска, получается обычно больше, чем момент, вычисленный по условиям нагрева, то окончательный выбор номинального момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором чаще приходится делать по условию обеспечения надежного пуска:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25M_{кр}}{k_{мин} u^2}. \quad (22)$$

Определение мощности двигателя при повторно-кратковременном и перемежающемся режимах

Двигатели могут быть выбраны из серии двигателей нормального исполнения либо из серии крановых, специально предназначенных для такой работы.

Двигатели, предназначенные для повторно-кратковременного режима, рассчитаны на стандартные показания продолжительности работы: 0,15; 0,25; 0,40; 0,60 с длительностью цикла не более 10 мин.

При выборе двигателей мощность их принимают равной мощности нагрузки при соответствующей относительной продолжительности работы.

Если фактическая продолжительность работы рабочей машины отличается от стандартной, выполняют пересчет по формуле:

$$P_n = P \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_n}}, \quad (23)$$

где P , $ПВ$ — мощность и относительная продолжительность работы машины; $ПВ_n$ — стандартная продолжительность работы.

Приняв $ПВ_n=1$, получим равенство для выбора двигателя, рассчитанного для продолжительной работы:

$$P_{дл} = P_{ПВ} \sqrt{ПВ}. \quad (24)$$

Эти двигатели можно выбирать так же, как это делается при продолжительной нагрузке. На отдельных участках этой нагрузки мощность равна нулю.

Методику выбора электродвигателей рассмотрим на типовых примерах.

Пример 1. Выбрать асинхронный короткозамкнутый двигатель для привода измельчителя, установленного в цехе. Частота вращения рабочего органа машины $\omega_m=73,5 \text{ с}^{-1}$ (700 мин^{-1}). Данные нагрузочной диаграммы (рис. 4): $M_1=100 \text{ Нм}$; $M_2=150 \text{ Нм}$; $t_1=10 \text{ мин}$; $t_2=10 \text{ мин}$; $t_3=120 \text{ мин}$. Электрическая сеть 380/220 В, 50 Гц.

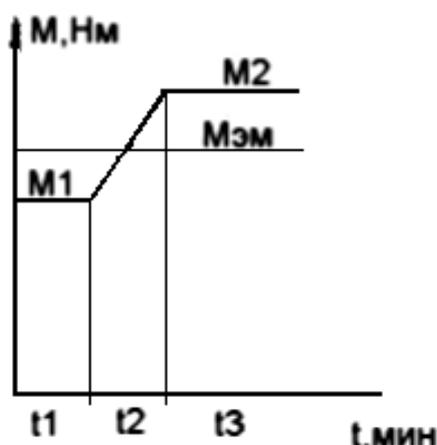


Рисунок 4 – Нагрузочная диаграмма измельчителя

Решение:

1. Определяем режим работы электропривода.

Определяем максимальную мощность измельчителя.

$$P_M = M_2 \omega_M = 150 \cdot 73,5 \text{ Вт} = 11025 \text{ Вт.}$$

Далее из таблицы 2 для двигателя такой мощности значение постоянной нагрева $T=30$ мин. Из графика нагрузочной диаграммы (рис. 4) время работы:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 = 140 \text{ мин.}$$

При этом $t_p > 4T$.

За время $t_p=140$ мин, следовательно, двигатель успеет нагреться до установившейся температуры, а в период отключения успеет охладиться до температуры окружающей среды. Такой режим работы называется продолжительным и обозначается S1.

Двигатель рассчитываем на режим S1.

2. Определяем эквивалентные мощности машины и двигателя.

$$M_{эм} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + \frac{M_1^2 + M_1 M_2 + M_2^2}{3} t_2 + M_2^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} =$$
$$= \sqrt{\frac{100^2 \cdot 10 + \frac{100^2 + 100 \cdot 150 + 150^2}{3} \cdot 10 + 150^2 \cdot 120}{140}} = 141,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Эквивалентная мощность машины за рабочий период

$$P_{эм} = M_{эм} \omega_M = 141,8 \cdot 73,5 = 10422 \text{ Вт.}$$

Эквивалентная мощность на валу двигателя

$$P_э = \frac{P_{эм}}{\eta},$$

где η – КПД передачи, принимаем, $\eta = 0,95$.

$$P_э = \frac{10422}{0,95} = 10970 \text{ Вт.}$$

3. Выбираем предварительно двигатель. Номинальная мощность двигателя должна быть равна или несколько больше эквивалентной мощности:

$$P_{ном} > P_э, \quad P_{ном} > 10970 \text{ Вт.}$$

По каталогу принимаем асинхронный двигатель трехфазного тока с короткозамкнутым ротором, напряжением 380/220В, типа 4А132М4, у которого $P_{ном} = 11$ кВт; $n_{ном} = 1460 \text{ мин}^{-1}$ ($153,3 \text{ с}^{-1}$); $K_{мин} = 1,7$; $K_{макс} = 3,0$.

4. Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя. Предположим, что двигатель запускается при наибольшей нагрузке $M_2 = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Определим значение момента сопротивления машины, приведенного к валу двигателя при нагрузке M_2 :

$$M_{см} = \frac{M_2 \omega_M}{\omega_{ном}} = \frac{150 \cdot 73,5}{153,3} = 71,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Номинальный момент двигателя по условиям пуска с учетом снижения напряжения в сети:

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25M_{см}}{k_{min} \cdot u^2},$$

где k_{min} — кратность минимального момента двигателя по каталогу;
 u — напряжение в сети во время пуска двигателя, выраженное в относительных единицах.

$$M_{н(пуск)} = \frac{1,25 \cdot 71,9}{1,7 \cdot 0,925^2} = 62,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{11000}{153,3} = 71,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Из расчета $M_{ном} > M_{н(пуск)}$.

Выбранный двигатель обеспечит пуск измельчителя при полной нагрузке.

Проверим, не перегрузится ли двигатель, преодолевая пик нагрузки.

$$M_{н(пер)} = M_{макс} / (0,75 k_{макс}),$$

где $M_{макс}$ наибольший момент, взятый по нагрузочной диаграмме;

$k_{макс}$ — кратность максимального момента двигателя по каталогу.

$$M_{н(пер)} = 150 / (0,75 \cdot 3) \text{ Н} \cdot \text{м} = 66,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Как видно, $M_{ном} > M_{н(пер)}$, т. е. двигатель преодолевает эту перегрузку.

Двигатель выбран верно.

Если при решении примеров получится, что $M_{н(пуск)} > M_{ном}$ или $M_{н(пер)} > M_{ном}$, то следует выбрать двигатель большей мощности.

Пример 2. Выбрать асинхронный короткозамкнутый двигатель для привода подъемника, установленного в мастерских. Частота вращения вала $\omega_m = 50 \text{ с}^{-1}$. Данные нагрузочной диаграммы (рис. 5) $M_1 = 125 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_2 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $t_1 = 30 \text{ с}$, $t_2 = 300 \text{ с}$. Электрическая сеть 380/ 220 В, 50 Гц.

Решение.

1. Определяем режим работы электропривода.

Для этого найдем максимальную мощность подъемника.

$$P_m = M_1 \omega_m = 125 \cdot 50 = 6250 \text{ Вт}.$$

Из таблицы 1 для двигателя такой мощности значение постоянной нагрева равно $T=30$ мин. Из графика нагрузочной диаграммы (рис. 5) время работы:

$$t_p = t_1 + t_2 = 330 \text{ сек}.$$

Значит, $t_p < 4T$, следовательно, электродвигатель будет работать в кратковременном режиме работы S2.

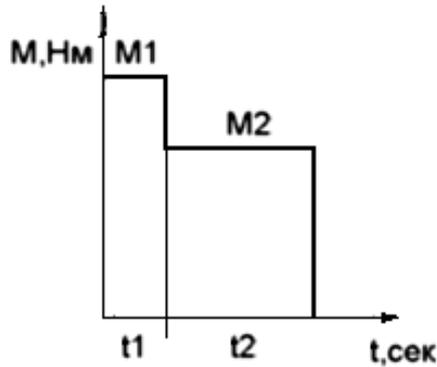


Рисунок 5 – Нагрузочная диаграмма подъемника

2. Определяем эквивалентные мощности подъемника и двигателя.

Эквивалентный момент подъемника:

$$M_{\text{эм}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2}{t_1 + t_2}} = \sqrt{\frac{125^2 \cdot 30 + 100^2 \cdot 300}{330}} = 102,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентная мощность подъемника за рабочий период:

$$P_{\text{эм}} = M_{\text{эм}} \omega_M = 102,5 \cdot 50 = 5125 \text{ Вт}.$$

Эквивалентная мощность на валу двигателя:

$$P_{\text{э}} = \frac{P_{\text{эм}}}{\eta} = \frac{5125}{0,97} = 5283 \text{ Вт}.$$

3. Выбираем двигатель.

Здесь возможны два варианта. Можно выбрать двигатель кратковременного режима работы S2, в паспорте которого указывается продолжительность работы и мощность. Стандартные продолжительности работы 10, 30, 60, 90 мин. Исходя из этого можно выбрать двигатель режима S2, у которого $P_{\text{ном}} > P_{\text{э}}$ и $t_{\text{нагр}} > t_p$. В данном случае $P_{\text{ном}} = 5,5 \text{ кВт}$ и $t_{\text{нагр}} = 10 \text{ мин}$. Однако такие двигатели дефицитны и поэтому на практике часто выбирают двигатель режима S1. Номинальная мощность двигателя продолжительного режима, который будет работать в кратковременном режиме, определяется следующим образом:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{э}} \sqrt{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}},$$

где t_p — время работы двигателя в режиме S2, $t_p = t_1 + t_2 = 330 \text{ с}$;

T — постоянная времени нагрева, выбирается по табл. 2, принимаем $T = 25 \text{ мин} = 1500 \text{ с}$.

$$P_{\text{ном}} = 5,28 \sqrt{1 - 2,72 \frac{330}{1500}} = 2,3 \text{ кВт}.$$

Выбираем предварительно двигатель типа 4А112МА6, у которого $P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 955 \text{ мин}^{-1}$, $k_{\text{мин}} = 1,8$, $k_{\text{макс}} = 2,5$. Проверяем пусковые и перегрузочные свойства двигателя, используя методику, показанную в примере 1. Согласно расчету, двигатель мощностью 3 кВт не обеспечивает пуск под нагрузкой 125 Н·м, следовательно, выбираем двигатель мощностью 5,5 кВт.

3.3. РАСЧЕТ И ВЫБОР НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

3.3.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Нагреватель – один из элементов печи, осуществляющий нагрев, имеет наибольшую температуру. К нагревателям предъявляется ряд требований.

1) Нагреватели должны обладать достаточной жаростойкостью (окалиностойкостью) и жаропрочностью.

2) Нагреватель должен быть сделан из материала, обладающего высоким удельным электрическим сопротивлением.

3) Обладать малым температурным коэффициентом сопротивления.

4) Физические свойства материалов нагревателей должны быть постоянными.

Некоторые материалы, например, карборунд, с течением времени могут изменять свои физические свойства (электрическое сопротивление).

5) Материалы должны обладать хорошими технологическими свойствами, а именно: пластичностью, свариваемостью, формовкой, прессованием.

Наиболее широко используемыми в производстве нагревателей для электропечей являются сплавы с высоким электрическим сопротивлением на основе хрома и никеля (хромоникелевые), железа, хрома и алюминия (железохромоалюминиевые). Хромоникелевый сплав – это нихром марок Х20Н80, Х20Н80-Н (950-1200 °С), Х15Н60, Х15Н60-Н (900-1125 °С), железохромоалюминиевые – фехраль марок Х23Ю5Т (950-1400 °С), Х27Ю5Т (950-1350 °С), Х23Ю5 (950-1200 °С), Х15Ю5 (750-1000 °С), также железохромоникелевые сплавы - Х15Н60Ю3, Х27Н70Ю3.

Сплавы обладают хорошими свойствами жаропрочности и жаростойкости, могут работать при высоких температурах. Хорошую жаростойкость обеспечивает защитная пленка из окиси хрома. Температура плавления пленки выше температуры плавления непосредственно сплава, она не растрескивается при нагреве и охлаждении.

Произведем сравнение материалов.

Достоинства нихрома:

1. хорошие механические свойства при низких и при высоких температурах;
2. сплав крипоустойчив;
3. имеет хорошие технологические свойства – пластичность и свариваемость;
4. хорошо обрабатывается;
5. не стареет, немагнитен.

Недостатки нихрома:

1. высокая стоимость;
2. более низкие рабочие температуры по сравнению с фехралью.

Достоинства фехрали:

1. более дешевый сплав по сравнению с нихромом;

2. обладает лучшей по сравнению с нихромом жаростойкостью, например, фехраль Х23Ю5Т может работать при температуре до 1400 °С (1400 °С - максимальная рабочая температура для нагревателя из проволоки Ø 6,0 мм и более).

Недостатки фехрали:

1. хрупкий и непрочный сплав, свойства особенно сильно проявляются после пребывания сплава при температуре, большей 1000 °С;
2. сплав является магнитным и может ржаветь во влажной атмосфере при нормальной температуре;
3. имеет низкое сопротивление ползучести;
4. взаимодействует с шамотной футеровкой и окислами железа;
5. во время эксплуатации нагревателя существенно удлиняются.

В последнее время разработаны сплавы типа Х15Н60Ю3 и Х27Н70Ю3, т.е. с добавлением 3% алюминия, что значительно улучшило жаростойкость сплавов, а наличие никеля практически исключило имеющиеся у железохромоалюминиевых сплавов недостатки. Сплавы Х15Н60Ю3, Х27Н60Ю3 не взаимодействуют с шамотом и окислами железа, достаточно хорошо обрабатываются, механически прочны, нехрупки. Максимальная рабочая температура сплава Х15Н60Ю3 составляет 1200 °С.

Среди неметаллов для изготовления нагревателей используют карборунд, дисилицид молибдена, уголь, графит. Такие нагреватели используют в высокотемпературных печах. В печах с защитной атмосферой применяют угольные и графитовые нагреватели.

Среди тугоплавких материалов в качестве нагревателей могут использоваться вольфрам, молибден, тантал и ниобий. В высокотемпературных вакуумных печах и печах с защитной атмосферой применяются нагреватели из молибдена и вольфрама. Молибденовые нагреватели могут работать до температуры 1700 °С в вакууме и до 2200 °С – в защитной атмосфере. Вольфрамовые нагреватели могут работать до 3000 °С.

3.3.2. РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Исходными данными для расчета нагревателей электрических печей является мощность, которую должны обеспечивать нагреватели, максимальная температура, которая требуется для осуществления соответствующего технологического процесса (отпуска, закалки, спекания и т.д.) и размеры рабочего пространства электрической печи. В ходе расчета нагревателей требуется получить диаметр и длину (для проволоки) или площадь сечения и длину (для ленты), которые необходимы для изготовления нагревателей. Также необходимо определить материал, из которого следует делать нагреватели.

Определение диаметра и длины нагревателя для заданной печи

Методику расчета рассмотрим на примере электрической печи. Пусть исходными данными являются внутренние размеры печи.

1. Определяем объем камеры внутри печи. В данном случае возьмем $h = 490$ мм, $d = 350$ мм и $l = 350$ мм (высота, ширина и глубина соответственно). Объем $V = h \cdot d \cdot l = 490 \cdot 350 \cdot 350 = 60 \cdot 10^6 \text{ мм}^3 = 60 \text{ л}$.

2. Определяем мощность, которую должна выдавать печь. Для электрической печи объемом 10 - 50 литров удельная мощность принимается 100 Вт/л, объемом 100 - 500 литров - 50 - 70 Вт/л. Принимаем для рассматриваемой печи удельную мощность 100 Вт/л. Тогда:

$$P = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ Вт} = 6 \text{ кВт.}$$

При мощности 5-10 кВт нагреватели рекомендует изготавливать однофазными. При больших мощностях для равномерной загрузки сети нагреватели делают трехфазными.

3. Определяем силу тока, проходящего через нагреватель:

$$I = \frac{P}{U},$$

где P - мощность нагревателя,

U - напряжение на нагревателе (между его концами), и сопротивление нагревателя:

$$R = \frac{U}{I}.$$

В зависимости от подключения к электрической сети:

- к сети однофазного тока - $U = 220 \text{ В}$;
- к сети трехфазного тока - $U = 220 \text{ В}$ (между нулевым проводом и фазой) или $U = 380 \text{ В}$ (между двумя любыми фазами).

Далее следует расчет производить отдельно для однофазного и трехфазного подключения.

При однофазном подключении:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6000}{220} = 27,3 \text{ А}$$

- ток, проходящий через нагреватель.

Сопротивление нагревателя печи:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{27,3} = 8,06 \text{ Ом.}$$

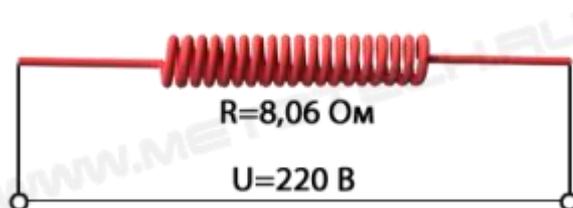


Рисунок 6 - Проволочный нагреватель в сети однофазного тока

Таблица 3 - Допустимая сила тока, проходящего через нагреватель из нихромовой проволоки

Диаметр нихромовой проволоки, мм	Площадь поперечного сечения нихромовой проволоки, мм ²	Температура нагрева нихромовой проволоки, °С						
		200	400	600	700	800	900	1000
		Максимальная допустимая сила тока, А						
5	19,6	52	83	105	124	146	173	206
4	12,6	37,0	60,0	80,0	93,0	110,0	129,0	151,0
3	7,07	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
2,5	4,91	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
2	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
1,8	2,54	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
1,6	2,01	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,0	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,75	0,442	3,4	5,3	7,55	8,4	9,95	11,25	12,85
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,65	0,342	2,82	4,4	6,3	7,15	8,25	9,3	10,75
0,6	0,283	2,52	4	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,55	0,238	2,25	3,55	5,1	5,8	6,75	7,6	8,7
0,5	0,196	2	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,45	0,159	1,74	2,75	3,9	4,45	5,2	5,85	6,75
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,35	0,096	1,27	1,95	2,76	3,3	3,75	4,15	4,75
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,25	0,049	0,84	1,33	1,83	2,15	2,4	2,7	3,1
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,15	0,0177	0,46	0,74	0,99	1,15	1,28	1,4	1,62
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9	1,0

Таблица 4 - Удельное электрическое сопротивление нихрома (номинальное значение)

Марка сплава	Диаметр, мм	Удельное электрическое сопротивление $\rho_{\text{ном}}$, мкОм·м
Х20Н80-Н	от 0,1 до 0,5 включ.	1,08
	от 0,5 до 3,0 включ.	1,11
	Св. 3,0	1,13
Х15Н60, Х15Н60-Н	от 0,1 до 3,0 включ.	1,11
	Св. 3,0	1,12
Х23Ю5Т	Все диаметры	1,39

При трехфазном подключении нагрузка распределяется равномерно на три фазы, т.е. по $6 / 3 = 2$ кВт на фазу. Так как требуется 3 нагревателя. Выбираем способ подключения нагревателей в схему соединения: «звезда» или «треугольник».

При подключении типа «звезда» нагреватель подключается между фазой и нулем (рис. 7). Напряжение на концах нагревателя будет $U = 220$ В.

Ток, проходящий через нагреватель, –

$$I = \frac{2000}{220} = 9,1 \text{ А.}$$

Сопротивление одного нагревателя –

$$R = \frac{220}{9,1} = 24,2 \text{ Ом.}$$

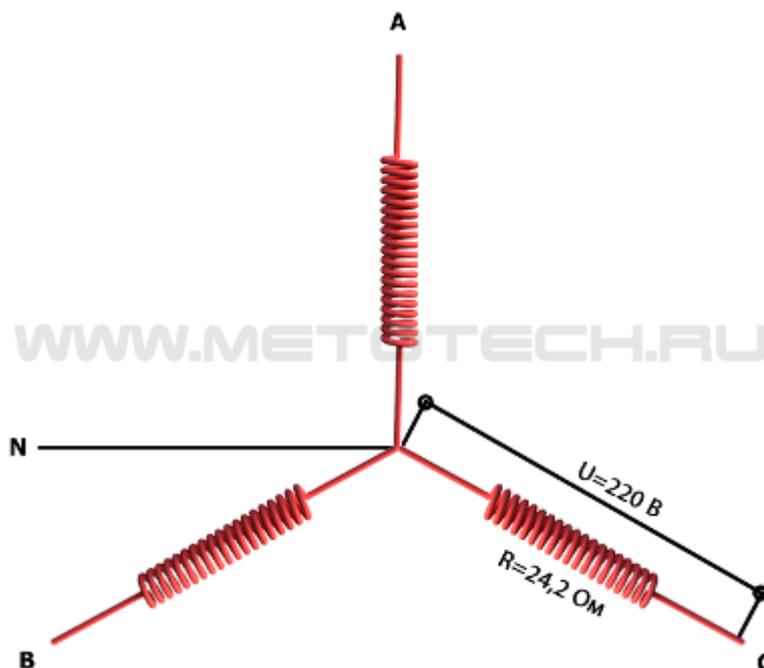


Рисунок 7 - Проволочный нагреватель в сети трехфазного тока. Подключение по схеме «звезда»

При подключении типа «треугольник» нагреватель подключается между двумя фазами (рис. 8). Напряжение на концах нагревателя будет $U = 380 \text{ В}$.

Ток, проходящий через нагреватель –

$$I = \frac{2000}{380} = 5,26 \text{ А.}$$

Сопротивление одного нагревателя –

$$R = \frac{220}{5,26} = 72,2 \text{ Ом.}$$

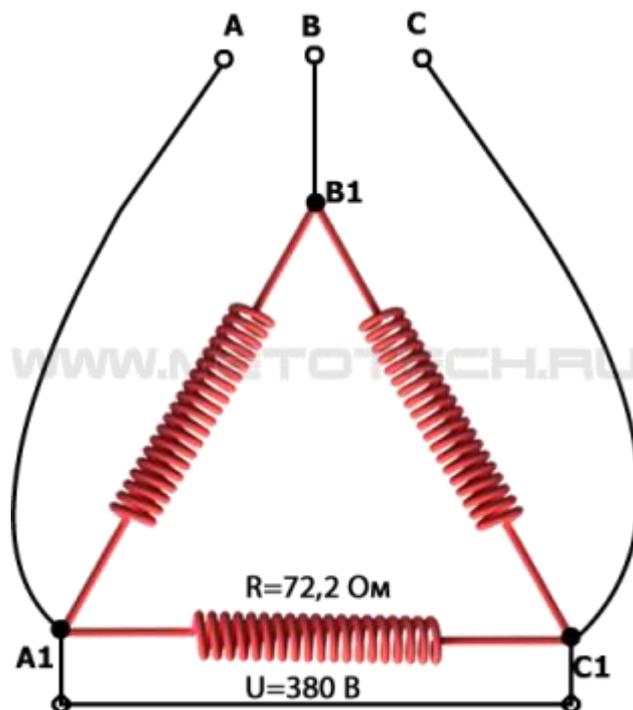


Рисунок 8 - Проволочный нагреватель в сети трехфазного тока. Подключение по схеме "треугольник"

4. Выбор диаметра и длины проволоки.

Анализируем удельную поверхностную мощность нагревателя, т.е. мощность, которая выделяется с единицы площади. Она зависит от температуры нагреваемого материала и от конструктивного выполнения нагревателей.

Для высокотемпературных печей (при температуре более $700 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$) допустимая поверхностная мощность равна $\beta_{\text{доп}} = \beta_{\text{эф}} \cdot \alpha$, где $\beta_{\text{эф}}$ – поверхностная мощность нагревателей в зависимости от температуры тепловоспринимающей среды [$\text{Вт} / \text{м}^2$], α – коэффициент эффективности излучения. $\beta_{\text{эф}}$ выбирается по таблице 5, α – по таблице 6.

Для низкотемпературных печей (температура менее $200 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$) допустимая поверхностная мощность принимается равной $(4 - 6) \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$.

Например, температура нагревателя $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, и при нагреве заготовки до температуры $700 \text{ }^\circ\text{C}$ по таблице 5 подбираем $\beta_{\text{эф}} = 8,05 \text{ Вт/см}^2$, $\alpha = 0,2$, $\beta_{\text{доп}} = \beta_{\text{эф}} \cdot \alpha = 8,05 \cdot 0,2 = 1,61 \text{ Вт/см}^2 = 1,61 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$.

Таблица 5 - Эффективная удельная поверхностная мощность нагревателей в зависимости от температуры теплопринимающей среды

Температура теплопринимающей поверхности, °С	$\beta_{\text{эф}}$, Вт/см ² при температуре нагревателя, °С											
	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
100	6,1	7,3	8,7	10,3	12,5	14,15	16,4	19,0	21,8	24,9	28,4	36,3
200	5,9	7,15	8,55	10,15	12,0	14,0	16,25	18,85	21,65	24,75	28,2	36,1
300	5,65	6,85	8,3	9,9	11,7	13,75	16,0	18,6	21,35	24,5	27,9	35,8
400	5,2	6,45	7,85	9,45	11,25	13,3	15,55	18,1	20,9	24,0	27,45	35,4
500	4,5	5,7	7,15	8,8	10,55	12,6	14,85	17,4	20,2	23,3	26,8	34,6
600	3,5	4,7	6,1	7,7	9,5	11,5	13,8	16,4	19,3	22,3	25,7	33,7
700	2	3,2	4,6	6,25	8,05	10,0	12,4	14,9	17,7	20,8	24,3	32,2
800	-	1,25	2,65	4,2	6,05	8,1	10,4	12,9	15,7	18,8	22,3	30,2
850	-	-	1,4	3,0	4,8	6,85	9,1	11,7	14,5	17,6	21,0	29,0
900	-	-	-	1,55	3,4	5,45	7,75	10,3	13	16,2	19,6	27,6
950	-	-	-	-	1,8	3,85	6,15	8,65	11,5	14,5	18,1	26,0
1000	-	-	-	-	-	2,05	4,3	6,85	9,7	12,75	16,25	24,2
1050	-	-	-	-	-	-	2,3	4,8	7,65	10,75	14,25	22,2
1100	-	-	-	-	-	-	-	2,55	5,35	8,5	12,0	19,8
1150	-	-	-	-	-	-	-	-	2,85	5,95	9,4	17,55
1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,15	6,55	14,55
1300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,95

Таблица 6 - Значение коэффициента эффективности излучения

Размещение нагревателей	Коэффициент α
Проволочные спирали, полузакрытые в пазах футеровки	0,16 - 0,24
Проволочные спирали на полочках в трубках	0,30 - 0,36
Проволочные зигзагообразные (стержневые) нагреватели	0,60 - 0,72
Ленточные зигзагообразные нагреватели	0,38 - 0,44
Ленточные профилированные (ободовые) нагреватели	0,56 - 0,7

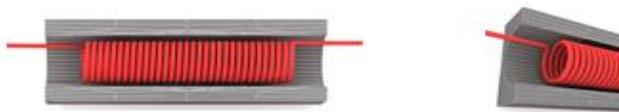


Рисунок 9 - Проволочные спирали, полузакрытые в пазах футеровки

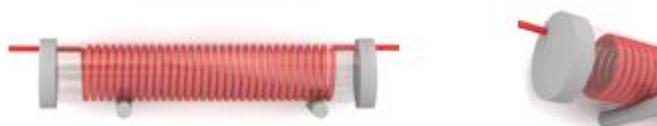


Рисунок 10 - Проволочные спирали на полочках в трубках



Рисунок 11 - Проволочные зигзагообразные (стержневые) нагреватели

Диаметр проволоки определяем по следующей формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho_t \cdot P^2}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot \beta_{\text{доп}}}}, \quad (25)$$

где d - диаметр проволоки, [м];

P - мощность нагревателя, [Вт];

U - напряжение на концах нагревателя, [В];

$\beta_{\text{доп}}$ - допустимая поверхностная мощность нагревателя, [Вт/м²];

ρ_t - удельное сопротивление материала нагревателя при заданной температуре, [Ом·м].

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot k,$$

где ρ_{20} - удельное электрическое сопротивление материала нагревателя при 20 °С, [Ом·м] (таблица 4);

k - поправочный коэффициент для расчета изменения электрического сопротивления в зависимости от температуры (для нихрома можно принять $k=1,025$).

Длину проволоки можно определить по следующей формуле:

$$l = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U^2}{4\pi \cdot \rho_t \cdot \beta_{\text{доп}}^2}}, \quad (26)$$

где l - длина проволоки, [м].

Например, для 60 литровой печи, подключенной к сети однофазного тока, мощность печи составляет $P = 6000$ Вт, напряжение на концах нагревателя - $U = 220$ В, допустимая поверхностная мощность нагревателя $\beta_{\text{доп}} = 1,6 \cdot 10^4$ Вт/м². Тогда получаем:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,15 \cdot 6000^2}{10^6 \cdot \pi^2 \cdot 220^2 \cdot 1,6 \cdot 10^4}} \approx 0,00279 \text{ м} \approx 2,79 \text{ мм}.$$

Полученный размер необходимо округлить до ближайшего большего стандартного (таблица 3). В данном случае ближайшим большим стандартным размером является $\varnothing 3,0$ мм. Диаметр нагревателя $d = 3,0$ мм.

$$l = \sqrt[3]{\frac{6000 \cdot 220^2}{4\pi \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot (1,6 \cdot 10^4)^2}} \approx 42,81 \text{ м} \approx 43 \text{ м}.$$

Длина нагревателя $l = 43$ м.

При определении массы проволоки можно воспользоваться формулой:

$$m = l \cdot \mu,$$

где m - масса отрезка проволоки, [кг];

l - длина проволоки, [м];

μ - удельная масса (масса 1 метра проволоки), [кг/м].

Для примера: $m = l \cdot \mu = 43 \cdot 0,052 = 2,3$ кг.

Результаты расчета могут быть проверены следующим способом. Диаметр проволоки 3,0 мм. Тогда нужная нам длина составит $l = R / (\rho \cdot k) = 8,06 / (0,179 \cdot 1,025) = 43$ м, где l - длина проволоки, [м]; R - сопротивление нагревателя, [Ом]; ρ - номинальное значение электрического сопротивления 1 м проволоки, [Ом/м]; k - поправочный коэффициент для расчета изменения электрического сопротивления в зависимости от температуры.

Значение соответствует значению, полученному в результате другого расчета.

Проверяем, не превысит ли поверхностная мощность выбранного нами нагревателя допустимую поверхностную мощность, которая была найдена в п. 4. $\beta = P / S = 6000 / (3,14 \cdot 4300 \cdot 0,28) = 1,59$ Вт/см². Полученное значение $\beta = 1,59$ Вт/см² не превышает $\beta_{\text{доп}} = 1,6$ Вт/см².

Таким образом, для нагревателя потребуется 43 метра нихромовой проволоки Х20Н80 диаметром 3,0 мм, это составляет 2,3 кг.

Для эксплуатации нихромовой проволоки из нее делают спираль (рис. 9 и 10). Диаметр спирали нагревателя принимают равным:

$D = (4 \div 6) \cdot d$ - для хромоалюминиевых сплавов,

$D = (7 \div 10) \cdot d$ - для хромоникелевых сплавов,

где D - диаметр спирали [мм], d - диаметр проволоки [мм]. Для устранения местных перегревов спираль необходимо растянуть, чтобы расстояние между витками было в 1,5-2 раза больше диаметра проволоки.

3.4. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ЭУ). ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ

Главной целью технической диагностики является эффективная организация проверки технического состояния изделий, устройств и систем, а также их восстановления.

При определении технического состояния объектов перед технической диагностикой ставятся три типа задач:

а) определение технического состояния, в котором объект находится в настоящее время;

б) предсказание технического состояния объекта в некоторый момент будущего;

в) определение технического состояния объекта в некоторый момент прошлого.

К особенностям эксплуатации действующих электроустановок (ЭУ), значительно осложняющих их техническую диагностику, относятся:

- а) тесная связь с основным технологическим процессом;
- б) диагностика электроустановок может осуществляться по условиям безопасности и только при отключенном электрооборудовании.

С учетом этого организация технической диагностики ЭУ предусматривает следующие формы:

- а) осмотр ЭУ;
- б) специальные испытания.

Осмотр предусматривает оценку технического состояния ЭУ по внешним признакам: отсутствие видимых повреждений, искрения, задымления и т.п. Производится осмотр оперативным персоналом без отключения ЭУ. При обнаружении неисправности восстановительные работы без отключения не производятся.

К достоинствам этой формы технической диагностики относятся:

- не останавливается основной технологический процесс;
- не требуется дополнительных затрат.

Недостатками этой формы является получение очень ограниченной информации о техническом состоянии электроустановок.

Специальные испытания ЭУ по организации и содержанию подразделяются на следующие виды:

- 1) общие электрические;
- 2) регламентированные;
- 3) оперативные.

Общие электрические испытания могут проводиться как до монтажа ЭУ, так и в процессе монтажа и эксплуатации для получения первичной информации о техническом состоянии ЭУ. К основным видам таких испытаний относятся: проверка правильности монтажа (соединение электрических схем, жгутов и кабелей); измерение сопротивлений изоляции и др.

Регламентированные испытания относятся к профилактическим и проводятся по регламенту, устанавливаемому нормативно-технической документацией: содержание, объем, приборное обеспечение, технология проведения тестов, квалификация персонала, интерпретация полученных результатов. Такие испытания всегда проводятся на отключенных ЭУ в специально выделенное время с выполнением конкретно разработанных мероприятий по технике безопасности. Данный вид испытаний не влияет на основной технологический процесс.

Оперативные испытания относятся к вынужденным, внеплановым и связаны с восстановлением электрооборудования при отказе. Условия проведения – по ситуации, определяемой квалификацией персонала. Такие испытания всегда влияют негативно на технологический процесс, повышают опасность (ограниченность времени на восстановление электрооборудования приводит к спешке, ошибкам при тестировании).

Эксплуатационный отказ представляет собой потерю работоспособности электроустановок в процессе эксплуатации.

С точки зрения идентификации отказа их можно подразделить на три типа:

- а) легко распознаваемые;
- б) распознаваемые;
- в) трудно распознаваемые.

К легко распознаваемым отказам относят отказы элементов, которые легко распознаются при внешнем осмотре без специальной проверки.

При распознаваемом отказе неисправный элемент быстро определяется стандартной проверкой с учетом методик, рассмотренных в нормативно-технической документации.

Трудно распознаваемые - это отказы элементов, обнаружение которых требует применения комплекса методик и высокой квалификации персонала.

Выбор средств технической диагностики и диагностических мероприятий в значительной мере зависит от характера проявления отказов. С учетом этого отказы можно подразделить на:

- а) устойчивые;
- б) неустойчивые (перебегающие).

К устойчивым относятся отказы, которые являются следствием установившейся неисправности и не исчезают с момента возникновения в течение всего периода проявления. Неустойчивые отказы обусловлены воздействием специфических условий эксплуатации – наличие неустойчивых контактных соединений, различного рода помех, случайных совпадений и т.д.

При составлении мероприятий идентификации отказов, при проектировании технических средств диагностики должны учитываться особенности эксплуатационных отказов.

К наиболее распространенным методам можно отнести следующие:

- идентификация по аналогии;
- идентификация последовательным перебором;
- метод по диагностическому графу;
- метод логического анализа;
- применение специализированных идентификаторов.

Идентификация по аналогии базируется на сопоставлении текущего отказа с предыдущими, похожими по проявлению. Недостатками использования метода является отсутствие эффективной стратегии идентификации, больше затраты времени, метод редко дает быстрый положительный результат.

Идентификация последовательным перебором заключается в последовательной проверке всех элементов цепи до обнаружения отказавшего. Всегда дает положительный результат, но имеет большую длительность идентификации.

Метод логического анализа – основан на том, что высококвалифицированный персонал «вычисляет» отказавший элемент по симптомам его проявления. Дает всегда положительный результат, уменьшается время идентификации, но требуется высокая квалификация персонала.

Метод применения специализированных идентификаторов основан на подключении к электрооборудованию специальных программированных устройств, которые по определенной программе производят отыскание отказавшего элемента. Метод обладает минимальными затратами времени на идентификацию отказа, не зависит от квалификации персонала, но имеет ограниченность применения.

Все рассмотренные методы не являются формализованными, поэтому их эффективность зависит от квалификации персонала: этот недостаток является существенным. Устранить или хотя бы уменьшить его позволяет **метод идентификации отказа по диагностическому графу**.

Согласно этому методу составляется диагностическая схема на основании принципиальной электрической схемы. Функциональным назначением схемы является диагностирование электроустановки и отыскание эксплуатационных отказов. Диагностическая электрическая схема строится на основе следующих предположений: любая электроустановка оперирует потоками двух видов энергии - энергетическим и информационным. Энергетический поток проходит через элементы силовой части электроприемника, информационный - через элементы управления и защиты. Таким образом, диагностическая схема может быть представлена в виде направленного графа, вершинами которого являются элементы силовой и информационной части, а ребрами - направления передачи от элемента к элементу энергетического и информационного потока в соответствии с их функциональным назначением.

Диагностическая схема составляется по следующему принципу:

а) вычерчивается граф направления энергетического потока, соответствующий силовой части электроприемника — по вертикали;

б) для каждой вершины графа энергетического потока достраивается граф соответствующего информационного потока с учетом их зависимости по горизонтали (при параллельных ветвях - ветвь, работающая раньше по времени, располагается выше).

Применение диагностической схемы сводится к последовательному тестированию вертикального графа до выявления места разрыва потока силовой энергии, а затем — последовательного тестирования соответствующего горизонтального графа до выявления места разрыва потока информационной энергии. Элемент, который обеспечивает разрыв потока энергии, является целью идентификации.

На рисунке 12 представлены в качестве примера принципиальная схема сверлильного станка (рис. 12,а) и соответствующий диагностический граф (рис. 12,б). Например, при невключенном пускателе КМ проверяется напряжение на элементах U, P, Пр, и КМ. При обнаружении отсутствия напряжения после предохранителя говорят о том, что он перегорел и его требуется заменить. При наличии напряжения на КМ и невключенном пускателе проверяется горизонтальный граф информационного потока энергии до обнаружения точки разрыва.

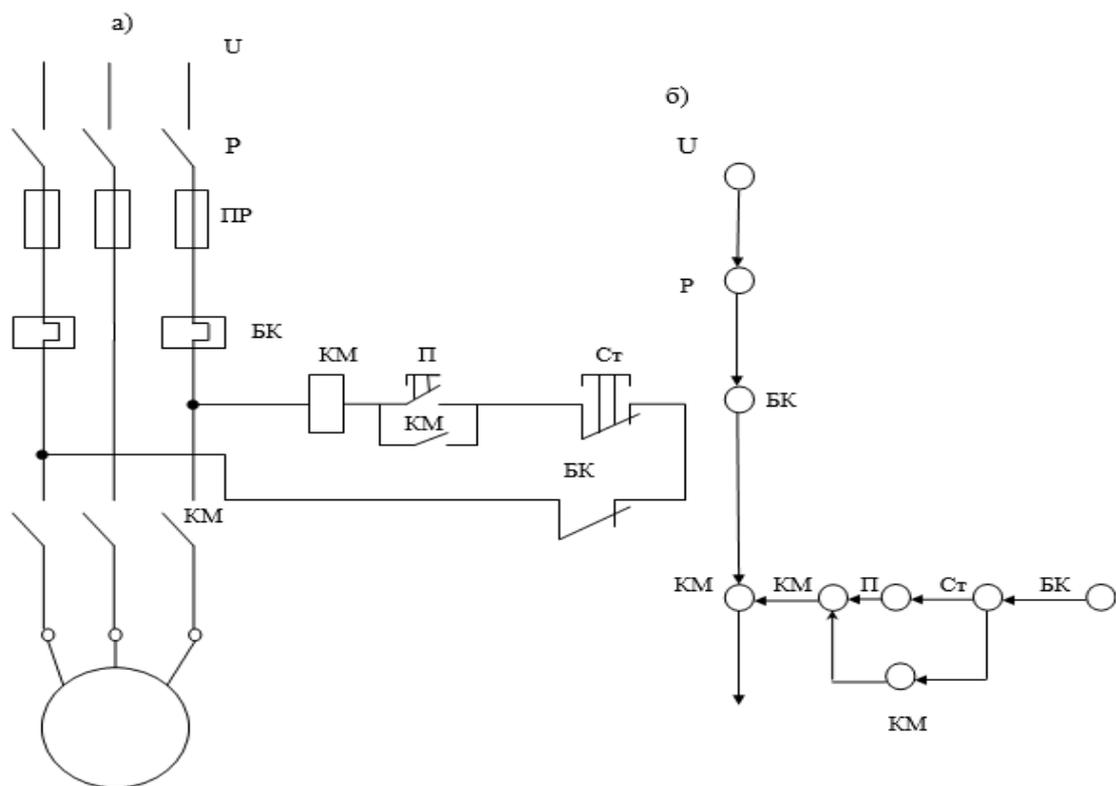


Рисунок 12 - Принципиальная (а) и диагностическая (б) схемы сверлильного станка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: практ. пособие – 7-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. Шк., 1991. -160 с.
2. Жуков Л.Л., Племянникова И.М., Миронова М.Н., Баркая Д.С., Шумков Ю.В. Сплавы для нагревателей. –М.: Металлургия, 1985. – 144 с.
3. Сокунов Б.А., Грובה Л.С. Электротермические установки (электрические печи сопротивления): Учебное пособие / Б.А. Сокунов, Л.С. Грובה. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004. - 122 с.
4. Расчет и конструирование нагревателей электропечей сопротивления / Фельдман И.А., Гутман М.Б., Рубин Г.К. и др. –М.-Л.: Энергия, 1966. – 104 с.
5. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / И.Ф. Кудрявцев, Л.А. Калинин, В.А. Карасенко и др.; Под ред. И.Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с.
6. Справочные материалы по электротехнике, электрооборудованию [ЭР] // <http://www.electromonter.info/advice/nichrom.html>

Приложение А

Таблица А.1 – Технические данные асинхронных электродвигателей трёхфазного тока с короткозамкнутым ротором серии АИ мощностью от 0,25 до 75 кВт

Тип двигателя	При номинальной нагрузке					Кратность пускового тока	Кратность моментов		
	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Сила тока статора, А	КПД, %	Коэффициент мощности, cos φ		пускового	максимального	минимального
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР56В2У3	0,25	2730	0,70	69	0,79	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР63А2У3	0,37	2730	0,91	72	0,86	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР63В2У3	0,55	2730	1,31	75	0,85	5,0	2,2	2,2	1,8
АИР71А2У3	0,75	2820	1,75	78,5	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР71В2У3	1,1	2800	2,55	79	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6
АИР80А2У3	1,5	2850	3,31	81	0,85	7,0	2,1	2,2	1,6
АИР80В2У3	2,2	2850	4,63	83	0,87	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР90L2У3	3,0	2850	6,13	84,5	0,85	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100S2У3	4,0	2850	7,94	87	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР100L2У3	5,5	2850	10,7	88	0,89	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР112M2У3	7,5	2900	14,8	87,5	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР132M2У3	11	2910	21,0	88	0,90	7,5	1,6	2,2	1,2
АИР160S2У3	15	2910	28,5	90	0,89	7,0	1,8	2,7	1,7
АИР160M2У3	18,5	2920	34,5	90,5	0,90	7,0	2,0	2,7	1,8
АИР180S2У3	22	2920	41,5	90,5	0,89	7,0	2,0	2,7	1,9
АИР180M2У3	30	2920	55,5	91,5	0,90	7,5	2,2	3,0	1,9
АИР200M2У3	37	2940	70,6	91,5	0,87	7,0	1,6	2,8	1,5
АИР200L2У3	45	2940	86,5	92	0,88	7,5	1,8	2,8	1,5
АИР225M2У3	55	2940	99,3	92,5	0,91	7,5	1,8	2,6	1,5
АИР250S2У3	75	2940	136	93	0,90	7,5	1,8	3,0	1,6
АИР63А4У3	0,25	1220	0,83	68	0,67	5,0	2,1	2,2	1,8
АИР63В4У3	0,37	1320	1,18	68	0,70	5,0	2,1	2,2	1,8
АИР71А4У3	0,55	1360	1,69	70,5	0,70	5,0	2,3	2,2	1,8
АИР71В4У3	0,75	1360	2,14	73	0,73	5,0	2,2	2,2	1,6
АИР80А4У3	1,1	1395	2,75	75	0,81	5,5	2,2	2,2	1,6

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР80В4У3	1,5	1395	3,52	78	0,83	5,5	2,2	2,2	1,6
АИР90Л4У3	2,2	1400	5,6	81	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6
АИР100S4У3	3,0	1410	6,7	82	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР100Л4У3	4,0	1410	8,5	85	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР112М4У3	5,5	1430	11,4	85,5	0,86	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР132S4У3	7,5	1440	15,1	87,5	0,86	7,5	1,9	2,2	1,6
АИР1322М4У3	11	1450	22,0	87,5	0,87	7,5	2,0	2,2	1,6
АИР100S4У3	15	1455	28,5	90	0,87	7,0	2,0	2,9	1,8
АИР160М4У3	18,5	1455	34,9	90,5	0,89	7,0	1,9	2,9	1,8
АИР180S4У3	22	1460	42,5	90,5	0,89	7,0	1,7	2,4	1,5
АИР1830М4У3	30	1470	56,9	92	0,87	7,0	1,7	2,7	1,5
АИР200М4У3	37	1470	68,3	92,5	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6
АИР200Л4У3	45	1470	83,0	92,2	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6
АИР225М4У3	55	1470	101	93	0,89	7,0	1,7	2,6	1,6
АИР250S4У3	75	1480	138	94	0,89	7,5	1,7	2,5	1,4
АИР63В6У3	0,25	860	1,04	59	0,62	4,0	2,0	2,2	1,6
АИР71А6У3	0,37	915	1,31	65	0,65	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР71В6У3	0,55	915	1,74	68,5	0,70	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР80А6У3	0,75	920	2,26	70	0,72	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР80В6У3	1,1	920	3,05	74	0,74	4,5	2,0	2,2	1,6
АИР90Л6У3	7,5	925	4,2	76	0,72	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР100Л6У3	2,2	945	5,6	81	0,74	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР112МА6У3	3,0	950	7,1	81	0,76	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР112МВ6У3	4,0	950	9,2	82	0,81	6,0	2,0	2,2	1,6
АИР132S6У3	6,5	960	12,3	85	0,80	7,0	2,0	2,2	1,6
АИРВ2М6У3	7,5	960	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2	1,6
АИР160S6У3	11	970	22,9	88	0,83	6,5	2,0	2,7	1,6

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР160М6У3	15	970	30,1	88	0,85	6,5	2,0	2,7	1,6
АИР180М6У3	18,5	980	37	89,5	0,85	6,5	1,8	2,4	1,6
АИР200М6У3	22	980	14,7	90	0,83	6,5	1,6	2,4	1,4
АИО200L6У3	30	975	59,6	90	0,85	6,5	1,6	2,4	1,4
АИР225М6У3	37	980	72,7	91	0,85	6,5	1,5	2,3	1,4
АИР250S6У3	45	980	87	92,5	0,85	6,5	1,5	2,3	1,4
АИР250М6У3	55	980	105	92,5	0,86	6,5	1,5	2,3	1,4
АИР280S6У3	75	980	137	92,5	0,90	6,5	1,3	2,2	1,0
АИР80А8У3	0,25	690	1,04	56	0,65	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР80В8У3	0,37	700	1,54	60	0,61	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР90LА8У3	0,55	700	2,07	64	0,63	4,0	1,8	1,9	1,4
АИР90LВ8У3	0,75	700	2,47	70	0,66	3,5	1,6	1,7	1,2
АИР100LВУ3	1,1	700	3,32	72	0,70	3,5	1,6	1,7	1,2
АИР112МА8У3	1,5	705	4,1	76	0,73	5,5	1,6	1,7	1,2
АИР112МВ8У3	2,2	710	6,2	76,5	0,71	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР132S8У3	3,0	710	7,8	79	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР132М8У3	4,0	715	10,5	83	0,70	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР160S8У3	5,5	710	13,6	83	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4
АИР160М8У3	7,5	725	17,5	87	0,75	5,5	1,6	2,4	1,4
АИР180М8У3	11	725	25,5	87,5	0,75	6,0	1,6	2,4	1,4
АИР200М8У3	15	730	31,2	89	0,82	5,5	1,6	2,2	1,5
АИР200L8У3	18,5	730	39,0	89	0,81	6,0	1,6	2,3	1,4
АИР225М8У3	22	730	45,8	90	0,81	6,0	1,6	2,3	1,4
АИР250S8У3	30	730	62,2	90,5	0,81	6,0	1,4	2,3	1,3
АИР250М8У3	37	735	77,9	92,5	0,78	6,0	1,5	2,3	1,4
АИР200S8У3	45	735	93,6	92,5	0,79	6,0	1,4	2,2	1,0
АИР280М8У3	55	725	106	92	0,86	6,0	1,3	2,2	1,0
АИР315S8У3	75	725	141	93	0,87	6,0	1,4	2,2	1,0

Таблица А.2 – Технические данные асинхронных электродвигателей трёхфазного тока с короткозамкнутым ротором серии 4А мощностью от 0,25 до 110 кВт

Тип двигателя	При номинальной нагрузке					Кратность пускового тока	Кратность моментов		
	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Сила тока статора, А	КПД, %	Коэффициент мощности, cos φ		пускового	максимального	минимального
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4A56B2Y3	0,25	2770	0,74	68,0	0,77	4,0	2,0	2,2	1,5
4A63A2Y3	0,37	2750	0,93	70,0	0,86	4,5	2,0	2,2	1,5
4A63B2Y3	0,55	2740	1,33	73,0	0,86	4,5	2,0	2,2	1,5
4A71A2Y3	0,75	2840	1,7	77,0	0,87	5,5	2,0	2,2	1,5
4A71B2Y3	1,1	2810	2,5	77,5	0,87	5,5	2,0	2,2	1,5
4A80A2Y3	1,5	2850	3,3	81,0	0,85	6,5	2,1	2,6	1,4
4A80B2Y3	2,2	2850	4,7	83,0	0,87	6,5	2,1	2,6	1,4
4A90L2Y3	3,0	2840	6,1	84,5	0,88	6,5	2,1	2,5	1,6
4A100S2Y3	4,0	2880	7,8	86,5	0,89	7,5	2,0	2,5	1,6
4A100L2Y3	5,5	2880	10,5	87,5	0,91	7,5	2,0	2,5	1,6
4A112M2Y3	7,5	2900	14,9	87,5	0,88	7,5	2,0	2,8	1,8
4A132M2Y3	11,0	2900	21,2	88,0	0,90	7,5	1,7	2,8	1,5
4A160S2Y3	15,0	2940	28,5	88,0	0,91	7,0	1,4	2,2	1,0
4A160M2Y3	18,5	2940	34,5	88,5	0,92	7,0	1,4	2,2	1,0
4A180S2Y3	22,0	2945	41,6	88,5	0,91	7,5	1,4	2,5	1,1
4A180M2Y3	30,0	2945	56,0	90,5	0,90	7,5	1,4	2,5	1,1
4A200M2Y3	37,0	2945	70,0	90,0	0,89	7,5	1,4	2,5	1,0
4A200L2Y3	45,0	2945	83,8	91,0	0,90	7,5	1,4	2,5	1,0
4A225M2Y3	55,0	2945	100	91,0	0,92	7,5	1,4	2,5	1,2
4A250S2Y3	75,0	2960	140	91,0	0,89	7,5	1,2	2,5	1,0
4A250M2Y3	90,0	2960	165	92,0	0,90	7,5	1,2	2,5	1,0
4A280S2Y3	110	2970	206	91,0	0,89	7,0	1,2	2,2	1,0
4A63A4Y3	0,25	1380	0,85	68,0	0,65	4,0	2,0	2,2	1,5
4A63B4Y3	0,37	1365	1,2	68,0	0,69	4,0	2,0	2,2	1,5
4A71A4Y3	0,55	1390	1,7	70,5	0,70	4,5	2,0	2,2	1,8

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4A71B4Y3	0,75	1390	2,17	72,0	0,73	4,5	2,0	2,2	1,8
4A80A4Y3	1,1	1420	2,76	75,0	0,81	5,0	2,0	2,2	1,6
4A80B4Y3	1,5	1415	3,57	77,0	0,83	5,0	2,0	2,2	1,6
4A90L4Y3	2,2	1425	5,0	80,0	0,83	6,0	2,1	2,4	1,6
4A100S4Y3	3,0	1435	6,7	82,0	0,83	6,0	2,0	2,4	1,6
4A100L4Y3	4,0	1430	8,6	81,0	0,84	6,0	2,0	2,4	1,6
4A112M4Y3	5,5	1445	11,5	85,5	0,85	7,0	2,0	2,2	1,6
4A132S4Y3	7,5	1455	11,1	87,5	0,86	7,5	2,2	3,0	1,7
4A132M4Y3	11,0	1460	22,0	87,5	0,87	7,5	2,2	3,0	1,7
4A160S4Y3	15,0	1465	29,3	88,5	0,88	7,0	1,4	2,3	1,0
4A160M4Y3	18,5	1465	35,7	89,5	0,88	7,0	1,4	2,3	1,0
4A180S4Y3	22,0	1470	41,3	90,0	0,90	6,5	1,4	2,3	1,0
4A180M4Y3	30,0	1470	56,0	91,0	0,89	6,6	1,4	2,3	1,0
4A200M4Y3	37,0	1475	68,8	91,0	0,90	7,0	1,4	2,5	1,0
4A200L4Y3	45,0	1475	82,6	92,0	0,90	7,0	1,4	2,5	1,0
4A225M4Y3	55,0	1480	100	92,5	0,90	7,0	1,3	2,5	1,0
4A250S4Y3	75,0	1480	136	93,0	0,90	7,0	1,2	2,3	1,0
4A250M4Y3	90,0	1480	162	93,0	0,91	7,0	1,2	2,3	1,0
4A280S4Y3	110	1470	201	92,5	0,90	5,5	1,2	2,0	1,0
4A63B6Y3	0,25	890	1,04	59,0	0,62	3,0	2,2	2,2	1,5
4A71A6Y3	0,37	910	1,26	64,5	0,69	4,0	2,0	2,2	1,8
4A71B6Y3	0,55	900	1,74	67,5	0,71	4,0	2,0	2,2	1,8
4A80A6Y3	0,75	915	2,24	69,0	0,74	4,0	2,0	2,2	1,6
4A80B6Y3	1,1	920	3,05	74,0	0,74	4,0	2,0	2,2	1,6
4A90L6Y3	1,5	935	4,1	75,0	0,74	4,5	2,0	2,2	1,7
4A100L6Y3	2,2	950	5,65	81,0	0,73	5,0	2,0	2,2	1,6

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4A112MA6Y3	3,0	955	7,4	81,0	0,76	6,0	2,0	2,5	1,8
4A112MB6Y3	4,0	950	9,13	82,0	0,81	6,0	2,0	2,5	1,8
4A132S6Y3	5,5	965	12,2	85,0	0,80	6,5	2,0	2,5	1,8
4A132M6Y3	11,0	870	16,5	85,5	0,81	6,5	2,0	2,5	1,0
4A160S6Y3	7,5	975	22,6	87,5	0,86	6,0	1,2	2,0	1,0
4A160M6Y3	15,0	970	30,0	86,0	0,87	6,0	1,2	2,0	1,8
4A180M6Y3	18,0	975	36,6	88,0	0,87	5,0	1,2	2,0	1,0
4A200M6Y3	22,0	975	41,3	90,0	0,90	6,5	1,3	2,4	1,0
4A200L6Y3	30,0	980	56,0	90,0	0,90	6,5	1,3	2,4	1,0
4A225M6Y3	37,0	980	69,4	90,5	0,89	6,5	1,2	2,3	1,0
4A250S6Y3	45,0	985	84,0	91,0	0,89	6,5	1,2	2,1	1,0
4A250M6Y3	55,0	985	103	91,5	0,89	6,5	1,2	2,1	1,0
4A280S6Y3	75,0	985	139	91,5	0,89	5,5	1,4	2,2	1,2
4A280M6Y3	90,0	985	165	92,0	0,89	5,5	1,4	2,2	1,2
4A315S6Y3	110	985	199	92,5	0,90	6,5	1,4	2,2	0,9

Олег Петрович Балашов

ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания к практическим занятиям и выполнению
расчетно-графической работы для студентов, обучающихся
по направлению «Электроэнергетика и электротехника»

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 16.11.16. Формат 60x84 /16.

Усл. печ. л. 2,69. Тираж 80 экз. Заказ 161603. Рег. № 56.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.