21/31/00/63
С 44

СПРАВОЧНИК по проектированию электро-снабжения

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

ББК 31.279
С74 621.311.001(0083)
УДК 658.26.001.63(035.5)

Рецензент: В. Г. Шестериков

Составители: И. С. Бабаханян, А. А. Бейдер, А. В. Геллер, Б. Я. Душацкий, С. И. Егоров, Б. Д. Жохов, В. С. Иванов, В. И. Корогодский, Ф. Э. Кримкер, В. Б. Куинджи, Э. М. Либерзон, В. В. Менчик, Г. Р. Миллер, М. П. Рябов, А. М. Семчинов, А. В. Тимофеев, С. А. Халезов, Н. П. Щелепин, С. У. Эрдниева, Ю. А. Юровицкий, М. И. Яловецкий

Справочник по проектированию электроснабжения/Под ред. Ю. Г. Барыбина и др. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 576 с. — (Электроустановки промышленных предприятий/Под общ. ред. Ю. Н. Тищенко и др.)
С74
ISBN 5-283-01032-5

Содержатся материалы и справочные данные для комплексного проектирования систем электроснабжения электроустановок промышленных предприятий. Отражены прогрессивные технические решения для этих систем, основанные на применении подстанций с элегазовым оборудованием, маломасляными выключателями, статическими и фильтрокомпенсирующими устройствами. Рассмотрены бесконтактная защита и сетевая автоматика.

Для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией электроустановок промышленных предприятий.

С $\frac{2202090000-260}{051(01)-90}$ 172-89 ББК 31.279

ТЕХБИБЛИОТЕКА
Производ... ...ное объед... „Октябрь"

Справочное издание

СПРАВОЧНИК ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Электроустановки промышленных предприятий

Редактор *В. А. Суслов*
Редактор издательства *Л. В. Копейкина*
Художественный редактор *В. А. Гозак-Хозак*
Технические редакторы *Н. П. Собакина, В. В. Хапаева*
Корректор *Л. С. Тимохова*

ИБ № 2321

Сдано в набор 31.01.89. Подписано в печать 15.02.90. Т-06738. Формат 70 × 100 1/16. Бумага кн.-журн. имп. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 46,8. Усл. кр.-отт. 93,6. Уч.-изд. л. 58,07. Тираж 47 000 экз. Заказ № 1949. Цена 3 р. 50 к.

Энергоатомиздат. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького при Госкомпечати СССР. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.

ISBN 5-283-01032-5

© Авторы, 1990

Важные пункты документа можно найти по ссылке

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ускорение научно-технического прогресса диктует необходимость совершенствования промышленной электроэнергетики: создания экономичных, надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, освещения, автоматизированных систем управления электроприводами и технологическими процессами; внедрения микропроцессорной техники, элегазового и вакуумного электрооборудования, новых комплектных преобразовательных устройств.

Все это ставит большие задачи перед работниками научно-исследовательских, проектных, монтажных и наладочных организаций, работающих в области электрификации промышленности.

Серия справочников «Электроустановки промышленных предприятий» позволит использовать практические рекомендации и указания, подготовленные большим коллективом специалистов электротехнических научно-исследовательских и проектных институтов, монтажных трестов и наладочных управлений НПО Электромонтаж Министерства монтажных и специальных строительных работ СССР, обобщивших теоретические исследования, передовой опыт ведущих в области промышленной энергетики организаций, достижения отечественной и зарубежной науки и техники.

Новое издание серии «Электроустановки промышленных предприятий» включает: «Справочник по проектированию электроснабжения», «Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования», «Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления», «Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий» в двух книгах и «Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий».

В справочниках отражены требования к электрооборудованию, надежности электроснабжения и быстродействию управления технологическими процессами, вызванные совершенствованием технологии промышленных производств.

Справочники являются фактически руководством по проектированию, монтажу и наладке промышленных электроустановок, в котором представлены рациональные технические решения, новые типы электрооборудования и аппаратуры, более совершенные методы электрических расчетов, изменения и дополнения основных нормативных и руководящих документов (ПУЭ, СНиП, ГОСТ), стандартизованы многие терминологические определения и условные обозначения, отражены изменения в организации наладочных работ электромонтажного производства, в технологии и механизации монтажа, в применении наладочного оборудования.

«Справочник по проектированию электроснабжения» охватывает вопросы комплексного проектирования электроснабжения промышленных предприятий, понизительных и преобразовательных заводских и цеховых подстанций на базе серийно выпускаемого электрооборудования.

Большое внимание уделено вопросам создания необходимой надежности электроснабжения, обеспечения качества электроэнергии и электромагнитной совместимости устройств в сетях промышленных предприятий, быстродействия и селективности релейной защиты и оперативной автоматики, автоматизации измерений и учета электроэнергии. Даны рекомендации по размещению и компоновке подстанций в соответствии с требованиями ПУЭ. Расчеты электрических нагрузок даны с учетом резкопеременных нагрузок, компенсации реактивной мощности. Даны рекомендации по расчету токов короткого замыкания и выбору коммутирующей аппаратуры. Приведены технические данные нового электрооборудования, которые, не подменяя каталожную документацию заводов-изготовителей, могут быть полезны проектировщикам.

Издательство и составители справочника обращаются с просьбой к читателям присылать свои замечания и предложения по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, «Энергоатомиздат».

Авторы

Важные пункты документа можно найти по ссылке

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Таблица 1.1. **Международная система единиц СИ**

Международная система единиц СИ				Ранее применявшаяся практическая система единиц		
Величина	Единица измерения	Буквенные обозначения	Размерность	Единица измерения	Обозначение	Переводной множитель в систему СИ
Основные единицы						
Длина	метр	м	м	метр	м	1
Масса	килограмм	кг	кг	техническая единица массы	кгс·сек²/м	9,80665
Время	секунда	с	с	секунда	сек	1
Сила электрического тока	ампер	А	А	ампер	А	1
Термодинамическая температура Кельвина	кельвин	К	К	градус	°С	1
Сила света	кандела	кд	кд	свеча	св	1
Дополнительные единицы						
Плоский угол	радиан	рад	рад	радиан	рад	1
Телесный угол	стерадиан	ср	ср	стерадиан	ср	1
Производные единицы						
Площадь	квадратный метр	м²	м²	квадратный метр	м²	1
Объем (вместимость)	кубический метр	м³	м³	кубический метр	м³	1
Плотность	килограмм на кубический метр	кг/м³	кг/м³	килограмм на кубический метр	кг/м³	1
Частота	герц	Гц	Гц	герц	гц	1
Скорость	метр в секунду	м/с	м/с	метр в секунду	м/сек	1
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	рад/с	радиан в секунду	рад/сек	1
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с²	м/с²	метр на секунду	м/сек²	1
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	рад/с²	рад/с²	радиан на секунду в квадрате	рад/сек²	1
Сила, сила тяжести (вес)	ньютон	Н	Н	килограмм-сила	кгс	$\frac{1}{9,80665}$
Давление, механическое напряжение, модуль упругости сдвига, объемного сжатия	паскаль	Па	Н/м²	килограмм-сила на квадратный метр	кгс/м²	$\frac{1}{9,80665}$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 1.1

Международная система единиц СИ				Ранее применявшаяся практическая система единиц		
Величина	Единица измерения	Буквенные обозначения	Размерность	Единица измерения	Обозначение	Переводной множитель в систему СИ
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	Дж	Н·м	килограмм-сила-метр	кгс·м	1/9,80665
Мощность	ватт	Вт	Дж/с	ватт	Вт	1
Количество электричества, заряд	кулон	Кл	А·с	кулон	к	1
Электрическое напряжение, разность потенциалов, электродвижущая сила	вольт	В	Вт/А	вольт	в	1
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м	В/м	вольт на метр	в/м	1
Электрическое сопротивление	ом	Ом	В/А	ом	Ω	1
Электрическая проводимость	сименс	См	А/В	сименс	1/Ω	1
Электрическая емкость	фарада	Ф	Кл/В	фарада	ф	1
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	В·с	вебер	вб	1
Магнитная индукция	тесла	Т	Вб/м^2	вебер на сантиметр в квадрате	вб/см^2	10^4
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	А/м	ампер на сантиметр	А/см	10^2
Магнитодвижущая сила	ампер	А	А	ампер-виток	А	1
Индуктивность	генри	Гн	Вб/А	генри	гн	1
Световой поток	люмен	лм	кд·ср	люмен	лм	1
Яркость	кандела на квадратный метр	кд/м^2	лм/м^2	свеча на квадратный сантиметр	св/см^2	10^4
Освещенность	люкс	лк	лм/м^2	люмен на квадратный сантиметр	лм/см^2	10^4
Частота вращения	секунда в минус первой степени	1/с	1/с	оборот в минуту	об/мин	60
Момент инерции	килограмм-метр в квадрате	кг·м^2	кг·м^2	килограмм-метр в квадрате	кг·м^2	1
Момент силы	ньютон-метр	Н·м	Н·м	килограмм-сила-метр	кгс·м	1/9,80665

Таблица 1.2. **Десятичные кратные и дольные величины**

Приставка	Значение	Обозначения		Приставка	Значение	Обозначения	
		Русские	Латинские			Русские	Латинские
тера	10^{12}	Т	T	деци	10^{-1}	д	d
гига	10^9	Г	G	санти	10^{-2}	с	c
мега	10^6	М	M	милли	10^{-3}	м	m
кило	10^3	к	k	микро	10^{-6}	мк	μ
гекто	10^2	г	h	нано	10^{-9}	н	n
дека	10	да	da	пико	10^{-12}	п	p

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 1.3. **Условные графические обозначения в электрических схемах (ГОСТ 2.755–87, ГОСТ 2.756–76*)**

Устройства	Обозначение
Обозначение контактов	
1. Контакт коммутирующего устройства. Общее обозначение:	
замыкающий	
размыкающий	
переключающий	
переключающий без размыкания цепи	
переключающий со средним положением	
2. Контакт замыкающий с замедлителем*, действующим:	
при срабатывании	
при возврате	
при срабатывании и возврате	
3. Контакт размыкающий с замедлителем*, действующим:	
при срабатывании	
при возврате	
при срабатывании и возврате	

Продолжение табл. 1.3

Устройства	Обозначение
4. Контакт для коммутации сильноточной цепи:	
замыкающий	
размыкающий	
замыкающий дугогасительный	
размыкающий дугогасительный	
5. Контакт разъединителя	
6. Контакт выключателя-разъединителя	
7. Контакт с механической связью. Общее обозначение:	
замыкающий	или
размыкающий	или
8. Выключатель трехполюсный с автоматическим возвратом**	
9. Выключатель путевой:	
однополюсный	
трехполюсный	
10. Разъединитель трехполюсный	

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 1.3

Устройства	Обозначение
11. Выключатель кнопочный нажимной:	
с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	

Обозначение катушек

12. Катушка электромеханического устройства (реле пускателя, контактора и т. д.). Общее обозначение	
13. Катушка электромеханического устройства с одной обмоткой	
14. Катушка электромеханического устройства с двумя обмотками	
15. Катушка электромеханического устройства с *n* обмотками	*n*
16. Катушка электромеханического устройства трехфазного тока	
17. Катушка электромеханического устройства с одним и двумя дополнительными полями, в которых указывают уточняющие данные электромеханического устройства: ~ — электромагнит переменного тока; *I* — обмотка тока; *U* — обмотка напряжения; *I*> — обмотка максимального тока; *U*< — обмотка минимального напряжения; *p* — обмотка поляризованного электромеханического устройства	
18. Катушка, имеющая механическую блокировку	

Продолжение табл. 1.3

Устройства	Обозначение
19. Катушка с ускорением при срабатывании	
20. Катушка с ускорением при срабатывании и отпускании	
21. Катушка с замедлением при срабатывании	
22. Катушка с замедлением при отпускании	
23. Катушка с замедлением при срабатывании и отпускании	

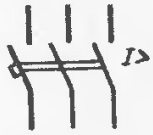
---

* Замедление происходит при движении в направлении от дуги к ее центру. Обозначение замедлителя допускается изображать с противоположной стороны обозначения подвижного контакта, например:

** При необходимости указания величины, при изменении которой происходит возврат, используются следующие знаки:

а) максимального тока *I*> ;
б) минимального тока *I*< ;
в) обратного тока *I*← ;
г) максимального напряжения *U*> ;
д) минимального напряжения *U*< ;
е) максимальной температуры *T*° > .

Знаки проставляются около обозначения выключателя, например:



Примечание. Условные обозначения коммутационных устройств допускается выполнять в зеркальном изображении.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 1.4. **Буквенные условные обозначения в электрических схемах (ГОСТ 2.710–81)**

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
A	Устройство (общее обозначение)		
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот; аналоговые или многоразрядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Сельсин-приемник	BE
		Телефон (капсюль)	BF
		Сельсин-датчик	BC
C	Конденсаторы		
D	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая	DA
		Схема интегральная цифровая, логический элемент	DD
		Устройство хранения информации	DS
E	Элементы разные	Лампа осветительная	EL
		Нагревательный элемент	EK
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Предохранитель плавкий	FU
		Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия	FA
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации	HA
		Прибор световой сигнализации	HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое	KA
		Реле указательное	KH
		Реле электротепловое	KK
		Контактор, магнитный пускатель	KM
		Реле времени	KT
		Реле напряжения	KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели		
P	Приборы, измерительное оборудование Примечание. Сочетание PE применять не допускается.	Амперметр	PA
		Счетчик импульсов	PC
		Частотомер	PF
		Счетчик активной энергии	PJ
		Счетчик реактивной энергии	PK
		Омметр	PP
		Регистрирующий прибор	PS
		Часы, измеритель времени действия	PT
		Вольтметр	PV
		Ваттметр	PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т. д.)	Выключатель автоматический	QF
		Короткозамыкатель	QK
		Разъединитель	QS
R	Резисторы	Потенциометр	RP

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 1.4

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
S	Устройства коммутационные в цепях управления сигнализации и измерительных	Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматический	SF
	Примечание. Обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей		
		Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
		от уровня	SL
		от давления	SP
		от положения (путевой)	SQ
		от частоты вращения	SR
		от температуры	SK
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Трансформатор напряжения	TV
U	Устройства связи, преобразователи электрических величин в электрические	Модулятор	UB
		Демодулятор	UR
		Дискриминатор	UI
		Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Транзистор	VT
		Тиристор	VS
		Диод стабилитрон	VD
		Прибор электровакуумный	VL
W	Линии и элементы СВЧ	Ответвитель	WE
		Короткозамыкатель	WK
		Вентиль	WS
	Антенны	Трансформатор, фазовращатель	WT
		Аттенюатор	WU
		Антенна	WA
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
		Соединитель высокочастотный	XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Муфта с электромагнитным приводом	YC
		Электромагнитный патрон или плита	YH
Z	Устройства оконечные, фильтры	Ограничитель	ZL
	Ограничители	Фильтр кварцевый	ZQ

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Соотношение некоторых единиц физических величин: маховой момент и момент инерции ($GD^2 = 4gJ$; $g = 9{,}81$ м/с^2)

$$1 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2 = 4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

электрическая энергия

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж};$$

плотность электрического тока

$$1 \text{ А/мм}^2 = 10 \text{ А/м}^2;$$

удельное электрическое сопротивление

$$1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Таблица 1.5. **Проводниковые материалы**

Материал	Плотность, кг/м^3	Температура плавления, °С	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Температурный коэффициент, 1/К·10^4	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Коэффициент линейного расширения, 1/К·10^{-6}
Алюминий	2710	657	0,26–0,029	44	2,1	884	23
Бронза	8300–8900	885–1050	0,021–0,052	40	0,4–0,8	399	17
Вольфрам	18000–19300	3400	0,053–0,55	40	0,92–1,88	143	43
Медь	8710–8940	1083	0,0175–0,018	41	3,93–4,1	411	17
Молибден	9700–10300	2570–2620	0,048–0,054	49	1,46	260	4
Никель	8800–8900	1452	0,068–0,072	68	0,58–0,62	445	13
Олово	7300	232	0,124–0,116	44	0,64	227	23
Серебро	10500	960	0,015–0,016	36	4,20–4,22	231	19
Сталь	7870	1400–1530	0,103–0,14	60	0,45–0,48	505	10

Таблица 1.6. **Проводниковые материалы высокого сопротивления**

Материал	Плотность, кг/м^3	Температура плавления, °С	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	Температурный коэффициент, 1/К·10^{-3}	Коэффициент линейного расширения, 1/К·10^{-6}	Наибольшая допустимая рабочая температура, °С	Термо-ЭДС в паре с медью, мкВ/К
Константан	8700–8900	1270	0,45–0,51	0,3–0,5	13	400–700	39–40
Манганин	8100–8400	960	0,42–0,50	3–6	19	250–300	0,9–1,0
Нейзильбер	8400	1000	0,30–0,45	25–36	22	200–250	14–16
Нихром	8100	1370	1,02–1,12	14	13,5	9000–1000	–
Фехраль	7100	1460	1,26	15–18	13,5	750–850	–
Хромаль	6950	1500	1,45	4,5	14,5	1000–1150	–

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 1.7. **Электроизоляционные материалы**

Материал	Плотность, кг/м³	Относительная диэлектрическая проницаемость при 20 °С	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом·м	Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц и 20 °С	Пробивное напряжение при 20 °С, кВ/см	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Влагопоглощаемость за 24 ч, %
Асбест	2300—2600	—	10^3	—	2,4—4,6	0,11—0,13	2—4
Асбоцемент	1600—1800	6—8	10^6—10^7	—	2—1,5 кВ/мм	0,5—1	15—20
Битумы	1000	2—4	10^{11}—10^{13}	0,03—0,05	15—20	—	—
Бумага	700—870	2,5—3,5	10^{10}—10^{12}	0,0025—0,0037	5—10	0,097—0,102	7—8
Воздух	1,21	1,00068	10^{17}—10^{18}	$(2-4)10^{-7}$	21,9—22,7	0,025—0,036	—
Гетинакс	1350—1450	6—8	10^8—10^{10}	0,045—0,15	12—33	0,168—0,170	0,25—0,6
Древесина	600—820	—	$2\cdot10^6$—$4\cdot10^9$	—	2,2—5,6	0,109—0,46	20—30
Лакоткани	900—1200	3—4	10^{10}—10^{12}	0,003—0,06	20—70	0,12—0,26	3,6—8
Масло трансформаторное	880—890	2,1—2,4	10^{12}—10^{13}	0,0006—0,0012	15—20	0,150—0,164	—
Миканиты	1500—2600	5—8	10^{10}—10^{12}	0,01—0,07	7—20	0,20—0,41	—
Парафин	850—900	2—2,2	10^{14}—10^{16}	0,0003—0,00007	22—32	—	За 180 сут 0,4—0,006
Полипропилен	900—910	2—2,1	10^{13}—10^{14}	0,002—0,0003 (при 10^6 Гц)	30—32	0,033 кал/(К·м)	—
Полистирол	1050—1070	2,4—2,6	10^{13}—10^{15}	$(2-8)\,10^{-4}$	25—40	0,79—0,82	0—0,02
Полихлорвинил	1200—1600	5—8	10^{10}—10^{14}	$(5-8)\,10^{-2}$	6—15	0,18	0,1—0,03
Полиэтилен	920—960	2,2—2,4	10^{13}—10^{15}	$(2-6)\,10^{-4}$	35—60	0,25—0,033	0—0,005
Резина	1700—2000	2,5—4,9	10^{12}—10^{13}	$(1-5)\,10^{-2}$	16—40	0,14—0,16	—
Слюда	2680—2890	5,8—7,2	10^{11}—10^{13}	0,004—0,015	95—175	0,43—0,6	—
Совтол	1500—1560	4,8—5	10^{11}—10^{13}	0,0008—0,002	14—18	—	—
Совол	1520—1540	4,5—4,8	$5(10^{11}$—$10^{12})$	0,001—0,003	15—20	—	—
Стеатит	2800—3100	6,4—7	10^{13}—10^{16}	0,0005—0,0018	38—62	1,5—2	—
Стекло	2000—3100	3,7—16,5	10^6—10^{16}	0,00012—0,007	30—45	—	1,0—3,5
Стеклоткани (на кремнийорганическом лаке)	1250—1350	3—4	10^{11}—10^{12}	0,005—0,015	18—65	0,20—0,26	1,0—3,5
Стеклотекстолит	1650—1850	6—8	10^{18}—10^{11}	0,03—0,2	12—50	0,172—0,18	—
Текстолит	1300—1450	5—6	10^5—10^8	0,06—0,3	10—20	0,146—0,162	—
Фосфор	2300—2500	5—6	10^{11}—10^{12}	0,022—0,04	22—28	1,2—1,5	—
Фторопласт-4	2100—2300	1,9—2,2	10^{16}—10^{17}	$(1-3)\,10^{-4}$	25—27	0,30—0,32	—
Шифер	2700—2900	6—9	10^6—10^7	0,08—0,12	0,5—1	1,0—3,0	0,5—1,5
Эбонит	1150—1350	3,0—3,5	10^{12}—10^{14}	$(5-15)\,10^{-3}$	15—20	0,14—0,18	—

Важные пункты документа можно найти по ссылке

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ПОДСТАНЦИИ

А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КАТЕГОРИИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ, ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ, КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ. ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электрические нагрузки систем электроснабжения определяют для выбора числа и мощности силовых трансформаторов, мощности и места подключения компенсирующих устройств, выбора и проверки токоведущих элементов по условию допустимого нагрева, расчета потерь и колебаний напряжения и выбора защиты. Под максимальной (расчетной) нагрузкой понимают наибольшее значение нагрузки элементов системы электроснабжения (СЭС), усредненное на интервале времени, за которое температура этих элементов достигает установившегося значения. Для графиков, длительность цикла которых не превосходит трех постоянных времени нагрева элемента сети, расчетная нагрузка может быть принята равной эффективной, т. е. среднеквадратичной нагрузке.

Определение максимальных нагрузок производится в два этапа. На первом этапе определяется нагрузка отдельных электроприемников, отдельных цехов и производственных участков, а также всего предприятия.

На этом этапе расчета предполагают отсутствие источников реактивной мощности в СЭС. Результаты первого этапа расчета электрических нагрузок используются как исходные данные для выбора числа и мощности силовых трансформаторов с одновременным определением мощности и мест подключения компенсирующих устройств (КУ) в соответствии с «Указаниями по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий» [2.1 – 2.3].

На втором этапе рассчитывают электрические нагрузки всей сети СЭС с учетом мощности и места подключения КУ в СЭС и степени использования реактивной мощности синхронных двигателей (СД).

В дальнейшем все коэффициенты и параметры, относящиеся к одному электроприемнику (ЭП), обозначают строчными, а относящиеся к группе электроприемников – прописными буквами.

Установленная (номинальная) мощность отдельных электроприемников принимается равной:

1) для электродвигателей длительного режима работы – паспортной мощности, кВт,

$$P_{ном} = P_{пасп},$$

где $P_{пасп}$ – номинальная мощность на валу электродвигателя;

2) для электродвигателей повторно-кратковременного режима работы – паспортной мощности, кВт, приведенной к относительной продолжительности включения, равной единице,

$$P_{ном} = P_{пасп}\sqrt{ПВ},$$

где ПВ – паспортная продолжительность включения, отн. ед.;

3) для силовых электропечных трансформаторов – паспортной мощности, кВ · А;

4) для ламп накаливания – мощности, кВт, указанной на колбе или цоколе лампы;

5) для сварочных трансформаторов

$$S_{ном} = S_{пасп}\sqrt{ПВ}$$

и

$$P_{ном} = S_{пасп}\sqrt{ПВ}\cos\varphi_{пасп};$$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

6) для газоразрядных ламп – мощности, кВт, указанной на колбе или на цоколе лампы с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

Крановая установка рассматривается как один ЭП.

При этом мощности всех двигателей складываются:

$$P_{ном} = \sum_{1}^{n} p_{номi}, \qquad (2.1)$$

где n – число ЭП.

Под номинальной реактивной мощностью $q_{ном}$ одного ЭП понимается реактивная мощность, потребляемая им из сети (+) или отдаваемая в сеть (–) при номинальной активной мощности и номинальном напряжении, а для СД и при номинальном токе возбуждения или номинальном коэффициенте мощности.

Номинальная реактивная мощность группы ЭП, квар,

$$Q_{ном} = \sum_{1}^{n} q_{номi}, \qquad (2.2)$$

где $q_{номi}$ – номинальная реактивная мощность i-го ЭП.

Коэффициент включения ЭП в цикле

$$k_в = \frac{t_р}{t_ц} = \frac{t_р}{t_р + t_х + t_п}, \qquad (2.3)$$

где $t_р$, $t_х$, $t_п$ – продолжительность работы, холостого хода и паузы.

Коэффициент включения группы ЭП

$$K_в = \frac{\sum_{1}^{n} k_в p_{номi}}{\sum_{1}^{n} p_{номi}}. \qquad (2.4)$$

Коэффициент загрузки по активной мощности одного ЭП

$$k_з = p_ф / p_{ном}, \qquad (2.5)$$

где $p_ф$ – максимальная фактическая мощность, потребляемая электродвигателем.

При отсутствии данных о $p_ф$

$$k_з = k_и / k_в.$$

Коэффициент использования активной мощности одного ЭП $k_и$ или их группы $K_и$ за наиболее загруженную смену предприятия

$$k_и = p_{см} / p_{ном}, \qquad (2.6)$$

где $p_{см}$ – средняя мощность ЭП при работе в наиболее загруженную смену;

$$K_и = \frac{\sum_{1}^{n} k_{иi} p_{номi}}{\sum_{1}^{n} p_{номi}}. \qquad (2.7)$$

Коэффициент максимума активной мощности

$$K_м = P_м / P_{см}, \qquad (2.8)$$

где $P_м$ – максимум нагрузки, кВт, усредненной на интервале 0,5 ч.

Коэффициент спроса по активной мощности

$$K_с = \frac{P_м}{P_{ном}} = K_и K_м. \qquad (2.9)$$

Коэффициент загрузки по активной мощности группы ЭП

$$K_з = \frac{\sum_{1}^{n} k_{иi} p_{номi}}{\sum_{1}^{n} k_{вi} p_{номi}} = \frac{k_и}{k_в}. \qquad (2.10)$$

Средние активная $P_{см}$, кВт, и реактивная $Q_{см}$, квар, мощности за наиболее загруженную смену

$$P_{см} = W_{а,см} / T_{см}; \qquad (2.11)$$

$$Q_{см} = W_{р,см} / T_{см}, \qquad (2.12)$$

где $W_{а,см}$, $W_{р,см}$ – расходы активной, кВт · ч, и реактивной, квар · ч, энергии за наиболее загруженную смену; $T_{см}$ – продолжительность смены, ч, без обеденного перерыва, если оборудование на это время отключалось.

Коэффициент максимума, учитывающий фактическую постоянную времени нагрева питающей линии $T_ф$, ч,

$$K_{мt} = 1 + \frac{K_м - 1}{\sqrt{T_{ф,о}/0{,}5}}, \qquad (2.13)$$

где $T_{ф,о}$ – интервал осреднения, равный $3T_ф$.

Коэффициент совмещения максимумов нагрузки групп электроприемников

$$K_\Sigma = \frac{P_{м\Sigma}}{\sum_{1}^{n} P_{мi}}, \qquad (2.14)$$

где $P_{м\Sigma}$ – общая нагрузка n групп электроприемников с учетом разновременности прохождения максимумов нагрузки различными группами, кВт.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

2.2. СРЕДНИЕ НАГРУЗКИ

Расчеты цеховых нагрузок на всех ступенях до цеховых трансформаторных подстанций включительно проводятся по расчетным коэффициентам с последующей проверкой всей расчетной нагрузки цеха по удельным расходам электроэнергии на единицу продукции.

Средние нагрузки за наиболее загруженную смену силовых ЭП одинакового режима работы определяется по формулам

$$P_{см} = K_и P_{ном}; \quad (2.15)$$

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi_{см}. \quad (2.16)$$

Для нескольких (n) групп ЭП разного режима

$$P_{см} = \sum_1^n P_{см\,i}; \; Q_{см} = \sum_1^n Q_{см\,i} \quad (2.17)$$

При наличии данных о годовом расходе активной $W_{а,г}$ и реактивной $W_{р,г}$ электроэнергии средние нагрузки могут быть определены по формулам

$$P_{см} = P_{сг}/\alpha; \quad (2.18)$$

$$Q_{см} = Q_{сг}/\alpha, \quad (2.19)$$

где $P_{сг}$ – среднегодовая активная мощность, равная $W_{а,г}/T_г$; $Q_{сг}$ – то же, реактивная мощность, равная $W_{р,г}/T_г$; $T_г$ – годовое число часов работы предприятия, которое, за исключением цехов с непрерывным производством, можно принимать по табл. 2.1.

Неравномерность нагрузки по сменам, работу в праздничные и предпраздничные дни, а также сезонные колебания нагрузки учитывает годовой коэффициент энергоиспользования α, приближенные значения которого для некоторых предприятий, работающих в три смены, приведены ниже:

Алюминиевые заводы	0,95
Цинковые, магниевые, электролизные заводы	0,92
Глиноземные заводы	0,85
Медеплавильные и никель-кобальтовые заводы	0,85
Заводы черной металлургии	0,7–0,75
Доменные цехи	0,65
Мартеновские цехи	0,75
Прокатные цехи	0,65
Обогатительные и агломерационные фабрики	0,75
Коксохимические заводы	0,82
Вспомогательные цехи заводов черной и цветной металлургии	0,55
Заводы тяжелого машиностроения	0,65

Расчетные коэффициенты силовых электрических нагрузок для ряда производств тяжелой промышленности приведены в табл. 2.2.

Средняя активная мощность осветительной нагрузки за наиболее загруженную смену принимается равной максимальной и определяется по формуле

$$P_{см,о} = K_с \sum_1^n P_{ном,о,i}, \quad (2.20)$$

где $P_{ном,о,i}$ – установленная мощность освещения с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

$$Q_{см,о} = P_{см,о} \operatorname{tg} \varphi_{см,о}, \quad (2.21)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{см,о}$ – коэффициент реактивной мощности с учетом индивидуальной или групповой компенсации реактивной мощности источников света.

Значения $K_с$ осветительной нагрузки могут быть приняты равными:

Мелкие производственные здания и торговые помещения	0,95
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,9
Производственные здания, состоящие из отдельных помещений	0,8
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,85
Лечебные, детские и учебные учреждения, конторско-бытовые и лабораторные здания	0,75
Складские здания непроизводственного назначения	0,6
Аварийное освещение	1

При наличии норм удельного расхода электроэнергии на единицу продукции в натуральном выражении по цехам или предприятию в целом годовой расход энергии

Таблица 2.1. **Годовое число часов работы предприятия**

Продолжительность смены, ч	Годовое число часов при числе смен		
	одна	две	три
8	2250	4500	6400
7	2000	3950	5870

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.2. **Расчетные коэффициенты электрических нагрузок электроприемников**

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_н$	$\cos\varphi$	$K_с$
Черная металлургия			
Обогатительные фабрики и комбинаты			
Насосы производственного водоснабжения	0,8	0,85	0,85
Насосы песковые производственные	0,75	0,8	0,8
Насосы песковые дренажные	0,2	0,8	0,75
Вентиляторы производственные, воздуходувки, дымососы, вакуум-насосы	0,75	0,8	0,8
Агломаксгаустеры для лент:			
250 и 312 м²	1	—	1
600 м² (проект)	1	—	1
Дробилки крупного дробления, щековые, конусные с двухдвигательным приводом	0,45	0,62	0,5
Дробилки конусные крупного дробления с однодвигательным приводом, дробилки конусные среднего дробления	0,6	0,75	0,65
Дробилки короткоконусные мелкого дробления	0,7	0,76	0,75
Дробилки молотковые и четырехвалковые	0,8	0,85	0,9
Мельницы шаровые и стержневые II и III стадий дробления	0,8	—	0,85—0,95
Грохоты разные	0,5	0,65	0,6
Конвейеры ленточные легкие с двигателями мощностью, кВт:			
до 10	0,5	0,70	0,55
выше 10	0,75	0,75	0,8
Питатели ленточные, улитковые, тарельчатые, лотковые с двигателями мощностью до 10 кВт, шаропитатели, электромагнитные и магнитные сепараторы	0,4	0,65	0,5
Питатели, конвейеры электровибрационные	0,98	0,6	1
Вагоноопрокидыватели	0,35—0,45	0,5—0,6	0,5—0,6
Вспомогательные механизмы конвейеров, металлообрабатывающие и деревообрабатывающие, станки, лебедки разные	0,15—0,3	0,5	0,35—0,2
Электроковши, грелки для масла	0,97	1	1
Насосы масляные	0,65	0,75	0,7
Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы	0,2—0,3	0,5	0,25—0,35
Вулканизационные аппараты	0,97	1	1
Лабораторное оборудование	0,3	0,8	0,4
Коксохимическое производство			
Транспортеры	0,3—0,7	0,4—0,85	0,5—0,8
Питатели пластинчатые и ленточные	0,45	0,75	0,6
Дробилки молотковые	0,8	0,8	0,9
Дозировочные столы, штабелеры, углепогружатели, коксовыталкиватели, загрузочные вагоны, дверосъемочные машины, электровозы тушительных вагонов, скиповые подъемники	0,05—0,3	0,5—0,75	0,2—0,4
Кабестаны	0,5	0,7	0,55
Вагоноопрокидыватели	0,35—0,45	0,5—0,6	0,4—0,5

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Доменный цех			
Вентиляторы	0,7–0,95	0,7–0,87	0,75–0,95
Вращающиеся распределители, грохоты кокса и затворы	0,035–0,12	0,5–0,7	0,04–0,15
Разливочные машины	0,3	0,6	0,35
Бегуны, газоочистка	0,7	0,65–0,7	0,75
Воздухонагреватели	0,5	0,82	0,6
Краны рудного двора и грейферные	0,35	0,7	0,5
Мартеновский (конвертерный) цех			
Насосы циркуляционные, дымососы	0,9	0,9	0,95
Вентиляторы принудительного дутья и магнитные краны	0,5–0,6	0,7–0,8	0,6–0,7
Краны разливочные и заливочные, завалочные машины	0,22–0,35	0,6	0,25–0,4
Краны двора изложниц	0,4	0,6	0,5
Вспомогательные механизмы прокатных станов			
Рольганги индивидуальные и групповые, роликоправильные машины, кантователи	0,1–0,4	0,6	0,1–0,4
Манипуляторы, нажимные устройства, слитковозы, сталкиватели, толкатели слябов, штабелирующие столы	0,1–0,32	0,7–0,8	0,14–0,55
Вентиляторы машинных залов и прокатных станов	0,7	0,8	0,8
Краны отделения раздевания слитков	0,3	–	0,4
Клещевые краны прокатного цеха	0,6	–	0,7
Краны отделения заготовок и готовой продукции	0,45	0,6	0,5
Подъемные столы, толкатели, двигатели крышек	0,1–0,15	0,65	0,15–0,19
Ножницы холодной резки	0,45	0,65	0,5
Пилы и ножницы горячей резки, ножницы блюминга и района холодильника, транспортеры ножниц и обрезков слябов, шлепперы	0,15–0,3	0,5–0,7	0,35–0,6
Вращение и перемещение пил горячей резки, преобразователи частоты рольгангов	0,2–0,5	–	0,25–0,5
Тянущие ролики моталок	0,4	–	0,5
Крышки нагревательных колодцев, шиберы, перекидка клапанов, заслонки нагревательных печей, направляющие линейки и нажимные механизмы чистовых клетей	0,02–0,15	0,6–0,75	0,02–0,15
Установки непрерывной разливки стали			
Механизмы качания кристаллизатора, тянущая клеть	0,6	0,8	0,7
Механизмы газовой резки и уборки отрезанных слитков	0,5	0,6	0,6
Технологические вентиляторы, насосы насосно-аккумуляторной станции	0,6–0,8	0,8	0,7–0,8

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Ферросплавное производство			
Транспортеры, элеваторы, питатели	0,5	0,7	0,55
Газодувки	0,8	—	0,9
Насосы, дымососы, дробилки, грохоты	0,7	0,85	0,8
Вспомогательные механизмы печей, краны	0,12—0,2	0,6	0,2
Очистные барабаны	0,25	0,65	0,4
Огнеупорные заводы и цехи			
Дробилки молотковые и мельницы шаровые	0,8	0,85	0,85
Дробилки конусные и мельницы стержневые	0,7	0,8	0,75
Грохоты	0,6	0,7	0,65
Конвейеры мощностью, кВт:			
до 10	0,5	0,7	0,55
выше 10	0,75	0,75	0,8
Питатели пластинчатые, тарельчатые, барабанные, дисковые	0,4	0,6	0,45
Элеваторы, шнеки и механизмы вращающихся печей	0,6	0,7	0,7
Дымососы печей	0,7	0,8	0,8
Краны, электролафеты, толкатели туннельных печей	0,1—0,2	0,5—0,7	0,2—0,25
Прессы гидравлические и фрикционные	0,65	0,8	0,75
Насосно-аккумуляторные станции	0,7	0,8	0,76
Электрофильтры и механизмы пылеуборки	0,46	0,85	0,5—0,7
Сушильные барабаны	0,6	0,7	0,7
Магнитные сепараторы	0,4	—	0,45
Отделение вращающихся печей	0,75	0,8	0,8
Формовочно-прессовое отделение	0,7	0,8	0,75
Дробильно-сортировочное отделение и отделение туннельных печей	0,65	0,75	0,7
Склады сырья и глинодробильные отделения	0,45	0,76	0,5
Метизная промышленность			
Волочильные, калибровочные и другие станы	0,45	0,87	0,5
Электропечи сопротивления для термической обработки	0,65	1	0,7
Производственная вентиляция, воздуходувки и центробежные насосы	0,65	0,7	0,65
Автоматические линии изготовления гаек, болтов и шурупов	0,4	0,7	0,45
Агрегаты непрерывного травления	0,45	0,8	0,45
Канатные машины, плетельные станки	0,4	0,71	0,45
Прессовка и сушка электродов	0,45	0,8	0,5
Дробильно-сушильное, смесительное отделения и насосы эмульсионного хозяйства	0,45	0,7	0,5
Агрегаты гальванического и горячего покрытия	0,6	0,78—1	0,65
Краны, тельферы, подъемно-транспортные механизмы	0,1	0,6	0,15
Сварочные дуговые автоматы	0,25	0,65	0,3

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_н$	$\cos\varphi$	$K_с$
Горнорудная промышленность			
Компрессоры стационарные мощностью, кВт:			
до 200	0,75	0,75	0,8
до 400	0,8–0,85	0,8	0,85
выше 400	0,9	0,8	0,95
Насосы мощностью, кВт:			
до 50	0,7	0,75	0,7
до 200	0,75	0,8	0,8
до 500	0,8	0,8	0,85
выше 500	0,9	0,85	0,9
Вакуум-насосы	0,8	0,85	0,95
Вентиляторы частичного проветривания	0,65	0,8	0,7
Вентиляторы главного проветривания мощностью, кВт:			
до 200	0,7	0,8	0,8
до 800	0,8	0,8	0,9
выше 800	0,9	0,85	0,95
Толкатели, опрокидыватели, качающиеся площадки, шахтные двери, бункерные затворы, скреперные лебедки мощностью до 15 кВт и выше, лебедки маневровые, откаточные, подъемные до 200 кВт	0,5–0,6	0,65	0,5–0,7
Подъемы мощностью, кВт:			
до 1000	0,65	0,75	0,75
до 2000	0,7	0,8	0,75
выше 2000	0,8	0,8	0,95
Погрузочные машины	0,65	0,65	0,7
Экскаваторы одноковшовые с приводом на постоянном токе по системе генератор – двигатель на добыче и на вскрыше	0,65	–	0,7–0,75
Экскаваторы одноковшовые с приводом на переменном токе	0,65	–	0,44–0,8
Экскаваторы многоковшовые	0,75	–	0,6–0,8
Землесосы и песковые насосы мощностью, кВт:			
до 50	0,8	0,8	0,8
выше 50	0,85	0,8	0,9
Дробилки – агрегаты крупного дробления, щековые и конусные с двухдвигательным приводом, дробилки конусные крупного дробления с однодвигательным приводом, дробилки конусные и щековые среднего дробления, одновалковые и четырехвалковые дробилки мелкого дробления	0,7	0,75	0,75–0,8
Питатели пластинчатые и тарельчатые, лотковые тяжелые (мощностью выше 10 кВт), классификаторы спиральные	0,7	0,8	0,8
Питатели ленточные, барабанные, лотковые (мощностью до 10 кВт), грохоты разные	0,6	0,72	0,7
Конвейеры легкие мощностью до 4,5 кВт, питатели реагентные разные, лебедки	0,65	0,65	0,7
Конвейеры тяжелые с шириной ленты до 1400 мм, шнеки, элеваторы, механические топки, питатели пластинчатые и тарельчатые	0,7	0,75	0,8
Конвейеры сверхтяжелые с шириной ленты 1600–2000 мм	0,8	0,85	0,8

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_н$	$\cos\varphi$	$K_с$
Элеваторы-шнеки	0,7	0,75	0,75
Электровибрационные механизмы	0,6	0,65	0,7
Вагоноопрокидыватели	0,45	0,5	0,5
Машиностроительная и металлообрабатывающая промышленность			
Металлорежущие станки, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12–0,14	0,4–0,5	0,14–0,16
То же, при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки, многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков	0,17–0,2	0,65	0,23–0,25
То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,24	0,65	0,4
Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15–0,35	0,5	0,2–0,5
Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция, насосы, компрессоры, двигатели-генераторы	0,65–0,8	0,8	0,75
Электротермические и сварочные электроприемники разных производств			
Печи сопротивления с непрерывной нагрузкой	0,8	0,95–0,98	0,85
То же, с периодической загрузкой	0,6	0,95–0,98	0,8
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,8	0,96–0,98	0,9
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 3–10 т с автоматическим регулированием электродов: для качественных сталей и для фасонного литья с механизированной нагрузкой	0,75	0,9	0,8
То же, без механизированной нагрузки	0,65	0,87	0,7
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 0,5–1,5 т для фасонного литья (во вспомогательных цехах с автоматическим регулированием электродов)	0,5	0,8	0,55
Дуговые печи цветного металла (медные сплавы) емкостью 0,25–0,5 т с ручным регулированием электродов	0,7	0,75	0,78
Руднотермические печи с трехфазными трансформаторами мощностью 6; 7,5 и 9 МВ·А	0,9	0,9	0,95
Сушильные шкафы	0,8	1	0,85
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1	0,7
Сварочные трансформаторы ручной электросварки:			
однопостовой	0,2	0,3–0,4	0,3
многопостовой	0,25	0,35–0,45	0,4
Сварочные трансформаторы автоматической сварки	0,4	0,5	0,5
Сварочные двигатели-генераторы:			
однопостовые	0,3	0,65	0,35
многопостовые	0,5	0,75	0,6

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Сварочные машины шовные, стыковые и точечные сварочные дуговые автоматы типа АДС	0,35	0,5–0,7	0,4–0,5
Индукционные печи низкой частоты	0,7	0,35	0,8
Двигатели-генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,8	0,8

Заводы искусственного и синтетического волокна

Производство капронового волокна

Химический цех	0,5	0,8	0,6
Прядильный цех, отделочный цех	0,6	0,75	0,65
Крутильный цех	0,65	0,75	0,7
Бобинажно-перемоточный цех	0,7	0,75	0,8
Цех регенерации отходов	0,55	0,7	0,65

Кордное производство

Химический цех	0,5	0,7	0,55
Прядильный цех	0,65	0,8	0,7
Крутильный цех	0,6	0,8	0,7
Ткацкий цех	0,8	0,75	0,85

Производство центрифугального шелка (вискозная технология)

Химический цех	0,5	0,7	0,55
Прядильный (без электроверетен) и отделочный цехи	0,6	0,75	0,65
Бобинажно-перемоточный цех	0,75	0,7	0,8

Штапельное производство (вискозная технология)

Химический, прядильно-отделочный цехи	0,55–0,6	0,7–0,8	0,75

Производство ацетатного шелка

Химический, прядильный цехи	0,8	0,65	0,9
Крутильный цех	0,65	0,65	0,7
Цех регенерации ацетона	0,8	0,8	0,9
Водонасосная	0,65	0,8	0,75

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Группы однотипных машин			
Прядильные машины:			
штапеля	0,38	0,7	–
капрона	0,65	0,7	–
вискозного корда	0,5	0,7	–
центрифугального шелка:			
главный привод	0,52	0,7	–
электроверетена	0,62	0,7	–
ацетатного шелка	0,7	0,7	–
Перемоточные машины	0,78	0,8	–
Тростильно-крутильные машины	0,89	0,8	–
Крутильные машины	0,64	0,8	–
Вытяжные машины	0,7	0,85	–
Динильные котлы	0,58	1	–
Ткацкие станки	0,74	0,7	–
Мешалки растворителей ацетатного шелка	0,55	0,8	–
Фильтр-прессы	0,35	0,55	–
Компрессоры	0,78	0,8	–
Водонасосные	0,83	0,8	–
Вентиляторы сантехнические	0,64	0,75	–
Производство полиэтилена низкого давлении высокой плотиости			
По цехам			
Цех очистки этилена	0,85	0,9	0,9
Цех полимеризации	0,5	0,75	0,55
Цех дистилляции и очистки азота и цех грануляции	0,65	0,8	0,75
Цех катализации	0,8	0,65	0,85
Цех легковоспламеняющихся жидкостей	0,7	0,75	0,9
По группам однотипных машин			
Компрессоры этилена	0,85	0,9	–
Цех полимеризации (технологические линии)	0,6	0,75	–
Эльма-насосы, сушилки	0,5	0,8	–
Центрифуги	0,4	0,6	–
Цех грануляции. Грануляторы	0,8	0,8	–
Газодувки, компрессоры (цех дистилляции и очистки азота)	0,43	0,7	–
Производство аммиака и метанола			
По цехам			
Цех разделения воздуха	0,73	0,95	0,87
Газовый цех (на природном газе)	0,81	0,8	0,87
Газовый цех (на газогенераторном газе)	0,56	0,8	0,65
Цех холодильных установок	0,69	0,9	0,79
Цех компрессии	0,83	0,9	0,87
Цех моноэтаноламиновой очистки	0,66	0,8	0,74
Цех синтеза аммиака	0,82	0,85	0,87
Цех водной очистки	0,85	0,8	0,89

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Цех медно-аммиачной очистки	0,73	0,85	0,8
Цех синтеза метанола	0,71	0,7	0,81
Цех сероочистки	0,76	0,64	0,8
Цех конверсии окиси углерода	0,7	0,8	0,77
Цех ректификации метанола	0,45	0,72	0,5
По группам однотипных машин			
Компрессоры воздушные	0,67	0,98	—
Газодувки газогенераторного цеха	0,57	0,85	—
Компрессоры газовые	0,85	0,99	—
Триплекс-насосы	0,4	0,75	—
Двигатели-турбины (мототурбонасосы)	0,81	0,85	—
Экспансионные машины	0,8	0,85	—
Циркуляционные компрессоры синтеза	0,74	0,78	—
Нагнетатели КВС (кислородно-воздушной смеси)	0,82	0,86	—
Компрессоры аммиачные	0,7	0,98	—
Кислорододувки	0,6	0,78	—
Производство слабой азотной кислоты			
По цехам			
Цех слабой азотной кислоты при повышенном давлении	0,8	0,95	0,86
То же, при нормальном давлении	0,73	0,91	0,78
По группам однотипных машин			
Турбогазодувки	0,73	0,9	—
Цех напорных рукавов	0,27	0,62	0,32
Цех клиновидных ремней	0,36	0,63	0,39
По группам однотипных машин			
Агрегаты для изготовления особо прочных транспортных лент	0,11	—	0,14
Каландры для изготовления сердечников для транспортерных лент	0,48	0,69	0,53
Каландры для обкладки транспортерных лент	0,28	0,51	0,44
Подогревательные вальцы для производства транспортерных лент	0,47	0,8	0,56
Шприц-машины производства формовой техники	0,37	0,47	0,45
Прессы с обогревом производства формовой техники при работе	0,78	—	0,86
То же, при разогреве	—	1	1
Подогревательные вальцы производства формовой техники	0,43	0,58	0,68
Резиносмесители подготовительного цеха	0,5	0,8	0,75

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Смесительные вальцы подготовительного цеха	0,54	0,8	0,72
Турбокомпрессоры газовые	0,8	0,95	—
Заводы по производству хлора, электролитической каустической соды, хлорпродуктов и органических продуктов			
В целом по заводу, исключая электролиз хлора и каустической соды	—	0,9	0,45—0,6
Электролиз (серии ванн) производства каустической соды	—	0,9	1
Заводы резинотехнических изделий			
По цехам			
Цех производства транспортерных лент и приводных ремней (двигатели высокого напряжения)	0,53	0,8	0,67
То же (двигатели низкого напряжения)	0,3	0,7	0,4
Цех производства формовой техники без учета электропрессов	0,36	0,63	0,39
То же, с учетом электропрессов	0,58	0,8	0,67
Подготовительный цех	0,43	—	0,58
Цех спецшлангов	0,37	0,57	0,41
Цех спиральных и буровых рукавов	0,29	0,6	0,3
Шприц-машины камер 12—38 мм	0,4	0,67	0,5
Агрегаты для наложения наружного резинового слоя на рукава диаметром 19—38 мм	0,28	0,74	0,4
Каландры подготовительного цеха обкладки	0,54	0,69	0,66
Каландры подготовительного цеха листования	0,36	0,52	0,53
Шинные заводы			
По цехам			
Подготовительный цех (двигатели высокого напряжения)	0,55	—	0,7
То же (двигатели низкого напряжения)	0,55	0,65	0,65
Сборочный цех	0,4	0,65	0,5
Цех каландров (двигатели высокого напряжения)	0,56	—	0,65
То же (двигатели низкого напряжения)	0,4	0,65	0,45
Автокамерный цех (двигатели высокого напряжения)	0,7	—	0,8
То же (двигатели низкого напряжения)	0,33	0,75	0,4
Цех вулканизации	0,3	0,55	0,35
По группам однотипных машин			
Резиносмесители, работающие на приготовлении резиновой смеси и на вулканизации каучука	0,55	—	—
Вальцы под резиносмесители	0,65	—	—
Подогреватель на вальцы	0,56	—	—

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.2

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_и$	$\cos\varphi$	$K_с$
Пелетайзеры	0,36	—	—
Шприц-машины:			
протекторных агрегатов	0,7	0,8	—
автокамерных агрегатов	0,53	0,7	—
Каландры обкладочные (обрезинивание корда)	0,68	0,8	—
Сборочные станки	0,44	0,6	—
Вулканизаторы шин	0,05	0,4	—
Вулканизаторы автокамер и ободных лент	0,16	0,5	—
Компрессоры (синхронные двигатели)	0,93	—	—
Водонасосные (водоснабжение)	0,89	0,8	—
Насосы циркуляционные и перегретой воды	0,43	0,7	—
Насосы воды низкого давления	0,87	0,8	—
Насосы воды высокого давления	0,55	0,8	—
Вентиляторы сантехнические	0,69	0,75	—
Транспортерные системы	0,25	0,45	—

может быть найден из выражения

$$W_г = \omega_{уд} M, \qquad (2.22)$$

где $\omega_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на единицу продукции; M – годовой выпуск продукции.

При отсутствии данных об удельных расходах годовой расход электроэнергии может быть определен по выражениям

$$W_{а,г} = \alpha P_{см} T_г; \qquad (2.23а)$$

$$W_{р,г} = \alpha Q_{см} T_г. \qquad (2.23б)$$

Для ориентировочных расчетов

$$W_{а,г} = P_м T_м; \qquad (2.24а)$$

$$W_{р,г} = Q_м T_{м,р}, \qquad (2.24б)$$

где $T_м$, $T_{м,р}$ – годовое число часов использования получасового максимума активной и реактивной нагрузки, может быть принято по табл. 2.3.

Годовой расход электроэнергии для освещения

$$W_{а,г,о} = P_{см,о} T_{м,о}; \qquad (2.25а)$$

$$W_{р,г,о} = Q_{см,о} T_{м,о}, \qquad (2.25б)$$

где $T_{м,о}$ – годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки, значения которого приведены в табл. 2.4 и 2.5.

Таблица 2.3. **Годовое число часов использования максимума нагрузки по отраслям**

Предприятия	$T_м$	$T_{м,р}$
Анилокрасочные заводы	7100	—
Нефтеперегонные заводы	7100	—
Заводы тяжелого машиностроения	3770	4840
Заводы станкостроения	4345	4750
Инструментальные заводы	4140	4960
Заводы шарикоподшипников	5300	6130
Заводы подъемно-транспортного оборудования	3330	3880
Автотракторные заводы	4960	5240
Сельскохозяйственное машиностроение	5330	4220
Приборостроение	3080	3180
Авторемонтные заводы	4370	3200
Вагоноремонтные заводы	3560	3660
Электротехнические заводы	4280	6420
Азотно-туковые заводы	7000	—
	8000	—
Разные металлообрабатывающие заводы	4355	5880

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.4. **Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения**

Географическая широта	Естественное освещение	Рабочее и аварийное освещение при числе смен							Аварийное освещение для эвакуации
		одна		две		три		при непрерывной работе	
		пятидневка	шестидневка	пятидневка	шестидневка	пятидневка	шестидневка		
46° с. ш.	Есть	700	550	2250	2100	4150	4000	4800	4800
	Нет	2150		4300		6500		7700	8760
56° с. ш.	Есть	750	60	2250	2100	4150	4000	4800	4800
	Нет	2150		4300		6500		7700	8760
64° с. ш.	Есть	850	700	2250	2100	4150	4000	4800	4800
	Нет	2150		4300		6500		7700	8760

Таблица 2.5. **Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для наружного освещения на всех широтах**

Виды освещения	Ежедневно			В рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 ч ночи	до 24 ч	на всю ночь	до 1 ч ночи	до 24 ч
Рабочее освещение заводских территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	—	—	—	—	—

2.3. МАКСИМАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

В соответствии с [2.35] электрические нагрузки должны определяться по методу коэффициента использования и коэффициента максимума (метод упорядоченных диаграмм). При этом мощность трансформаторов для цеховых подстанций следует определять по средней мощности в наиболее загруженную смену. Однако проведенные исследования [2.9] свидетельствуют о значительном расхождении между расчетными и фактическими нагрузками и о необходимости введения коррекции к значениям средней и расчетной нагрузки.

При определении максимальной нагрузки в системе электроснабжения рассматриваются шесть основных уровней, различающихся характером электропотребления и, как следствие, способом расчета электрических нагрузок:

I уровень электроснабжения – это линии электрической сети, связывающие отдельные ЭП с распределительным пунктом, к которому они подключены;

II уровень электроснабжения – линии распределительной сети напряжением до 1 кВ, обеспечивающие связь силовых распределительных пунктов, щитов, а также магистральные шинопроводы;

III уровень электроснабжения – шины 0,4 кВ цеховой трансформаторной подстанции;

IV уровень электроснабжения – шины РП10(6) кВ и линии, подходящие к ним. В случае отсутствия РП10(6) кВ IV и V уровни идентичны;

V уровень электроснабжения – шины низшего напряжения ГПП, ПГВ, опорной подстанции района;

VI уровень электроснабжения – граница раздела балансовой принадлежности сетей энергосистемы и промышленного предприятия.

Для отдельных ЭП всех уровней электроснабжения, имеющих длительный режим работы практически с постоянным графиком нагрузки, расчетная нагрузка равна средней. К таким электроприемникам относятся электродвигатели насосов водоснабжения, вентиляторов, компрессоров, нерегулируемых дымососов и др.

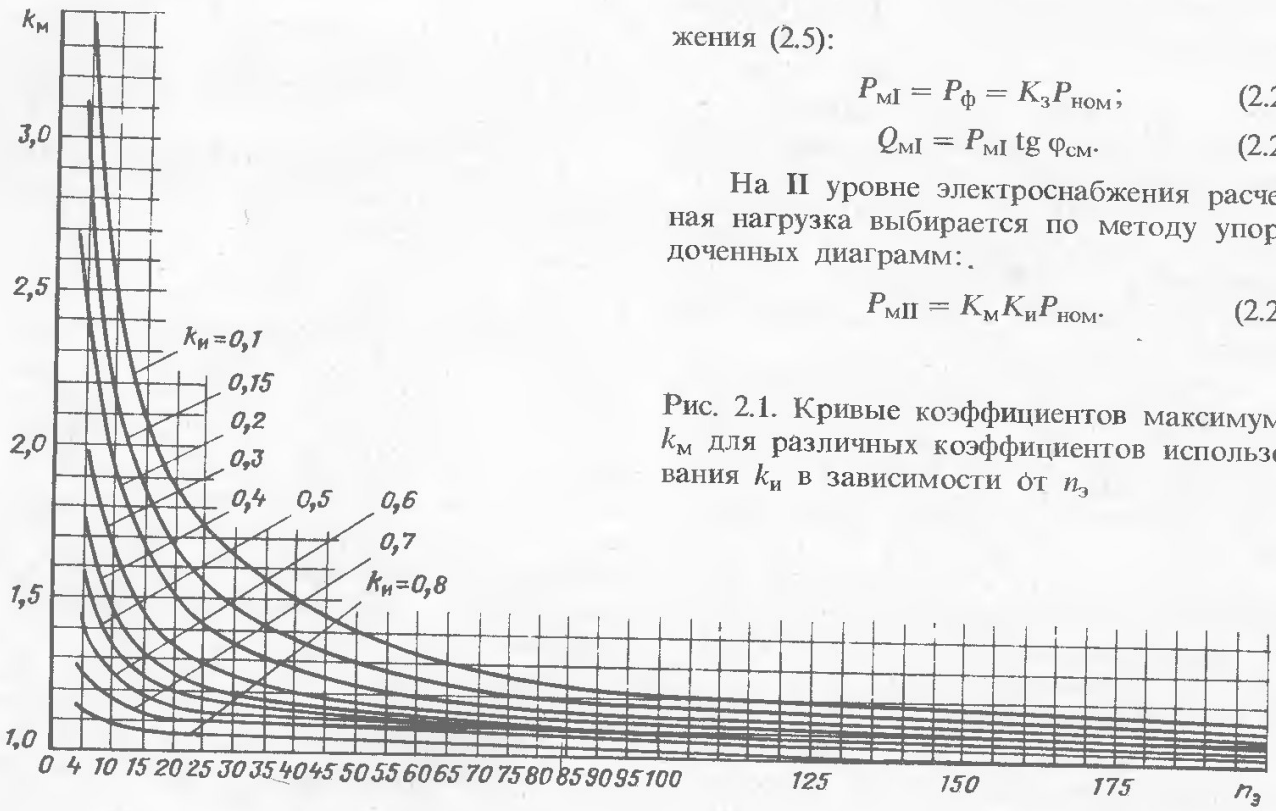
Расчетные активная и реактивная нагрузки и сечение проводников всех линий I уровня выбираются и принимаются равными фактически потребляемой мощности с учетом выра-

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.6. **Коэффициенты максимума $K_м$ для различных коэффициентов использования $K_и$ в зависимости от $n_э$**

$n_э$	Значение $K_м$ при $K_и$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08
9	2,56	2,2	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,03
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,1	1,1	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02
180	1,16	1,12	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01

Примечание. При $n_э > 200$ $K_м$ принимается равным единице.



жения (2.5):

$$P_{мI} = P_ф = K_з P_{ном}; \quad (2.26)$$

$$Q_{мI} = P_{мI} \operatorname{tg} \varphi_{см}. \quad (2.27)$$

На II уровне электроснабжения расчетная нагрузка выбирается по методу упорядоченных диаграмм:

$$P_{мII} = K_м K_и P_{ном}. \quad (2.28)$$

Рис. 2.1. Кривые коэффициентов максимума $k_м$ для различных коэффициентов использования $k_и$ в зависимости от $n_э$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Значение $K_м$ находится по кривым рис. 2.1 или по табл. 2.6 в зависимости от значения группового коэффициента использования $K_и$ за наиболее загруженную смену и эффективного числа ЭП в группе $n_э$. Под $n_э$ понимается такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обусловливает то же значение расчетного максимума, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников. Эффективное число электроприемников определяется по формуле

$$n_э = \frac{\left(\sum_1^n p_{номi}\right)^2}{\sum_1^n p_{номi}^2}. \qquad (2.29)$$

При большом числе групп ЭП допускается считать $n_э$ равным n при числе электроприемников в группе четыре и более и соблюдении отношения

$$m = \frac{P_{номmax}}{P_{номmin}} \leqslant 3. \qquad (2.30)$$

При определении m могут быть исключены электроприемники, мощность которых не превышает 5% номинальной мощности всей группы.

При $m > 3$ и $K_и > 0{,}2$ $n_э$ можно определить по более простой формуле

$$n_э = \frac{2\sum_1^n p_{номi}}{P_{номmax}}. \qquad (2.31)$$

Когда найденное по этой формуле $n_э$ окажется больше n, следует принимать $n_э = n$.

При $K_и < 0{,}2$ эффективное число электроприемников определяется по табл. 2.7. Порядок определения $n_э$ следующий:

выбирается наибольший по номинальной мощности ЭП рассматриваемого узла;

выбираются наиболее крупные ЭП, номинальная мощность каждого из которых равна или больше половине мощности наибольшего ЭП;

подсчитывается их число n_1, их мощность $P_{ном1}$, а также суммарная номинальная мощность всех рабочих электроприемников рассматриваемого узла $P_{ном}$;

находятся значения $n_{1*} = n_1/n$; $P_{1*} = P_{ном1}/P_{ном}$;

по полученным значениям n_{1*} и P_{1*} по рис. 2.2 или по табл. 2.7 определяется $n_{э*}$, а затем $n_э = n_{э*}n$.

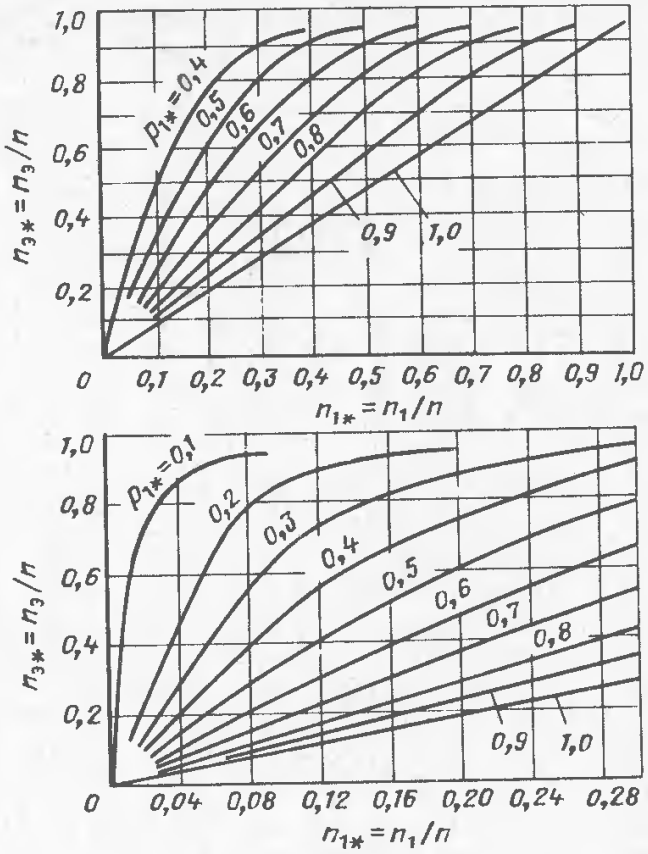


Рис. 2.2. Графики для определения эффективного числа электроприемников:

n – общее число ЭП суммарной мощностью $P_{ном}$: $n_{1*} = n_1/n$ – относительное число ЭП группы, мощность каждого из которых не менее половины мощности наибольшего ЭП; $P_{1*} = P_{н1}/P_н$ – относительная мощность n_1 наибольших ЭП

Расчетный максимум нагрузки группы ЭП или многодвигательного привода, которые имеют три и менее ЭП, определяется как сумма их номинальных мощностей. Для одного крана расчетная нагрузка принимается равной номинальной мощности двух наиболее мощных ЭП, а при нескольких кранах – с учетом $n_э$ и $K_м$.

Для ЭП в длительном режиме работы практически с постоянным графиком нагрузки, у которых $K_и \geqslant 0{,}6$ и $K_в = 1$, значение $K_м$ принимается равным единице.

Для этих групп ЭП

$$P_м = K_м K_и P_{ном} = K_и P_{ном}. \qquad (2.32)$$

К таким ЭП могут быть отнесены, например, электродвигатели насосов водоснабжения, вентиляторов, нерегулируемых дымососов, нерегулируемых печей сопротивления, эксгаустеров, шаровых мельниц, компрессоров и др.

При наличии в расчетном узле ЭП с переменным и практически с постоянным графиком нагрузки расчетные нагрузки этих ЭП

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.7. **Относительные значения эффективного числа электроприемников** $n_{э*} = n_э/n$

n_{1*}	P_{1*}											
	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,56	0,5	0,45
0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007	0,009	0,010	0,011	0,013	0,016	0,019	0,024
0,01	0,009	0,011	0,012	0,013	0,015	0,017	0,019	0,023	0,026	0,031	0,037	0,047
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07
0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13
0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,015	0,18
0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,18	0,22
0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,18	0,21	0,26
0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,20	0,24	0,28	0,33
0,1	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,29	0,34	0,40
0,15	0,14	0,16	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28	0,32	0,37	0,42	0,48	0,56
0,2	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,42	0,47	0,54	0,64	0,69
0,25	0,24	0,23	0,29	0,32	0,36	0,41	0,45	0,51	0,57	0,64	0,71	0,78
0,3	0,29	0,32	0,35	0,39	0,43	0,48	0,53	0,60	0,66	0,73	0,80	0,86
0,35	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91
0,4	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,86	0,91	0,93
0,45	0,43	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,81	0,87	0,91	0,93	0,95
0,5	0,48	0,53	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,89	0,91	0,94	0,95	
0,55	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,87	0,91	0,94	0,95		
0,60	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94	0,95			
0,65	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94	0,95				
0,70	0,66	0,73	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95					
0,75	0,71	0,78	0,85	0,90	0,93	0,95						
0,80	0,76	0,83	0,89	0,94	0,95							
0,85	0,80	0,88	0,93	0,95								
0,90	0,85	0,92	0,95									
1,00	0,95											

Примечание. Для промежуточных значений рекомендуется брать ближайшие меньшие значения $n_{э*}$.

определяются отдельно, а суммарная расчетная нагрузка по узлу в целом сложением максимальной нагрузки ЭП с переменным графиком и средней нагрузкой электроприемников с постоянным графиком.

При определении расчетных нагрузок на втором этапе (после выбора цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств) следует уточнять $K_м$ по фактической постоянной времени. Для этого определяется $K_м$ для постоянной времени $T_{ф,о} = 10$ мин, определяются максимальная нагрузка и сечение проводников и кабелей по условию допустимого нагрева.

После этого по табл. 2.8 находят фактические значения $T_{ф,о}$ и при $T_{ф,о} > 10$ мин пересчитывают $K_м$ на $K_{мt}$ по (2.13). Далее определяют уточненное значение максимальной нагрузки и выбирают сечения.

Максимальная реактивная нагрузка определяется по формуле $Q_м = K'_м Q_{см}$. Значение $K'_м$ принимается равным 1 при $n_э \geqslant 10$, а в остальных случаях $K'_м = 1{,}1$ [2.8].

Определение электрических нагрузок на III уровне электроснабжения осуществляется по выражениям

$$P_{мIII} = \lambda \sum_1^n K_{иi} p_{номi} = \lambda \sum_1^n K_{зi} K_{вi} p_{номi}; \qquad (2.33)$$

$$Q_{мIII} = \lambda \sum_1^n K_{иi} p_{номi} \operatorname{tg} \varphi_{смi} =$$

$$= \lambda \sum_1^n K_{зi} K_{вi} p_{номi} \operatorname{tg} \varphi_{смi}; \qquad (2.34)$$

где λ – корректирующий коэффициент, полученный по исходным данным, приведенным в общесоюзных нормах технологического проектирования машиностроительных предприятий и предприятий ряда других отраслей промышленности [2.9, 2.10].

Важные пункты документа можно найти по ссылке

в зависимости от $n_{1*} = n_1/n$ и $P_{1*} = P_{н1}/P_н$

0,4	0,35	0,3	0,25	0,20	0,15	0,1
0,030	0,039	0,051	0,073	0,11	0,18	0,34
0,059	0,076	0,10	0,14	0,20	0,32	0,52
0,09	0,11	0,14	0,19	0,26	0,31	0,71
0,16	0,21	0,27	0,36	0,48	0,64	0,81
0,22	0,27	0,34	0,44	0,57	0,72	0,86
0,26	0,33	0,41	0,51	0,64	0,79	0,90
0,31	0,38	0,47	0,58	0,70	0,83	0,92
0,40	0,48	0,57	0,68	0,79	0,89	0,94
0,47	0,56	0,66	0,76	0,85	0,92	0,95
0,67	0,72	0,80	0,88	0,93	0,95	
0,76	0,83	0,89	0,93	0,95		
0,85	0,90	0,93	0,95			
0,90	0,94	0,95				
0,94	0,95					
0,95						

При проектировании предприятий и цехов указанные нормы предусматривают избыточность технологического оборудования и его единичных мощностей по отношению к числу и мощности оборудования, необходимого для предусмотренного планового выпуска продукции. В связи с этим на III уровне электроснабжения следует вводить дополнительный коэффициент λ, корректирующий расчетную нагрузку и определяемый по выражению

$$\lambda = (1 - K_п)\, K_{инт}/K_н, \qquad (2.35)$$

где $K_{инт}$ – коэффициент интенсивности использования основного технологического оборудования,

$$K_{инт} = n_1/n_2, \qquad (2.36)$$

здесь n_1 – расчетное число единиц оборудования; n_2 – фактически принятое в проекте число единиц оборудования; $K_п$ – коэффициент потерь номинального фонда времени, обусловленных простоями оборудования при планово-предупредительных ремонтах; $K_и$ – коэффициент неравномерности потребления и производства.

Таблица 2.8. **Постоянные времени нагрева $T_{ф,о}$ открыто проложенных проводов и кабелей, мин**

Сечение токоведущей жилы, мм²	Изолированные провода ПР		Трехжильные кабели			
	в воздухе	в земле	АСБ 1 кВ	СБ 1 кВ	АСБ 6 кВ	СБ 6 кВ
6	3	4,8	—	—	—	—
10	4,2	7,5	—	—	—	—
16	5,5	11	—	—	—	—
25	7,2	15,7	16,8	17,4	24	25,2
35	9	19,5	18	19,2	25,8	27,6
50	12	23,5	21	22,8	28,2	30,6
70	15	27,5	24	27	31,8	35,4
95	18,4	32	28,2	32,4	36	40,8
120	21,4	35,8	32,4	37,2	40,2	45,6
150	24,2	41	36,6	42,6	44,4	49,8
185	—	—	40,2	46,8	46,8	54,6
240	—	—	42	49,2	54,6	61,8

Исходные данные для определения λ должны быть получены из «Норм технологического проектирования» соответствующих производств для различных отраслей промышленности.

В табл. 2.9 даны значения λ (верхняя граница), подсчитанные для нормативных значений $K_{иит}$, $K_п$, $K_н$ для различного вида оборудования.

Когда для проектируемых предприятий отсутствуют технологические нормы проектирования, позволяющие ввести коррекцию на избыточность оборудования, возможно введение корректирующих коэффициентов, полученных экспериментально в результате обследования объектов аналогичных производств ($\lambda = K_к$).

Ниже приведены значения корректирующих коэффициентов $K_к$, полученные в результате обследования объектов черной металлургии. Значения $K_к$ даны в зависимости от группового $K_и$.

$K_и$	$K_к$
До 0,3	0,7
0,3–0,45	0,8
0,45–0,6	0,85
0,6–0,75	0,9

На IV уровне электроснабжения максимальные расчетные активные и реактивные нагрузки РП сети выше 1 кВ определяются в соответствии с выражениями

$$P_{мIV} = \sum_1^n K_{иi} P_{номi} + \sum_1^m P_{мIIIi}; \qquad (2.37)$$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.9. **Верхние граничные значения коэффициента λ**

Цехи, отделения, производства	При одной смене	При двух сменах	При трех сменах
Инструментальные цехи:			
режущего, вспомогательного инструмента и приспособлений при числе станков:			
до 16	0,58—0,6	0,54—0,59	0,53—0,58
25	0,63—0,65	0,58—0,64	0,57—0,63
40	0,67—0,7	0,63—0,69	0,62—0,68
63	0,72—0,75	0,67—0,73	0,66—0,73
выше 100	0,77—0,8	0,72—0,78	0,7 —0,78
штампов, пресс-форм, кокилей, металлургических моделей, заготовительного (обрезные, заточные) при числе основных станков:			
до 16	0,63—0,65	0,58—0,64	0,57—0,63
25	0,67—0,7	0,63—0,69	0,62—0,68
40	0,72—0,75	0,67—0,73	0,66—0,73
63	0,72—0,75	0,67—0,73	0,66—0,73
выше 100	0,77—0,8	0,72—0,78	0,7 —0,78
мастерские по ремонту оснастки и восстановлению инструмента при числе основных станков:			
до 16	0,58—0,6	0,54—0,59	0,53—0,58
25	0,63—0,65	0,58—0,64	0,57—0,63
40	0,67—0,7	0,63—0,69	0,62—0,68
металлорежущие станки с программным управлением типа «обрабатывающий центр», устанавливаемые как отдельно, так и встраиваемые в автоматизированные участки, массой, т:			
до 10	—	0,66—0,6	0,65—0,6
10—100	—	0,64—0,59	0,64—0,58
выше 100	—	0,62—0,57	0,61—0,56
агрегатные станки	—	0,67—0,62	0,67—0,61
Ремонтно-механические цехи:			
при числе основных станков:			
до 16	0,65—0,66	0,6 —0,64	0,59—0,65
17—25	0,67—0,7	0,63—0,69	0,62—0,68
26—40	0,69—0,71	0,65—0,7	0,63—0,7
41—63	0,72—0,75	0,67—0,73	0,66—0,73
64—100	0,75—0,77	0,7 —0,76	0,69—0,76
101 и более	0,77—0,8	0,72—0,78	0,7 —0,78
ремонтные базы при числе основных станков:			
до 4	0,56—0,57	0,52—0,57	0,51—0,56
5—7	0,58—0,6	0,54—0,59	0,53—0,58
8—10	0,6 —0,61	0,56—0,61	0,54—0,6
11—16	0,63—0,65	0,58—0,64	0,57—0,63
17—25	0,65—0,66	0,6 —0,66	0,59—0,65
26 и более	0,67—0,7	0,63—0,69	0,62—0,68
Кузнечно-прессовое оборудование:			
прессы механические кривошипные, листоштамповочные, обрезные, винтовые, чеканочные с усилием, Н:			
100	0,73—0,67	0,72—0,66	0,72—0,66
до 315	—	0,71—0,65	0,71—0,65
800	—	0,69—0,63	0,68—0,63
выше 800	—	0,67—0,61	0,66—0,61
прессы клепальные	—	0,72—0,66	0,72—0,66

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.9

Цехи, отделения, производства	При одной смене	При двух сменах	При трех сменах
прессы кривошипные горячештамповочные с усилием, Н:			
630 – 1000	–	0,69 – 0,64	0,69 – 0,63
2500	–	0,66 – 0,61	0,66 – 0,6
4000	–	0,65 – 0,59	0,64 – 0,59
6300 – 12 000	–	0,62 – 0,57	0,62 – 0,57
прессы гидравлические ковочные с усилием, Н:			
800	–	0,66 – 0,61	0,65 – 0,59
1250	–	–	0,63 – 0,58
2000	–	–	0,62 – 0,57
3200	–	–	0,60 – 0,55
4000	–	–	0,59 – 0,54
6300	–	–	0,55 – 0,5
10 000 и выше	–	–	0,70 – 0,64
прессы гидравлические листоштамповочные рамные	–	0,7 – 0,65	0,70 – 0,64
прессы гидравлические листоштамповочные колонные	–	0,62 – 0,57	0,61 – 0,56
машины для литья под давлением термопластичных материалов	–	0,7 – 0,65	0,70 – 0,64
установки для электрогидравлической штамповки	–	0,72 – 0,66	–
ножницы, машины гибочные и правильные	0,72 – 0,66	0,71 – 0,65	0,71 – 0,65
молоты ковочные, кг:			
до 400	–	0,78 – 0,72	0,77 – 0,7
до 2000	–	0,75 – 0,69	0,75 – 0,69
до 5000	–	0,73 – 0,67	0,73 – 0,67
молоты штамповочные, кг:			
630 – 2000	–	0,74 – 0,68	0,74 – 0,68
3150 – 5000	–	0,73 – 0,67	0,72 – 0,66
10 000 – 25 000	–	0,67 – 0,61	0,65 – 0,6
машины горизонтальные ковочные усилием, Н:			
160 – 400	–	0,75 – 0,69	0,73 – 0,67
630 – 800	–	0,71 – 0,65	0,70 – 0,64
1250 – 1600	–	0,68 – 0,63	0,78 – 0,62
2000 – 3150	–	0,66 – 0,61	0,65 – 0,6
вальцы ковочные	–	0,76 – 0,7	0,76 – 0,7
станы попеременно-клиновой прокатки	–	0,71 – 0,65	0,69 – 0,64
автоматы и автоматические линии	0,8	0,66 – 0,75	0,66 – 0,76
прочее кузнечно-прессовое оборудование	0,88 – 0,89	0,76 – 0,89	0,76 – 0,89
Сварочные цехи:			
стенды сборки (полуавтоматы)	0,74 – 0,76	0,68 – 0,73	0,68 – 0,71
многоэлектродные машины	0,76 – 0,8	0,76 – 0,8	0,76 – 0,8
подвесные конвейерные полуавтоматы	0,81 – 0,85	0,8 – 0,85	0,8 – 0,85
поточно-механизированные сборочно-сварочные линии	–	0,62 – 0,57	0,61 – 0,56
источники питания для электродуговой сварки:			
трансформаторы сварочные	0,68 – 0,63	0,68 – 0,62	0,68 – 0,62
выпрямители и преобразователи	0,66 – 0,61	0,66 – 0,61	0,66 – 0,6
полуавтоматы и автоматы для электродуговой сварки под флюсом и в среде защитных газов (с источниками питания)	0,62 – 0,57	0,62 – 0,57	0,62 – 0,57
машины контактные для точечной, шовной, рельефной и стыковой сварки	0,66 – 0,61	0,66 – 0,61	0,66 – 0,6
машины для сварки трением	0,67 – 0,62	0,66 – 0,61	0,66 – 0,6

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.9

Цехи, отделения, производства	При одной смене	При двух сменах	При трех сменах
оборудование для специальных способов, сварки	0,63—0,58	0,62—0,57	—
машины и установки для кислородной и газоэлектрической резки и сварки	0,66—0,6	0,65—0,59	0,64—0,59
установки для сборки и электродуговой сварки со сварочными головками, механическое сварочное оборудование (манипуляторы, кантователи, позиционеры и др.)	0,67—0,62	0,66—0,61	0,65—0,6
Цехв покрытий. Окрасочные цехи:			
камеры подготовки поверхности	0,22—0,23	0,22—0,23	0,22—0,23
самоходные окрасочные устройства	0,42—0,44	0,41—0,44	0,4 —0,43
сушильные камеры	0,53—0,55	0,51—0,54	0,5 —0,54
Гальванические цехи	0,75—0,78	0,74—0,78	0,72—0,77
Термические цехи:			
автоматические линии для комплексной термообработки инструмента	—	—	0,58—0,53
механизированные и автоматизированные агрегаты, печи элеваторного типа	—	—	0,62—0,57
механизированные печи, вакуумные печи	—	0,65—0,6	0,64—0,58
немеханизированные печи (камерные, шахтные, соляные ванны)	—	0,66—0,61	0,66—0,6
немеханизированные печи камерные с площадью пола не более 0,3 м²	—	0,68—0,62	—
Высокочастотные установки:			
механизированные и автоматизированные	—	0,64—0,59	—
немеханизированные	—	0,66—0,61	—
Оборудование с вредными условиями труда	—	0,66—0,61	0,65—0,6
Печи сушильные:			
конвейерные	—	0,66—0,6	0,64—0,59
камерные	—	0,66—0,61	0,65—0,6
Индукционные печи промышленной частоты для плавки или подогрева и разлива чугуна емкостью, т:			
до 2,5	0,67—0,62	0,66—0,61	0,65—0,6
до 25 и выше	—	0,65—0,6	0,62—0,57
Индукционные канальные электропечи	0,67—0,62	0,64—0,59	0,62—0,57
Печи плавильные для медных сплавов	0,67—0,62	0,66—0,61	0,65—0,6
Печи плавильные для алюминиевых и других легких сплавов	0,67—0,62	0,66—0,61	0,65—0,6
Закрытые вагранки с подогревом дутья и очисткой газов (при одном подогревателе на две вагранки)	0,68—0,62	0,65—0,6	0,62—0,57
Печи термические:			
с непрерывным технологическим циклом работы длительностью выше 120 ч	—	—	0,62—0,57
с техническим циклом работы длительностью 70—120 ч	—	—	0,63—0,58
Автоматизированные агрегаты с контролируемой атмосферой для отливок с длительным циклом обработки (30 ч и более)	—	—	0,59—0,54
Печи плавильные:			
дуговые электропечи для плавки стали и чугуна емкостью, т:			
0,5—1,5	0,66—0,61	0,65—0,6	—
3—6	—	0,65—0,6	0,62—0,57
12—25	—	0,64—0,5	0,61—0,56
50 и выше	—	—	0,60—0,55

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.9

Цехи, отделения, производства	При одной смене	При двух сменах	При трех сменах
индукционные печи повышенной частоты для плавки стали емкостью, т:			
0,06—25	0,65—0,6	0,65—0,6	—
6,0—25	—	0,64—0,58	0,61—0,56
Плавильные цехи для производства:			
единичного и мелкосерийного	0,6 —0,7	0,6 —0,7	0,6 —0,7
серийного и мелкосерийного	0,65—0,77	0,65—0,77	0,65—0,77
Сборочные цехи:			
слесарная обработка, узловая и общая сборка, окраска, сушка, испытания, прессы, сборочные автоматы	0,75—0,85	0,75—0,85	0,75—0,85
сборка на конвейерах, автоматические линии	0,87—0,9	0,81—0,9	0,79—0,9
Сборочно-монтажное оборудование (производства радиоприборостроения):			
оборудование подготовки проводов, кабелей, резки, заготовок витых сердечников, изоляционных трубок, подготовки радиоэлементов к сборке	0,67—0,61	0,66—0,61	0,66—0,61
автоматы и полуавтоматы установки навесных элементов на печатные платы	0,64—0,58	0,62—0,57	0,61—0,56
автоматы и полуавтоматы формовки радиоэлементов, установки пайки «волной»	0,68—0,62	0,67—0,62	0,66—0,61
Производство электрорадиоэлементов:			
автотрансформаторные линии для изготовления печатных плат	0,72—0,66	0,72—0,66	0,71—0,65
оборудование изготовления печатных плат, оборудование фотолитографии	0,68—0,62	0,67—0,62	0,66—0,61
напылительные установки, оборудование для изготовления толстопленочных микросхем			
рабочие места при конвейерной сварке			
контрольно-испытательное и тренировочное оборудование	0,66—0,6	0,65—0,6	0,64—0,59
регулировочное оборудование для аппаратуры, получающей СВЧ колебания, оборудование климатических испытательных узлов, блоков изделий и термобарокамер при $t = 60°$	0,74—0,68 0,68—0,62 0,59—0,55	0,74—0,68 0,67—0,62 0,57—0,54	0,73—0,68 0,66—0,62 0,58—0,53
Деревообрабатывающие цехи для производства:			
единичного и мелкосерийного	0,75—0,8	0,75—0,8	0,75—0,8
среднесерийного	0,8 —0,85	0,8 —0,85	0,8 —0,85
крупносерийного и массового	0,85—0,9	0,85—0,9	0,85—0,9

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.9

Цехи, отделения, производства	При одной смене	При двух сменах	При трех сменах
Смесеприготовительное отделение для производства:			
единичного и мелкосерийного	0,6 –0,7	0,6 –0,7	0,6 –0,7
серийного и мелкосерийного	0,65–0,71	0,65–0,71	0,65–0,71
Предприятия автомобильного транспорта:			
диагностическое, контрольное, испытательное, регулировочное, моечно-уборочное оборудование	0,37–0,45	0,36–0,44	0,35–0,42
окрасочно-сушильное, кузнечно-прессовое, сварочное, кузовное оборудование	0,44–0,5	0,43–0,49	0,42–0,47
металлообрабатывающее, деревообрабатывающее, разборочно-сборочное, электротехническое оборудование	0,55–0,623	0,54–0,617	0,53–0,61
Производство керамзитового гравия и песка:			
агрегат обжиговый	—	—	0,78
аэрожелоб-холодильник	—	—	0,86
барабан сушильный	—	—	0,82
бегуны мокрого помола	—	—	0,85
вальцы дырчатые, вальцы тонкого помола, вальцы камневыделительные	—	—	0,86
глинорыхлитель, гравиесортировка, грохот инерционный			
дробилка молотковая	—	—	0,85
конвейер ленточный	—	—	0,78
печь вращающаяся	—	—	0,78
питатель ящичный	—	—	0,86
пресс шнековый	—	—	0,84
смеситель с фильтрующей решеткой	—	—	0,86
Производство извести:			
цех обжига извести (отделение обжига)	—	—	0,95
помольный цех (помольное отделение) или отделение дробления извести	—	—	0,82
дробильное оборудование дробилки	—	—	0,85
грохоты	—	—	0,85
Формовочное отделение	0,7–0,85	0,7–0,85	0,7–0,85
Стержневое отделение для производства:			
единичного и мелкосерийного	0,65–0,71	0,65–0,71	0,65–0,71
серийного и мелкосерийного	0,7 –0,77	0,7 –0,77	0,7 –0,77

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.9

Цехи, отделения, производства	При одной смене	При двух сменах	При трех сменах
Грунтовочное отделение для производства:	0,65–0,71	0,65–0,71	0,65–0,71
единичного и мелкосерийного	0,7 –0,77	0,7 –0,77	0,7 –0,77
серийного и мелкосерийного	—	—	0,95
Алюминиевое производство	—	—	0,92
Цинковое, магниевое, электролитное производство	—	—	0,85
Глиноземное производство	—	—	0,85
Медеплавильное и никель-кобальтовое производство	—	—	0,65
Доменное производство	—	—	0,75
Мартеновское производство	—	—	0,65
Производство проката	—	—	0,75
Обогатительное производство	—	—	0,75
Агломерационное производство	—	—	0,82
Коксохимическое производство	0,85–0,9	0,85–0,9	0,85–0,9
Вентиляция цехов	0,85–0,9	0,85–0,9	0,85–0,9
Насосные, компрессорные			

Таблица 2.10. **Значения коэффициента *a* для различных условий питания потребителей электроэнергии**

Объединенная энергосистема	Значение коэффициента *a* для шин 6–20 кВ при высшем напряжении подстанции, кВ		
	35	110–150	220–330
Северо-Запада, Центра, Средней Волги, Украины, Казахстана	0,23	0,28	0,37
Средней Азии	0,3	0,35	0,47
Сибири	0,24	0,29	0,4
Урала	0,27	0,31	0,42
Юга, Закавказья	0,22	0,26	0,34
Востока	0,2	0,25	0,32

$$Q_{\text{мIV}} = \sum_1^n K_{\text{и}i} P_{\text{ном}i} \operatorname{tg} \varphi_{\text{см}i} + \sum_1^m Q_{\text{мIII}i}, \qquad (2.38)$$

где n – число ЭП без учета потребителей с резкопеременным графиком нагрузки, которые подключены к РП; m – число цеховых трансформаторов, подключенных к РП.

На V уровне электроснабжения расчетные активные и реактивные нагрузки определяются по выражениям

$$P_{\text{мV}} = K_{\text{р,м}} \left(\sum_1^m P_{\text{мIV}i} + \sum_1^n K_{\text{и}i} P_{\text{ном}i} \right); \qquad (2.39)$$

$$Q_{\text{мV}} = Q_{\text{э}} - \Delta Q_{\text{т}}, \qquad (2.40)$$

где $K_{\text{р,м}}$ – коэффициент разновременности максимумов нагрузки ($K_{\text{р,м}} \leqslant 0{,}9$ [2.9]); $Q_{\text{э}}$ – реактивная мощность, потребляемая из энергосистемы в часы максимума нагрузки,

$$Q_{\text{э}} = aP_{\text{мV}}; \qquad (2.41)$$

$\Delta Q_{\text{т}}$ – потери реактивной мощности в трансформаторах ГПП, $\Delta Q_{\text{т}} = 0{,}14\sqrt{P_{\text{мV}}^2 + Q_{\text{э}}^2}$ для двухтрансформаторной ГПП; n – число электроприемников, подключенных непосредственно к ГПП; m – число цеховых трансформаторов, подключенных непосредственно к шинам ГПП.

Значение коэффициента d задается в зависимости от максимальной активной расчетной нагрузки предприятия, напряжения сети внешнего электроснабжения и района страны, в котором расположено проектируемое предприятие (табл. 2.10) [2.13].

При резкопеременной нагрузке, подключенной к IV и V уровням, суммируют графики $\sum_1^n P(t)$ и $\sum_1^n Q(t)$ и определяют максимальную нагрузку по результирующим графикам.

На VI уровне электроснабжения расчетная активная и реактивная нагрузка выражаются как

$$P_{\text{мVI}} \approx P_{\text{мV}}; \qquad (2.42)$$

$$Q_{\text{мVI}} = Q_{\text{э}}. \qquad (2.43)$$

Данные для определения электрических нагрузок на разных уровнях электроснабжения приведены в табл. 2.11 и 2.12.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.11. **Данные для определения элек**

Узлы питания и группы электроприемников	Количество электроприемников рабочих / резервных	Установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт: $P_{ном}$ одного электроприемника (наибольшего — наименьшего)	Установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт: $P_{ном}$ общая рабочая / резервная	$m = \frac{P_{ном max}}{P_{ном min}}$	Коэффициент использования $K_и$	$\cos\varphi$ / $tg\varphi$
Цех № 1, участок № 1						
Троллей 5						
Заливочные краны (два крана):						
главный подъем, ПВ = 25%, 2 электродвигателя по 100 кВт (могут работать одновременно)	2	2·50	200	—	0,2	0,6 / 1,33
вспомогательный подъем, главная тележка, ПВ = 25%, 60 кВт	2	30	60	—	0,2	0,6 / 1,33
вспомогательная тележка, ПВ = 25%, 15 кВт	4	7,5	30	—	0,2	0,6 / 1,33
передвижение моста, ПВ = 25%, 2 двигателя по 80 кВт	2	2·40	160	—	0,2	0,6 / 1,33
Итого по троллею 5	10	7,5 ÷ 2·50	450	3	0,2	0,6 / 1,33
ЩСУ-1						
Мельницы шаровые 50 кВт	5 / 1	50	250 / 50	—	0,8	0,8 / 0,75
Станки	7	5—21	51	—	0,2	0,65 / 1,15
Итого по ЩСУ-1	12 / 1	50	301 / 50	>3	0,7	—
Магистраль М1						
Станки разные	60	4—51	800	>3	0,2	0,65 / 1,15
Вентиляторы	4	15	60	—	0,7	0,8 / 0,75
Насосы	2	150	300	—	0,8	0,8 / 0,75
Нагреватели	3	30	90	—	0,8	1,0 / 0
Итого по М1:	71	—	1300	—	0,41	—
ЩСУ-2						
Насосы	15 / 2	5—28	165 / 30	—	0,8	0,8 / 0,75

Важные пункты документа можно найти по ссылке

трических нагрузок на II уровне электроснабжения

Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Коэффициент учета технологических факторов λ	Средняя нагрузка с учетом λ		Эффективное число электроприемников $n_э = \frac{2\Sigma P_{ном}}{P_{ном\,max}}$	Коэффициент максимума $K_м$	Максимальная расчетная нагрузка на II уровне		
$P_{см} = K_и P_{ном}$, кВт	$Q_{см} = P_{см} \times \operatorname{tg}\varphi_{см}$, квар		$P_с = P_{см}\lambda$, кВт	$Q_с = Q_{см}\lambda$, квар			$P_м = K_м P_{см}$, кВт	$Q_м = K'_м Q_{см}$, квар	$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2}$, кВ · А
—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—
90	120	—	72	96	9	1,9	171	132	217
200	150	0,95	190	142,5	—	—	—	—	—
10	11	0,75	7,65	8,8	—	—	—	—	—
210	161	—	197,7	151,3	12	1,15	242	161	290
160	184	0,75	120	138	34	1,34	214	202	—
42	31	0,88	36,96	27,72	—	—	42	31	—
240	180	0,88	211,2	158,4	—	—	240	180	—
72	—	0,6	43,2	—	—	—	72	—	—
514	395	—	411,4	324,1	—	—	568	413	700
132	99	0,88	116,16	87,12	—	—	—	—	—

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Узлы питания и группы электроприемников	Количество электроприемников рабочих / резервных	Установленная мощность, приведенная к ПВ = 1, кВт: $P_{ном}$ одного электроприемника (наибольшего — наименьшего)	Установленная мощность, приведенная к ПВ = 1, кВт: $P_{ном}$ общая рабочая / резервная	$m = \frac{P_{ном max}}{P_{ном min}}$	Коэффициент использования $K_и$	$\cos\varphi$ / $tg\varphi$
Задвижки	10	0,5 ÷ 1,5	10	—	—	—
Вентиляторы	2	5	10	—	0,65	0,8 / 0,75
Нагреватели	1	30	30	—	0,6	1,0/1
Итого по ЩСУ-2	28 / 2	0,5 – 30	215 / 30	—	—	—
Магистраль М2 ЩСУ-3						
Станки разные	62	4,5 – 15	412	> 3	0,2	0,5 / 1,73
Таль	1	3	3	—	—	—
ЩР-1						
Сварочные трансформаторы автоматической сварки, 380 В, 3,60 + 2,66 + + 1,25 кВт, ПВ = 60%	6	20 – 51	250	> 3	0,35	0,6 / 1,33
Итого по М2	69	4,5 – 51	675	> 3	0,26	0,56 / 1,45
Итого силовая нагрузка по участку № 1	190 / 3	100	2941 / 80	—	0,39	—
Освещение по участку № 1	—	—	150	—	0,9	—
Итого по участку № 1	190 / 3	—	3091	—	—	—

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Продолжение табл. 2.11

Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Коэффициент учета технологических факторов λ	Средняя нагрузка с учетом λ		Эффективное число электроприемников $n_э = \frac{2\sum P_{ном}}{P_{ном max}}$	Коэффициент максимума $K_м$	Максимальная расчетная нагрузка на II уровне		
$P_{см} = K_и P_{ном}$, кВт	$Q_{см} = P_{см} \times \operatorname{tg}\varphi_{см}$, квар		$P_с = P_{см}\lambda$, кВт	$Q_с = Q_{см}\lambda$, квар			$P_м = K_м P_{см}$, кВт	$Q_м = K'_м Q_{см}$, квар	$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2}$, кВ·А
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	5	0,88	5,72	4,29	—	—	—	—	—
18	—	0,6	10,8	—	—	—	—	—	—
157	104	—	132,7	91,4	—	—	157	104	188
82	144	0,75	61,8	106,9	55	1,21	99	158	186
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
91	121	0,63	57,33	76,3	—	2	199	142	244
173	265	—	119,1	183,2	26	2,35	233	265	—
1144	1045	—	932,9	845,8	59	1,12	1280	1045	—
135	105	—	135	105	—	—	135	105	—
1279	1150	—	1067,9	950,8	—	—	1415	1150	1823,3

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.12. **Данные для определения электричес**

Узлы питания и группы электроприемников	Количество электроприемников рабочих / резервных n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт: $P_{ном}$ одного электроприемника наибольшего и наименьшего	Установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт: $P_{ном}$ общая рабочая / резервная	Коэффициент использования $K_и$	$\cos\varphi_{см}$ / $tg\varphi_{см}$
					III уровень
РП-1					
Участок № 1					
Силовая нагрузка	190 / 3	100	2941 / 80	0,39	—
Освещение	—	—	150	0,9	—
Итого по участку № 1	190 / 3	—	3091 / 80	—	—
Участок № 2					
Силовая нагрузка	90	140	1990	0,41	—
Освещение	—	—	120	0,9	—
Итого по участку № 2	90	—	2110	—	—
Участок № 3					
Силовая нагрузка	92 / 5	80	2830 / 100	0,44	—
Освещение	—	—	100	1	—
Итого по участку № 3	92 / 5	—	2930 / 100	—	—
Участок № 4					
Силовая нагрузка	120	105	3200 / 200	0,39	—
Освещение	—	—	140	0,9	—
Итого по участку № 4	120	—	3340 / 200	—	—
Итого нагрузка до 1 кВ	492 / 3	—	11 461 / 380	—	—
					IV уровень
Электроприемники до 1 кВ	492 / 8	—	11 461 / 380	—	—
Электроприемники напряжением 6 кВ с переменным графиком работы	2	500	1000	0,5	0,8
Электроприемники с постоянным графиком — насосы водоснабжения (синхронные двигатели 6 кВ, $\cos\varphi = 0,9$, $\eta = 0,92$)	2 / 1	1400	2800 / 1400	0,7	—
Итого:	496 / 9	—	15 261 / 1780	—	—

Важные пункты документа можно найти по ссылке

ких нагрузок на III и IV уровнях электроснабжения

Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Коэффициент технологических потерь λ или корректирующий $K_к$	Максимальная расчетная мощность		
$P_{см} = K_и P_{ном}$, кВт	$Q_{см} = P_{см} tg\varphi_{см}$, квар		$P_м = P_{см}\lambda = P_{см}K_к$, кВт	$Q_м = P_м tg\varphi_{см}$, квар	$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2}$, кВ·А
1144	1045	—	932,9	845,8	—
135	105	—	135	105	—
1279	1150	—	1068	950	1430
812	858	0,8	650	686	—
108	—	1	108	—	—
920	858	—	758	686	1022
850	950	0,8	845	816	—
100	70	0,8	845	816	—
—	—	—	845	816	1175
1250	850	0,9	1235	855	—
126	100	0,9	1235	855	—
1376	950	—	1235	855	1502
—	—	—	3906	3307,8	5118
—	—	—	3906	3307,8	—
500	375	—	500	375	—
1960	—	—	1960	—	—
—	—	—	6366	3682,8	7354

Важные пункты документа можно найти по ссылке

2.4. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ

Годовые потери активной энергии, кВт · ч, определяются по формуле

$$\Delta W_г = nI_{сг}^2 R T_г 10^{-3}; \qquad (2.44)$$

максимальные потери мощности, кВт,

$$\Delta P_м = nI_м^2 R 10^{-3}; \qquad (2.45)$$

здесь n – число фаз или полюсов;

$I_{сг} = \dfrac{\sqrt{P_{сг}^2 + Q_{сг}^2}}{\sqrt{3}\,U_н}$ – среднегодовой ток, А;

R – сопротивление одной фазы (полюса), Ом.

2.5. ПИКОВЫЕ НАГРУЗКИ

Пиковой нагрузкой одного или группы ЭП называется кратковременная нагрузка (длительность 1 – 2 с), обусловленная пуском электродвигателей, эксплуатационными короткими замыканиями дуговых электропечей, электросваркой и т. п. Пиковая нагрузка характеризуется частотой ее появления.

Пиковый ток группы ЭП, работающих при отстающем токе, можно определить по формуле, А,

$$i_п = i_{пmax} + (I_м - K_и i_{номmax}), \qquad (2.46)$$

где $i_{пmax}$ – максимальный пусковой ток двигателя в группе; $I_м$ – ток максимальной нагрузки всех ЭП; $i_{номmax}$ – номинальный (приведенный к ПВ = 100 %) ток двигателя с максимальным пусковым током.

Максимальным (пиковым) током одного ЭП может быть:

а) пусковой ток асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором или синхронного двигателя. В случае отсутствия заводских данных пусковой ток может быть принят равным 5-кратному номинального;

б) пусковой ток двигателя постоянного тока или асинхронного с фазным ротором. При отсутствии более точных данных пусковой ток должен приниматься не меньше 2,5-кратного номинального;

в) пиковый ток печных и сварочных трансформаторов, который должен быть принят по заводским данным, а в случае их отсутствия – не менее 3-кратного номинального (без приведения к ПВ = 100 %);

г) пиковая мощность, кВ · А, отдельно работающих машин контактной сварки, которая определяется по паспортным данным по формуле

$$S_п = U_{2max} I_{2max}, \qquad (2.47)$$

где U_{2max} – максимальное вторичное напряжение, В; I_{2max} – максимальный сварочный вторичный ток, кА.

При отсутствии заводских данных пиковая мощность может быть приближенно принята равной 3-кратной номинальной (при паспортном ПВ).

При малом числе ЭП в группе и большом различии их мощностей и коэффициентов мощности для пикового тока можно рекомендовать выражение

$$I_п = i_{пmax} + K_м \frac{\sqrt{(P_{см} - p_{см})^2 + (Q_{см} - q_{см})^2}}{\sqrt{3}\,U_{ном}}, \qquad (2.48)$$

где $P_{см}$, $Q_{см}$ – активная и реактивная мощности всей группы за наиболее загруженную смену; $p_{см}$, $q_{см}$ – активная и реактивная мощности ЭП, потребляющего наибольший пиковый ток $i_{пmax}$; $K_м$ – коэффициент максимума, который может быть принят как для всей группы.

При самозапуске электродвигателей в качестве пускового принимается пусковой ток всех участвующих в самозапуске двигателей.

Для установок с циклическим характером производства определение пускового тока производится на основе исследования графиков нагрузок.

Для группы одновременно работающих по программе машин контактной сварки пиковая мощность определяется по специальной методике.

При наличии ЭП с ударными нагрузками пиковый ток определяется специальным расчетом.

2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МАШИН КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРОСВАРКИ

Приведенная ниже методика [2.14, 2.15, 2.16] расчета электрических нагрузок предназначена для различных видов машин контактной сварки: точечных, многоточечных, рельефных, шовных и стыковых, устанавливаемых в различных отраслях металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности. Данный метод расчета может быть распространен также на любые электрические нагрузки, характеризуемые большой частотой и малой продолжительностью включения.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Исходные данные. Планировка проектируемого цеха: паспортные данные сварочных машин (напряжение, фазность, установленная мощность сварочных трансформаторов и их распределение по фазам для двух- и трехфазных машин); перечень сблокированных сварочных машин; режим работы сварочных машин (автоматический, полуавтоматический, ручной).

При отсутствии расчетных технологических данных или графиков нагрузки машин за цикл сварки расчет нагрузок производится с помощью среднестатистических коэффициентов загрузки и включения.

Используемые в расчетах среднестатистические коэффициенты загрузки и включения выявлены в результате обследования сварочных установок значительного числа действующих производств, в основном автомобилестроительных заводов, выпускающих легковые машины. Эти коэффициенты следует постоянно уточнять в связи с повышением производительности сварочного оборудования, появлением новых типов машин контактной сварки. Для других производств (вагоностроение, производство грузовых машин и др.) коэффициенты загрузки и включения могут иметь иные значения, которые необходимо выявить при проведении соответствующих обследований этих производств.

Паспортная продолжительность включения принята для отечественных машин 20%, для импортных – 50%.

Коэффициент мощности сварочных машин на основании результатов экспериментальных обследований машиностроительных предприятий принят равным 0,6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

Однофазными сварочными машинами считаются машины, включенные на линейное напряжение. Двухфазными считаются машины, имеющие два плеча, подключенные к трем фазам по схеме открытого треугольника, включаемые одновременно. Трехфазными считаются машины, имеющие три плеча, подключенные к трем фазам сети и включаемые одновременно. Двухфазные и трехфазные машины при разновременном включении плеч рассматриваются как группы однофазных машин.

Схема ожидания – схема включения сварочных машин, связанных блокировочными зависимостями, которые исключают одновременное включение сблокированных машин или групп сварочных трансформаторов.

$S_у$ – установленная мощность сварочных трансформаторов машины при номинальной паспортной продолжительности включения указывается в паспорте машины, кВ · А;

$k_з$ – коэффициент загрузки данной машины, выражающий отношение пиковой потребляемой мощности к установленной;

$k_в$ – коэффициент включения, отражающий длительность включения машины в полном цикле сварки,

$$k_в = \frac{t_в}{t_в + t_п} = \frac{t_в}{t_ц}, \qquad (2.49)$$

где $t_в$ – продолжительность сварки, с; $t_п$ – продолжительность паузы; $t_ц$ – продолжительность одного цикла сварки, с.

При пользовании среднестатистическими коэффициентами загрузки и включения, приведенными в табл. 2.13, потребляемые средняя, эффективная и пиковая мощности определяются соответственно по следующим формулам, кВ · А,

$$S_с = S_у k_з k_в; \qquad (2.50)$$

$$S_э = S_у k_з \sqrt{k_в}; \qquad (2.51)$$

$$S_п = S_у k_з. \qquad (2.52)$$

Пиковая мощность – это кратковременная мощность, потребляемая машиной из сети при сварке изделий заданных размеров и марки металла.

При расчетных технологических исходных данных (потребляемая мощность $S_{п,т}$ и коэффициент включения $k_{в,т}$) средняя, эффективная и пиковая мощности определяются соответственно, кВ · А,

$$S_с = S_{п,т} k_{в,т}; \qquad (2.53)$$

$$S_э = S_{п,т} \sqrt{k_{в,т}}; \qquad (2.54)$$

$$S_п = S_{п,т}. \qquad (2.55)$$

При этом технологический коэффициент включения, соответствующий данной технологии,

$$k_{в,т} = \frac{V t_{в,т} N}{3600}, \qquad (2.56)$$

где V – число сварок на данной детали; N – число деталей, свариваемых за час; $t_{в,т}$ – продолжительность сварочного тока одной сварки, с, определяется по таблицам технологических режимов сварки.

Для машин с многоступенчатым графиком нагрузки $t_{в,т}$ определяется на каждой ступени графика.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.13. **Среднестатистические коэффициенты загрузки и включения**

Виды машин	$K_з$	$K_в$
Одноточечные стационарные (при нерегулируемых игнитронных и тиристорных контакторах)	0,8 – 1	0,03 – 0,05
Одноточечные стационарные (при регулируемых игнитронных и тиристорных контакторах)	0,5 – 0,9	0,03 – 0,05
Одноточечные подвесные (при $ПВ_{пасп}$ = = 20 %)	1,1 – 1,7	0,03 – 0,05
Одноточечные подвесные (при $ПВ_{пасп}$ = = 50 %)	1,7 – 2	0,03 – 0,05
Рельефные машины	0,7 – 0,08	0,07 – 0,1
Шовные машины	0,7 – 0,8	0,5 – 0,6
Многоточечные машины (при $ПВ_{пасп}$ = = 5 ÷ 12 %)	0,9 – 1	0,05 – 0,2
Многоточечные машины (при $ПВ_{пасп}$ = = 50 %)	1,7 – 2,3	0,03 – 0,2
Стыковые сварочные машины (сварка сопротивлением)	0,3 – 0,75	0,3 – 0,5
Стыковые сварочные машины (сварка непрерывным оплавлением):		
оплавление	0,23 – 0,45	0,3 – 0,45
осадка	0,8 – 1,1	0,03 – 0,5
Стыковые сварочные машины (сварка оплавлением с подогревом):		
подогрев	0,7 – 0,9	0,05 – 0,15
оплавление	0,03 – 0,15	0,08 – 0,2
осадка	0,8 – 1,1	0,03 – 0,05

Продолжительность технологического цикла сварки, с,

$$t_ц = 3600/N. \qquad (2.57)$$

Частота включения сварочной машины равна $N/3600$.

При уточнении эффективной нагрузки, определении пиковой мощности и максимальной потери напряжения в сети нагрузка каждой сварочной машины представляется величиной пикового линейного тока.

При использовании в качестве исходных данных установленной мощности сварочных трансформаторов и среднестатистических коэффициентов загрузки и включения индивидуальные пиковые токи машин определяются следующим образом, А:

для однофазных машин

$$i_п = \frac{s_у k_з}{U_{ном}}; \qquad (2.58)$$

для двухфазных машин, включенных по схеме открытого треугольника:

для общей фазы

$$i_п = \frac{s_у k_з \sqrt{3}}{2U_{ном}}; \qquad (2.59)$$

для остальных фаз

$$i_п = \frac{s_у k_з}{2U_{ном}}; \qquad (2.60)$$

для трехфазных машин

$$i_п = \frac{s_у k_з}{\sqrt{3}\,U_{ном}}. \qquad (2.61)$$

При использовании в качестве исходных данных графиков нагрузки машин или расчетных технологических данных, пиковые токи определяются по формулам, А:

для однофазных машин

$$i_п = \frac{s_{п,т}}{U_{ном}}; \qquad (2.62)$$

для двухфазных машин:

для общей фазы

$$i_п = \frac{s_{п,т} \sqrt{3}}{2U_{ном}}; \qquad (2.63)$$

для остальных фаз

$$i_п = \frac{s_{п,т} \sqrt{3}}{2U_{ном}}; \qquad (2.64)$$

для трехфазных машин

$$i_п = \frac{s_{п,т}}{\sqrt{3}\,U_{ном}}. \qquad (2.65)$$

ПОРЯДОК РАСЧЕТОВ

Расчет нагрузок рекомендуется выполнять в два этапа. **На первом этапе** определяется ориентировочная эффективная мощность машин контактной сварки. На основании ориентировочной эффективной мощности сварочных машин намечается схема внутрицехового электроснабжения, выбираются количество и мощность трансформаторов, решается вопрос о применении установок

Важные пункты документа можно найти по ссылке

продольной компенсации, производится размещение подстанций в цехе и намечается питающая сеть 380 В.

На втором этапе расчетов производится распределение сварочных машин по фазам питающей сети, выполняется окончательный расчет намеченной схемы электроснабжения, включая определение эффективной и пиковой мощностей, расчет потери напряжения и окончательный выбор всех элементов сети.

I этап. Сварочные машины разбиваются на две группы: трехфазные и однофазные. Пересчет двухфазных машин со схемой соединения открытый треугольник к трехфазным производят с помощью коэффициента приведения, равного 1,2 (взят средний коэффициент между $\sqrt{3/2}$ и 3/2). Это допущение позволяет на I этапе расчета не распределять сварочные машины по фазам питающей сети. При незначительном количестве двухфазных машин коэффициент приведения следует принимать равным 1,5.

Для каждой сварочной машины определяются

$$s_э^2 = s_п^2 k_в; \qquad (2.66)$$

$$s_с = s_п k_в. \qquad (2.67)$$

Ориентировочная расчетная сварочная нагрузка, кВ · А,

$$S_э \approx \sqrt{(\sum s_с)^2 + 3\sum s_э^2}. \qquad (2.68)$$

II этап. После предварительного выбора цеховых трансформаторов и питающей сети 380 В следует распределить сварочные машины по фазам таким образом, чтобы обеспечить равномерную загрузку всех фаз питающей сети.

При этом рекомендуется:

в случае установки сварочных машин со значительно отличающимися коэффициентами включения следует равномерно по фазам распределять величины $s_п^2 k_в$;

при установке в цехе сварочных машин с незначительно отличающимися коэффициентами включения допускается распределять по фазам потребляемую мощность сварочных машин $s_п$;

в случае отсутствия данных по фактическим мощностям сварочных трансформаторов плеч двухфазных и трехфазных машин допускается принимать равномерное распределение по фазам общей установленной мощности трансформаторов двухфазной или трехфазной машины.

Неравномерность загрузки фаз не должна превышать 15%.

Определение средней, эффективной и пиковой нагрузки. Средний ток питающей линии получается как арифметическая сумма средних токов всех машин, подключенных к этой фазе, А,

$$\bar{I} = \sum \bar{i}, \qquad (2.69)$$

где $\bar{i} = i_п k_в$ – средняя нагрузка отдельной сварочной машины.

Для многоточечной сварочной машины средняя нагрузка, А,

$$\bar{i}_\sum = \sum \bar{i}, \qquad (2.70)$$

где $\bar{i} = i_п k_в$ – средняя нагрузка, создаваемая ступенью каждого пика нагрузочной диаграммы за один цикл сварки.

Эффективная нагрузка группы сварочных машин

$$I_э = \sqrt{\bar{I}^2 + DI}, \qquad (2.71)$$

где DI – дисперсия нагрузки фазы, А^2.

Из-за малых значений коэффициента включения для отдельных пиков нагрузки машины можно принять, что дисперсия тока отдельного пика практически равна квадрату его эффективного значения за цикл сварки. По этой же причине дисперсия суммарного тока линии с достаточной точностью может быть принята равной сумме квадратов эффективных токов отдельных машин.

Для группы сварочных машин

$$DI = \sum i_п^2 k_в (1 - k_в); \qquad (2.72)$$

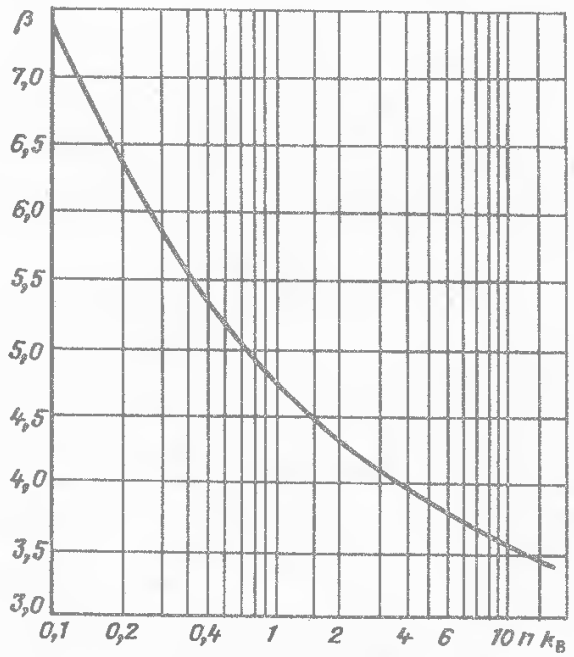


Рис. 2.3. Кривая для определения вероятностного коэффициента β в функции $nk_в$ при $E_x = 0{,}001$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

при

$$k_в \leqslant 0{,}15$$

$$DI = \sum i_п^2 k_в. \qquad (2.73)$$

Пиковая нагрузка группы сварочных машин

$$I_п = \bar{I} + \beta\sqrt{DI}, \qquad (2.74)$$

где β – вероятностный коэффициент, определяемый по графику рис. 2.3.

Пиковая нагрузка определяется суммарной нагрузкой совпавших в работе сварочных машин. Вероятность превышения расчетной пиковой нагрузки E_x принимается равной 0,001. Для группы машин с одинаковыми пиковыми токами $i_п$ каждой машины коэффициент β определяется по рис. 2.3 для фактических значений $n\bar{k}_в$.

Для группы машин с разными индивидуальными пиковыми токами коэффициент β определяется по рис. 2.3 для значений $n_э\bar{k}_в$, где $n_э$ – эффективное число машин с одинаковым индивидуальным пиковым током $i_{п,э}$, создающих те же самые значения средней нагрузки $\bar{I}$, эффективной нагрузки $I_э$ и дисперсии DI, что и фактическое количество машин с разными индивидуальными пиковыми токами:

$$n_э = \frac{(\sum i_п)^2}{\sum i_п^2}. \qquad (2.75)$$

При рассчитанных ранее значениях $\bar{I}$ и DI расчет $n_э$ упрощается:

$$n_э = \frac{\bar{I}^2(1 - \bar{k}_в)}{DI\bar{k}_в}; \qquad (2.76)$$

при $k_в \leqslant 0{,}15$

$$n_э = \frac{\bar{I}^2}{DI\bar{k}_в}, \qquad (2.77)$$

где $\bar{k}_в$ – усредненное значение коэффициента включения всех сварочных машин,

$$\bar{k}_в = \frac{1}{n}\sum k_в. \qquad (2.78)$$

Данные для определения средних, эффективных и пиковых нагрузок приведены в табл. 2.14–2.16.

Определение максимальной потери напряжения основано на методе фиктивных нагрузок, в соответствии с которым суммарная потеря напряжения в сети в любой момент времени обусловливается числом совпавших в работе машин и потерями напряжения, создаваемыми работой каждой машины.

Поскольку потеря напряжения в сети от работы одной машины пропорциональна ее токовой нагрузке, ее можно рассматривать как фиктивную нагрузку этой машины. Это позволяет вести расчет суммарной максимальной потери напряжения аналогично расчету пиковой токовой нагрузке.

Потеря напряжения, вызываемая каждой отдельной машиной, В,

$$\Delta u_n = \alpha z i_n, \qquad (2.79)$$

где α – коэффициент, учитывающий суммарные потери напряжения в питающих линиях от нагрузок различных фаз машин (табл. 2.17); z – удельная потеря напряжения в питающей сети, включая цеховой трансформатор, отнесенная к 1 А тока нагрузки данной

Таблица 2.14. **Данные для определения ориентировочной эффективной мощности машин контактной сварки**

Сварочная машина		Исходные данные			Расчетные данные		
Тип	Количество	$S_у$, кВ·А	$K_з$	$K_в$	$S_п = S_у K_з$	$S_с = S_п K_в$	$S_э^2 = S_п^2 K_в$
SPM-109	1	900	1	0,01	900	9	8100
SPM-108	1	900	1	0,01	900	9	8100
SPM-19	1	500	1	0,01	500	5	2500
SPM-21	1	500	1	0,01	500	5	2500
МТП-600	1	600	0,7	0,03	420	12,6	5300
МТП-200	2	200×2	0,7	0,03	140×2	4,2×2	1200
SPM-500	1	550	1	0,01	550	5,5	3000
SPM-103	1	450	1	0,01	450	4,5	2000
МТПГ-75	21	75×21	1,1	0,025	82×21	2,05×21	3540
Итого:	–	–	–	–	–	102	36 600

Всего: $S_э \approx \sqrt{102^2 + 3 \cdot 36\,600} \approx 347$ кВ·А.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.15. **Данные для определения средних, эффективных и пиковых нагрузок машин контактной сварки**

Тип машины	Число фаз	Мощность, кВ·А	Среднестатистические коэффициенты		Пиковый ток сварочных машин, А	Средняя нагрузка, А	Дисперсия нагрузки, А	Эффективная нагрузка, А
			$K_з$	$K_в$				
SPM-109	3	900	1	0,01	1367	13,7	18 690	137
SPM-108	3	900	1	0,01	1367	13,7	18 690	137
SPM-19	2	500	1	0,01	1139	11,4	12 370	114
SPM-21	1	500	1	0,01	—	—	—	—
МТП-200	1	200	0,7	0,03	368	11	4060	64
МТП-200	1	200	0,7	0,03	368	11	4060	64
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТП-600	1	600	0,7	0,03	1105	33	36 630	191
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
SPM-500	1	550	1	0,01	1447	14,5	20 940	145
SPM-103	1	450	1	0,01	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	—	—	—	—
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34
МТПГ-75	1	75	1,1	0,025	217	5,4	1180	34

Таблица 2.16. **Расчетные значения средних, эффективных и пиковых нагрузок машин контактной сварки**

Рассчитываемая величина	Расчетное значение	Расчетная формула
$\bar{I}$, А	168	(2.69)
DI, А^2	128 400	(2.73)
$I_э$, А	396	(2.71)
n	18	—
$k_в$	0,0225	(2.78)
$n_э$	9,9	(2.76)
β	6,3	По графику рис. 2.3
$I_п$, А	2430	(2.74)

Таблица 2.17. **Значения коэффициента α для сварочных машин**

Фазы машин	*AB*	*BC*	*CA*
Однофазные			
AB	2	0,5	0,5
BC	0,5	2	0,5
CA	0,5	0,5	2
Двухфазные			
AB, BC	2,4	2,4	$\sqrt{3}$
AB, CA	2,4	$\sqrt{3}$	2,4
BC, CA	$\sqrt{3}$	2,4	2,4
Трехфазные			
ABC	—	$\sqrt{3}$	—

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.18. **Данные для определения потери напряжения в сетях, питающих машины контактной сварки**

Тип машины	$K_в$	Пик сварочных машин i_n, А			l, м	Удельная потеря напряжения 10^{-2} В/А	Фиктивная нагрузка сварочных машин $\Delta\bar{U}_n$, В			Средняя фиктивная нагрузка $\Delta\bar{U} = \Delta\bar{U}_n k_в$, В			Дисперсия фиктивной нагрузки $D\Delta U \approx \Delta u_n^2 K_в$, В²		
		A	*B*	*C*			*AB*	*BC*	*CA*	*AB*	*BC*	*CA*	*AB*	*BC*	*CA*
SPM-109	0,01	1367	1367	1367	10	0,531	12,6	12,6	12,6	0,126	0,126	0,126	1,588	1,588	1,588
SPM-108	0,01	1367	1367	1367	10	0,531	12,6	12,6	12,6	0,126	0,126	0,126	1,588	1,588	1,588
SPM-19	0,01	1139	658	658	15	0,547	14,9	6,2	6,2	0,149	0,0622	0,0622	2,22	0,387	0,387
SPM-21	0,01	—	1315	1315	15	0,547	3,6	14,4	3,6	0,036	0,144	0,036	0,13	2,074	0,13
МТП-200	0,03	368	368	—	20	0,563	4,1	1	1	0,123	0,03	0,03	0,504	0,03	0,03
МТП-200	0,03	368	368	—	20	0,563	4,1	1	1	0,123	0,03	0,03	0,504	0,03	0,03
МТПГ-75	0,025	—	217	217	25	0,579	0,6	2,5	0,6	0,015	0,0625	0,015	0,009	0,156	0,009
МТПГ-75	0,025	—	217	217	25	0,579	0,6	2,6	0,6	0,015	0,0625	0,015	0,009	0,156	0,009
МТПГ-75	0,025	217	217	—	25	0,579	2,5	0,6	0,6	0,062	0,015	0,015	0,156	0,009	0,009
МТПГ-75	0,025	—	217	217	25	0,579	0,6	2,5	0,6	0,015	0,062	0,015	0,009	0,156	0,009
МТПГ-75	0,025	217	217	—	25	0,579	2,5	0,6	0,6	0,062	0,015	0,015	0,156	0,009	0,009
МТП-600	0,03	1105	—	1105	30	0,595	3,3	3,3	13,1	0,099	0,099	0,393	0,327	0,327	5,148
МТПГ-75	0,025	—	217	217	35	0,611	0,7	2,6	0,7	0,017	0,065	0,017	0,012	0,169	0,012
МТПГ-75	0,025	217	217	—	35	0,611	2,6	0,7	0,7	0,065	0,017	0,017	0,169	0,012	0,012
МТПГ-75	0,025	217	217	—	35	0,611	2,6	0,7	0,7	0,065	0,017	0,017	0,169	0,012	0,012
МТПГ-75	0,025	—	217	217	35	0,611	0,7	2,6	0,7	0,017	0,065	0,017	0,012	0,169	0,012
МТПГ-75	0,025	217	217	—	34	0,611	2,6	0,7	0,7	0,065	0,017	0,017	0,169	0,012	0,012
SPM-500	0,01	1447	1447	—	40	0,627	18,1	4,5	4,5	0,181	0,045	0,045	3,27	0,202	0,202
SPM-103	0,01	—	1184	1184	40	0,627	3,7	14,8	3,7	0,037	0,148	0,037	0,137	2,19	0,137
МТПГ-75	0,025	—	217	217	50	0,659	0,7	2,9	0,7	0,017	0,072	0,017	0,012	0,21	0,012
МТПГ-75	0,025	217	217	—	50	0,659	2,9	0,7	0,7	0,072	0,017	0,017	0,210	0,012	0,012
МТПГ-75	0,025	—	217	217	50	0,659	0,7	2,9	0,7	0,017	0,072	0,017	0,012	0,21	0,012
МТПГ-75	0,025	217	217	—	50	0,659	2,9	0,7	0,7	0,072	0,017	0,017	0,210	0,012	0,012
МТПГ-75	0,025	—	217	217	60	0,691	0,75	3	0,75	0,019	0,075	0,019	0,014	0,225	0,014
МТПГ-75	0,025	217	—	217	60	0,691	0,75	0,75	3	0,019	0,019	0,075	0,014	0,014	0,225
МТПГ-75	0,025	217	217	—	60	0,691	3	0,75	0,75	0,075	0,019	0,019	0,225	0,014	0,225
МТПГ-75	0,025	—	217	217	60	0,691	0,75	3	0,75	0,019	0,075	0,019	0,014	0,225	0,014
МТПГ-75	0,025	217	—	217	60	0,691	0,75	0,75	3	0,019	0,019	0,075	0,014	0,014	0,225
МТПГ-75	0,025	217	217	—	60	0,691	3	0,75	0,75	0,075	0,019	0,019	0,225	0,014	0,014

Важные пункты документа можно найти по ссылке

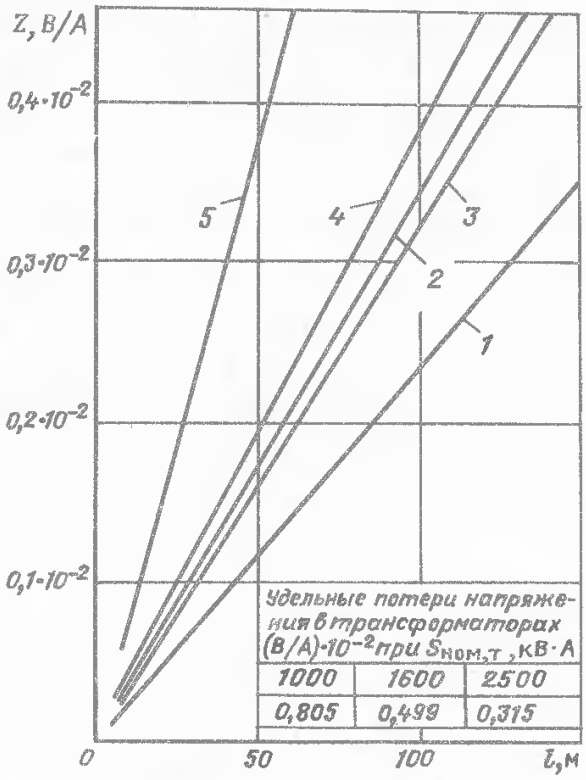


Рис. 2.4. Кривые удельных потерь напряжения в шинопроводах:

1 – ШМА68Н, 4000 А; *2* – ШМА68Н, 2500 А; *3* – ШМА73, 1600 А; *4* – ШМА73П, 1600 А; *5* – ШМА76, 1000 А

машины, при длине магистрали l от машины до подстанции:

$$z = (r_{тр} + r_{0l})\cos\varphi + (x_{тр} + x_{0l})\sin\varphi. \quad (2.80)$$

Усредненная потеря напряжения от отдельной сварочной машины, В,

$$\Delta\overline{U} = k_в \Delta u_n. \quad (2.81)$$

Усредненная потеря напряжения в питающей сети от группы машин, В,

$$\Delta\overline{U} = \sum k_в \Delta u_n. \quad (2.82)$$

Таблица 2.19. **Расчетные значения максимальной потери напряжения в сетях, питающих машины контактной сварки**

Рассчитываемая величина	Фаза			Расчетная формула
	AB	*BC*	*CA*	
$\Delta\overline{U}$, В	1,82	1,68	1,36	(2.81)
$D\Delta\overline{U}$, В²	12,1	10,4	9,9	(2.84)
n	30	30	30	—
$\overline{K}_в$	0,02	0,02	0,02	(2.83)
$n_э$	13,7	13,6	9,34	(2.87)
β	5,1	5,1	5,4	По графику рис. 2.3
ΔU_{max}, В	19,6	18,1	18,3	(2.85)

Средний коэффициент включения фиктивных нагрузок одинаков для всех междуфазных напряжений, поскольку он определяется для всех машин группы независимо от их распределения по фазам (и мощности):

$$\overline{K}_{вAB} = \overline{K}_{вBC} = \overline{K}_{вCA} = \frac{1}{n}\sum_1^n k_в. \quad (2.83)$$

Усредненная дисперсия потери напряжения в питающей сети от группы машин, В,

$$D\Delta\overline{U} = \sum \Delta u_n k_в (1 - k_в); \quad (2.84)$$

при $k_в \leqslant 0{,}15$

$$D\Delta\overline{U} = \sum \Delta u_n k_в.$$

Максимальная потеря напряжения с учетом фиктивных нагрузок рассчитывается аналогично пиковой нагрузке:

$$\Delta U_{max} = \Delta\overline{U} + \beta_э \sqrt{D\Delta\overline{U}}; \quad (2.85)$$

$$n_э = \frac{\Delta\overline{U}(1 - k_в)}{D\Delta\overline{U}k_в}, \quad (2.86)$$

при $\overline{k}_в \leqslant 0{,}15$

$$n_э = \frac{\overline{U}}{D\Delta\overline{U}\overline{k}_в} \quad (2.87)$$

Для упрощения определения удельной потери напряжения на рис. 2.4 представлены удельные потери напряжения в наиболее характерных питающих сетях 380 В при $\cos\varphi = 0{,}6$.

Допустимая кратковременная потеря напряжения при совпадении пиков нагрузки двух и более машин 10%.

Данные для определения максимальной потери напряжения приведены в табл. 2.18, 2.19.

2.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРОКАТНЫХ СТАНОВ И ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Расчетная по нагреву нагрузка мощных электроприемников прокатных станов (ПС) и дуговых электросталеплавильных печей (ДСП) определяется их расчетными графиками.

Индивидуальным графикам главных приводов ПС свойственно чередование кратковременных нагрузок и пауз с большой частотой при непродолжительных циклах, значительно меньших постоянных времени нагрева элементов сети. Поэтому с точностью, достаточной для практических целей, за расчетную по нагреву нагрузку принимается эффективное значение мощности, которое для суммарного графика определяется по

Важные пункты документа можно найти по ссылке

числовым характеристикам складываемых индивидуальных графиков.

При средних $p_{\text{ср}i}$, $q_{\text{ср}i}$ и эффективных $p_{\text{э}i}$, $q_{\text{э}i}$ мощностях складываемых N графиков эффективные мощности суммарного графика

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N} p_{\text{ср}i}\right)^2 + \sum_{i=1}^{N} p_{\text{э}i}^2 - \sum_{i=1}^{N} p_{\text{ср}i}^2}; \qquad (2.88)$$

$$Q_{\text{э}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N} q_{\text{ср}i}\right)^2 + \sum_{i=1}^{N} q_{\text{э}i}^2 - \sum_{i=1}^{N} q_{\text{ср}i}^2}; \qquad (2.89)$$

$$S_{\text{э}} = \sqrt{P_{\text{э}}^2 + Q_{\text{э}}^2}. \qquad (2.90)$$

Пример определения общей расчетиой по нагреву нагрузки главных приводов трех клетей прокатных стаиов.

Индивидуальные графики станов с циклами продолжительностью по 1 – 1,5 мин, в течение которых чередуются периоды нагрузок и пауз длительностью по 2 – 8 с, имеют средние мощности $p_{\text{ср}1} = 4{,}7$ МВт, $p_{\text{ср}2} = 2{,}5$ МВт, $p_{\text{ср}3} = 9{,}5$ МВт, $q_{\text{ср}1} = 4{,}8$ Мвар, $q_{\text{ср}2} = 2{,}7$ Мвар, $q_{\text{ср}3} = 9{,}1$ Мвар и эффективные мощности $p_{\text{э}1} = 8{,}1$ МВт, $p_{\text{э}2} = 4{,}1$ МВт, $p_{\text{э}3} = 12{,}5$ МВт, $q_{\text{э}1} = 7{,}9$ Мвар, $q_{\text{э}2} = 4{,}6$ Мвар, $q_{\text{э}3} = 12{,}7$ Мвар, тогда:

$$P_{\text{э}} = \sqrt{(4{,}7 + 2{,}5 + 9{,}5)^2 + 8{,}1^2 + 4{,}1^2 + 12{,}5^2 - (4{,}7^2 + 2{,}5^2 + 9{,}5^2)} = 19{,}8 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{э}} = \sqrt{(4{,}8 + 2{,}7 + 9{,}1)^2 + 7{,}9^2 + 4{,}6^2 + 12{,}7^2 - (4{,}8^2 + 2{,}7^2 + 9{,}1^2)} = 17 \text{ Мвар};$$

$$S_{\text{э}} = \sqrt{19{,}8^2 + 17^2} = 28{,}6 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Индивидуальным графикам ДСП свойственны продолжительные циклы с большими длительностями почти всех значений их расчетных мощностей и короткими паузами между ними, определяемыми программой плавки. Поэтому с точностью, достаточной для практических целей, за расчетную по нагреву нагрузку принимается наибольшее среднее значение мощности за трехкратную постоянную времени нагрева элементов сети.

Современные сталеплавильные производства рассчитываются на интенсивную выплавку и равномерную выдачу стали в определенное время. Поэтому в нормальном режиме суммарный график мощности ДСП и соответственно расчетная по нагреву их нагрузка будут формироваться в процессе наложения индивидуальных графиков мощности ДСП с определенными сдвигами. Сложение исходных графиков при данных сдвигах производится графически, аналитически или с применением цифровых ЭВМ.

Отступления от установленной последовательности работы ДСП изменяют суммарный график мощности ДСП. При систематических изменениях сдвигов между индивидуальными графиками ДСП суммарный график печей будет состоять из значений $S_{\text{у}} = \sum_{i=1}^{N} s_{xi}$, где s_{xi} – значения, взятые по одному в каждом из N складываемых индивидуальных графиков ДСП. Расчетная продолжительность этих значений, средняя за все сдвиги $t_{\text{ср}}(S_{\text{у}}) = T_{\text{с}} ОП(S_{\text{у}})$, где $ОП(S_{\text{у}}) = \prod_{i=1}^{N} ОП(s_x)_i$; $ОП(s_x)_i = t(s_x)_i / T_i$; $t(s_x)_i$ – длительность значения s_{xi}; $T_{\text{с}}$ – продолжительность цикла суммарного графика, равная общему наименьшему кратному циклу T_i складываемых графиков.

Обычно сталеплавильные цехи имеют однотипные ДСП практически с одинаковыми графиками. В этом случае значения суммарного графика $S_{\text{у}} = \sum_{x=1}^{m} K_x s_x$, где K_x – число одинаковых значений s_x с равными относительными продолжительностями ОП (s_x), составляющих данное значение суммарного графика, а их расчетная продолжительность $t_{\text{ср}}(S_{\text{у}}) = T \cdot ОП(S_{\text{у}})$, где

$$ОП(S_{\text{у}}) = \prod_{x=1}^{m} [ОП(s_x)^{K_x}]\, N! / \prod_{x=1}^{m} (K_x!);$$

$ОП(s_x) = t(s_x)/T$; $t(s_x)$ – длительность s_x; T – продолжительность цикла суммарного графика, принимаемая равной циклу складываемых графиков. При этом $\sum_{x=1}^{m} K_x = N$.

Наибольшая возможная продолжительность суммарного графика равна наименьшей длительности составляющих его значений складываемых графиков $t_{\text{м}}$.

Если значение s_{xi} повторяется $n(s_x)_i$ раз его общей относительной продолжительности $ОП(s_x)_i$, то отдельные значения суммарного графика $S_{\text{у}} = \sum_{i=1}^{N} s_{xi}$ будут в среднем иметь продолжительность $t'_{\text{ср}}(S_{\text{у}}) = T_{\text{с}} ОП'(S_{\text{у}})$ и повторяться через время $R'(S_{\text{у}}) = t'_{\text{ср}}(S_{\text{у}}) / ОП(S_{\text{у}})$, где $ОП'(S_{\text{у}}) = 1/M(S_{\text{у}})$;

$$M(S_{\text{у}}) = \sum_{i=1}^{N} T_{\text{с}} n(s_x)_i / T_i \cdot ОП(s_x)_i.$$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

При однотипных графиках

$$M(S_y) = \sum_{x=1}^{m} K_x n(s_x)/ОП(s_x).$$

Расчетная по нагреву нагрузка будет определяться в зависимости от длительности, повторяемости и возможного сочетания смежных значений упорядоченной диаграммы суммарного графика.

Пример определения общей расчетной нагрузки по нагреву четырех печных трансформаторов ДСП, работающих круглосуточно.

Расчетный индивидуальный график нагрузки печного трансформатора ДСП в цикле $T_x = 170$ мин:

x	1	2	3	4
Мощность s_x, МВ·А	50	35	15	0
Длительность $t(s_x)$, мин	30	60	40	40
$ОП(s_x) = t(s_x)/T$	0,177	0,353	0,235	0,235
$n(s_x)$	1	1	1	1

Коэффициент мощности нагрузки в течение всего времени практически не изменяется и может быть принят равным 0,75. Определить общую расчетную нагрузку по нагреву четырех указанных печных трансформаторов ДСП, работающих круглосуточно.

Средние мощности одной $s_{ср}$ и всех четырех $S_{ср}$ печных трансформаторов ДСП:

$$s_{ср} = \sum_{x=1}^{m} s_x ОП(s_x) = 50 \cdot 0{,}177 + 35 \cdot 0{,}353 + 15 \cdot 0{,}235 = 25 \text{ МВ·А};$$

$$S_{ср} = \sum_{i=1}^{N} s_{ср} = N s_{ср} = 4 \cdot 25 = 100 \text{ МВ·А}.$$

При нормальном процессе производства с ритмичной работой и равномерной выдачей стали сдвиги между рассматриваемыми индивидуальными графиками одинаковых ДСП должны быть $170:4 \approx 40$ мин, соблюдение которых не должно вызвать затруднений, так как они соответствуют расчетному времени, требуемому на выпуск и завалку одной печи. Суммарный график в этом режиме будет характеризоваться циклом, полученным в результате сложения индивидуальных графиков ДСП при данных сдвигах и составляющим:

Мощность S_y, МВ·А	100	85	100	85	120	100	85	135	100	85
Длительность $t(S_y)$, мин	30	10	30	10	10	20	10	10	20	20

Получасовой максимум этого графика $S_{30} = (135 \cdot 10 + 100 \cdot 20):30 = 112$ МВ·А. С учетом небольших отступлений от указанного режима за расчетную нагрузку по нагреву при данных условиях можно принять $S_{30} = (135 \cdot 20 + 100 \cdot 10):30 = 123$ МВ·А.

Если допускать систематические, практически неограниченные изменения сдвигов между индивидуальными графиками ДСП, то суммарный график будут составлять следующие значения: $K_1 = 4$;

$$S_1 = K_1 s_1 = 4 \cdot 50 = 200 \text{ МВ·А}; \; t_м(S_1) = t(s_1) = 30 \text{ мин}; \; ОП(S_1) = [ОП(s_1)]^{K_1} N! : K_1! = 0{,}177^4 \cdot 4! : 4! = 9{,}9 \cdot 10^{-4};$$

$$M(S_1) = K_1 n(s_1) : ОП(s_1) = 4 \cdot 1 : 0{,}177 = 22{,}6;$$

$$ОП'(S_1) = 1 : M(S_1) = 1 : 22{,}6 = 0{,}0445;$$

$$t'_{ср}(S_1) = T ОП'(S_1) = 170 \cdot 0{,}0445 = 7{,}5 \text{ мин};$$

$$R^1(S_1) = t'_{ср}(S_1) : ОП(S_1) = 7{,}5 : 9{,}9 \cdot 10^{-4} = 7600 \text{ мин} = 126 \text{ ч};$$

$$K_1 = 3; \; K_2 = 1; \; S_2 = K_1 s_1 + K_2 s_2 = 3 \cdot 50 + 1 \cdot 35 = 185 \text{ МВ·А};$$

$$t_м = (S_2) = t(s_1) = 30 \text{ мин}; \; ОП(S_2) = ОП(S_1)^{K_1} \cdot ОП(s_2)^{K_2} N! : (K_1! K_2) = 0{,}177^3 \cdot 0{,}353 \cdot 4! : (3! \cdot 1) = 7{,}9 \cdot 10^{-3};$$

$$M(S_2) = K_1 n(s_1) : ОП(s_1) + K_2 n(s_2) : ОП(s_2) = 3 \cdot 1 : 0{,}177 - 1 \cdot 1 : 0{,}353 = 19{,}84; \; ОП'(S_2) = 1 : M(S_2) = 1 : 19{,}84 = 0{,}0505;$$

$$t'_{ср}(S_2) = T \cdot ОП'(S_2) = 170 \cdot 0{,}0505 = 8{,}6 \text{ мин};$$

$$R'(S_2) = t'_{ср}(S_2) : ОП'(S_2) = 8{,}6 : 7{,}9 \cdot 10^{-3} = 1090 \text{ мин} = 18{,}2 \text{ ч}.$$

Соответственно выполняются расчеты других значений суммарного графика, которые для более полной характеристики графика рекомендуется проводить в пределах от наибольшего до среднего значения мощности. При этом могут быть использованы простейшие цифровые ЭВМ. Результаты расчетов приведены в табл. 2.20.

Полученные расчетные значения показывают, что при таком режиме работы

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.20. **Расчет характеристик суммарного графика нагрузки**

y	K_1	K_2	K_3	K_4	S_y, МВ·А	$t_м(S_y)$, мин	$R'(S_y)$, ч	$t'_{ср}(S_y)$, мин
1	4	0	0	0	$4 \cdot 50 = 200$	30	126	7
2	3	1	0	0	$3 \cdot 50 + 35 = 185$	30	18	8
3	2	2	0	0	$2 \cdot 50 + 2 \cdot 35 = 170$	30	7	10
4	3	0	1	0	$3 \cdot 50 + 15 = 165$	30	26	8
5	1	3	0	0	$50 + 3 \cdot 35 = 155$	30	6	7
6	2	1	1	0	$2 \cdot 50 + 35 + 15 = 150$	30	5	9
7	3	0	0	1	$3 \cdot 50 + 0 = 150$	30	26	8
8	0	4	0	0	$4 \cdot 35 = 140$	60	16	15
9	1	2	1	0	$50 + 2 \cdot 35 + 15 = 135$	30	1,6	6
10	2	1	0	1	$2 \cdot 50 + 35 + 0 = 135$	30	5	9
11	2	0	2	0	$2 \cdot 50 + 2 \cdot 15 = 130$	30	14	8
12	0	3	1	0	$3 \cdot 35 + 15 = 120$	60	5	13
13	1	2	0	1	$50 + 2 \cdot 35 + 0 = 120$	30	1,6	6
14	1	1	2	0	$50 + 35 + 2 \cdot 15 = 115$	30	2,4	6
15	2	0	1	1	$2 \cdot 50 + 15 + 0 = 115$	30	7	8
16	0	3	0	1	$3 \cdot 35 + 0 = 105$	60	5	13

ДСП наибольшая средняя за 30 мин расчетная мощность максимальной модели графика $S_{30} = (200 \cdot 7 + 185 \cdot 8 + 170 \cdot 10 + 165 \cdot 5) : 30 = 180$ МВ·А. Она значительно больше расчетной мощности, определенной выше при равномерных сдвигах между графиками ДСП, и может привести к нерациональному использованию как сети, так и электростанций. Поэтому при определении нагрузки ДСП следует исходить из намечаемой программы производства и установленного технологического процесса с ритмичной работой ДСП со сдвигами между их индивидуальными графиками мощности, дающими наиболее равномерный суммарный график с расчетной нагрузкой по нагреву, по возможности близкой к его средней мощности. Так как питание такого рода потребителей обычно предусматривается не менее чем по двум цепям, общая пропускная способность которых значительно превышает расчетную нагрузку, то при нарушении нормальной последовательности работы ДСП необходимое ограничение нагрузки по условиям пропускной способности сети может потребоваться лишь в случаях анормального режима работы сети.

2.8. ОДНОФАЗНЫЕ НАГРУЗКИ

Однофазные ЭП, включенные на фазные и линейные напряжения и распределенные по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных ЭП в группе, учитываются как трехфазные ЭП той же суммарной мощности. При превышении указанных пределов неравномерности расчетная нагрузка принимается равной тройному значению наиболее загруженной фазы.

Нагрузки отдельных фаз при включении однофазных ЭП на линейное напряжение определяются как полусуммы двух плеч, прилегающих к данной фазе:

$$p_a = \frac{p_{ab} + p_{ac}}{2}; \quad p_b = \frac{p_{ab} + p_{bc}}{2}; \quad p_c = \frac{p_{ca} + p_{bc}}{2}. \qquad (2.91)$$

Неравномерность нагрузки по фазам, по расчетному узлу определяется как разность между активными нагрузками наиболее и наименее нагруженных фаз с отнесением ее к наименее нагруженной фазе по формуле, %,

$$\Delta p_{ном,р} = \frac{p_{ном,м,ф} - p_{ном\,min}}{p_{ном\,min}}. \qquad (2.92)$$

Определение нагрузок по фазам и степени неравномерности даны в примере 2.

Определение средних нагрузок за наиболее загруженную смену от однофазных ЭП независимо от неравномерности по фазам, создаваемой этими ЭП, производится аналогично трехфазным.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

При числе однофазных ЭП до трех включительно условная трехфазная номинальная мощность $p_{ном,у}$ определяется упрощенным способом:

а) при включении ЭП на фазное напряжение 220 В при трехфазной системе 380/220 В

$$p_{ном,у} = 3p_{ном,м,ф}; \qquad (2.93)$$

б) при включении однофазных ЭП на линейное напряжение при одном ЭП

$$p_{ном,у} = \sqrt{3}p_{ном,л}, \qquad (2.94)$$

а при двух-трех ЭП, включенных в разные плечи трехфазной сети, по (2.47); в этих формулах $p_{ном,л}$ – номинальная мощность ЭП, кВт; $p_{ном,м,ф}$ – номинальная мощность ЭП наиболее загруженной фазы, кВт.

Пример 1. Сварочный трансформатор ($s_{ПВ} = 25$ кВ · А, ПВ = 50%, $\cos\varphi_{пасп} = 0{,}5$, $u_ф = 220$ В) включен на фазное напряжение. Определить $p_{ном,у}$:

$$p_{ном} = s_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi_{пасп} = 25\sqrt{0{,}5}\cdot 0{,}5 = 8{,}83 \text{ кВт};$$

$$p_{ном,у} = 3\cdot 8{,}83 = 26{,}5 \text{ кВт}.$$

При включении двух и трех таких же трансформаторов, но в разные фазы, $p_{ном,у} = 26$ кВт.

Пример 2. Определить трехфазную нагрузку от трех сварочных трансформаторов при $\cos\varphi = 0{,}5$, мощности которых, приведенные к ПВ = 100%, составляют: $p_{ном1} = 28$ кВт; $p_{ном2} = 13$ кВт; $p_{ном3} = 14$ кВт.

Трансформаторы присоединены на линейное напряжение сети 380 В:

$$p_{ab} = 28 \text{ кВт}; \; p_{bc} = 13 \text{ кВт}; \; p_{ca} = 14 \text{ кВт}.$$

Находим нагрузку наиболее загруженной фазы, кВт,

$$p_a = \frac{28+14}{2} = 21;$$

$$p_b = \frac{28+13}{2} = 20{,}5;$$

$$p_c = \frac{13+14}{2} = 13{,}5; \; p_{ном,м,ф} = p_a = 21 \text{ кВт},$$

следовательно, $p_{ном,у} = 3\cdot 21 = 63$ кВт; $s_{ном,у} = 63/0{,}5 = 126$ кВ · А;

$$I_М = \frac{126}{3\cdot 0{,}38} = 10{,}5 \text{ А}.$$

Неравномерность нагрузок по фазам составила

$$\frac{(21-13{,}5)\,100}{13{,}5} = 55\%.$$

Максимальная нагрузка однофазных ЭП при числе их более трех при одинаковых $K_М$ и $\cos\varphi$, включенных на фазное или линейное напряжение, определяется по формулам

$$P_М = 3K_И K_М P_{ном,м,ф}; \qquad (2.95)$$

$$Q_М = 3K_И K'_М p_{ном,м,ф}\,\mathrm{tg}\,\varphi. \qquad (2.96)$$

Величина $n_э$ для однофазных нагрузок определяется по формуле

$$n_э = \frac{2\sum_1^n p_{ном,о}}{3p_{ном,о max}}, \qquad (2.97)$$

где $\sum_1^n p_{ном,о}$ – сумма номинальных мощностей однофазных ЭП данного расчетного узла; $p_{ном,о max}$ – номинальная мощность наибольшего ЭП однофазного тока.

При числе однофазных ЭП более трех при различных $K_и$ и $\cos\varphi$, а также при включении их на фазные и линейные напряжения определение максимальной нагрузки производится следующим образом: все однофазные ЭП, включенные на фазное напряжение (фаза – нуль) и на линейное напряжение, распределяются по возможности равномерно по фазам. Общая средняя нагрузка по отдельным фазам определяется суммированием однофазных нагрузок данной фазы (фаза – нуль) и групп однофазных нагрузок с одинаковыми $K_и$ и $\cos\varphi$, включенных на линейное напряжение с соответствующим приведением этих нагрузок по табл. 2.21 к нагрузкам одной фазы и фазному напряжению.

Например, для фазы *a* будем иметь (P, кВт; Q, квар):

Таблица 2.21. **Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе трехфазного тока и фазному напряжению**

Коэффициенты приведения	cosφ							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$p_{(ab)a}$; $p_{(bc)b}$; $p_{(ca)c}$	1,4	1,17	1	0,89	0,8	0,72	0,64	0,5
$p_{(ab)b}$; $p_{(bc)c}$; $p_{(ca)a}$	−0,4	−0,17	0	0,11	0,2	0,28	0,36	0,6
$q_{(ab)a}$; $q_{(bc)b}$; $q_{(ca)c}$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,22	0,09	−0,05	−0,29
$q_{(ab)b}$; $q_{(bc)b}$; $q_{(ca)c}$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,8	0,67	0,53	0,29

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.22. **Определение однофазных нагрузок, включенных на фазное и линейное напряжение сети 380/220 В**

Сварочные трансформаторы с мощностью и ПВ	Установленная мощность, приведенная к ПВ = 100 %	Число приемников n	Установленная мощность однофазных приемников, включенных на линейное напряжение, кВт			Коэффициент приведения			Установленная мощность однофазных приемников, включенных на фазное напряжение, кВт			Коэффициент использования $k_и$	Коэффициент мощности cosφ	Средние нагрузки					
														активные, кВт			реактивные, квар		
			ab	*bc*	*ca*	к фазе	*p*	*q*	*a*	*b*	*c*			*a*[a]	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
76 кВ·А, cosφ = 0,6, 380 В	140	4	70	35	35	—	—	—	—	—	—	0,5	0,6	31	4	2	13	34	7
ПВ = 60 %,	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	16	16	17	7	47
$P_{ном} = 76\sqrt{0,6} \cdot 6 = 35$ кВт																			
42 кВ·А, cosφ = 0,6	38	2	—	19	19	—	—	—	—	—	—	0,4	0,6	—	7	1	—	3	7
380 В, ПВ = 60 %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	7	7	—	3
$P_{ном} = 42\sqrt{0,6} \cdot 0,6 =$																			
= 19 кВт																			
20 кВ·А, cosφ = 0,6,	8	1	—	—	—	*a*	0,89	0,38	—	—	8	0,5	0,5	—	—	4	—	—	7
220 В, ПВ = 65 %	—	—	—	—	—	*b*	0,11	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$P_{ном} = 20\sqrt{0,65} \cdot 0,5 =$	—	—	—	—	—	*b*	0,89	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
= 8 кВт	—	—	—	—	—	*c*	0,11	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	*c*	0,89	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	*a*	0,11	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	*b*	0,89	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	*c*	0,11	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	*c*	0,89	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	*a*	011	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32 кВ·А, cosφ = 0,5,	39	3	—	—	—	—	—	—	13	13	13	0,2	0,5	3	3	3	5	5	5
220 В, ПВ = 65 %																			
$P_{иом} = 32\sqrt{0,65} \cdot 0,5 =$																			
= 13 кВт																			
Итого:	225	10	70	54	54	—	—	—	13	13	21	—	—	37	30	33	42	49	46

Важные пункты документа можно найти по ссылке

$$P_{\text{см}a} = K_{\text{и}}P_{ab}p_{(ab)a} + K_{\text{и}}P_{ca}p_{(ca)a} + K'_{\text{и}}P_{ao}; \quad (2.98)$$

$$Q_{\text{см}a} = K_{\text{и}}P_{ab}q_{(ab)a} + K_{\text{и}}P_{ca}q_{(ca)a} + K'_{\text{и}}P_{ao}\,\text{tg}\,\varphi, \quad (2.99)$$

где $K_{\text{и}}$ и $K'_{\text{и}}$ – соответствующие коэффициенты использования; P_{ab} – нагрузка, присоединенная на линейное напряжение между фазами a и b; P_{ca} – то же на линейное напряжение между фазами c и a; P_{ao}, Q_{ao} – нагрузки, присоединенные на напряжение a (между фазным и нулевым проводами); tg φ соответствует cos φ нагрузки фаза – нуль; $p_{(ab)a}$; $p_{(ca)a}$; $q_{(ab)a}$; $q_{(ca)a}$ – коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейное напряжение ab и ca к фазе a (табл. 2.21).

Пример определения однофазных нагрузок, включенных на фазное и линейное напряжение сети 380/220 В, приведен в табл. 2.22. В этом примере на линейное напряжение ab включены сварочные трансформаторы общей мощностью 70 кВт при cos φ = 0,6.

Требуется определить коэффициенты приведения $P_{(ab)}$ и $q_{(ab)}$, отнесенные соответственно к фазам a и b.

1. В табл. 2.21 для cos φ = 0,6 находим:

$$p_{(ab)a} = 0{,}89;\ p_{(ab)b} = 0{,}11;$$

$$q_{(ab)a} = 0{,}38;\ q_{(ab)b} = 0{,}96.$$

По остальным плечам коэффициенты приведения находятся аналогично.

2. Средние активные и реактивные нагрузки для ЭП, включенных на фазное напряжение, определяются в обычном порядке при помощи коэффициентов использования $K_{\text{и}}$ и tg φ табл. 2.22.

3. Средние нагрузки для ЭП, включенные на линейное напряжение, определяются умножением установленных мощностей по отдельным плечам (табл. 2.22) на соответствующие коэффициенты приведения p и q и коэффициент использования $K_{\text{и}}$.

Например, на линейное напряжение ab включена мощность 70 кВт, тогда средняя активная нагрузка, отнесенная к фазе a, составит:

$$P_{\text{см}a} = 70\ K_{\text{и}}p_{(ab)a} = 70 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}89 = 31\ \text{кВт},$$

а к фазе b:

$$P_{\text{см}b} = 70\ K_{\text{и}}p_{(ab)b} = 70 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}11 = 4\ \text{кВт}.$$

4. Средние реактивные нагрузки, отнесенные к фазам a и b, равняются соответственно:

$$Q_{\text{см}a} = 70\ K_{\text{и}}q_{(ab)a} = 70 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}38 = 13\ \text{квар};$$

$$Q_{\text{см}b} = 70\ K_{\text{и}}q_{(ab)b} = 70 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}96 = 34\ \text{квар}.$$

Расчеты по остальным плечам производятся аналогично.

5. Наиболее загруженной фазой оказалась фаза a, общая нагрузка которой составила:

$$P_{\text{см}a} = 37\ \text{кВт};\ Q_{\text{см}a} = 42\ \text{квар};$$

$$\text{tg}\,\varphi = \frac{Q_{\text{см}a}}{P_{\text{см}a}}\ \frac{42}{37} = 1{,}14\ \text{и}\ \cos\varphi = 0{,}66.$$

Средневзвешенное значение $K_{\text{и}}$ для этой фазы

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{см}a}}{\dfrac{P_{ab} + P_{ca}}{2} + P_{ao}} = \frac{37}{\dfrac{70 + 54}{2} + 13} = 0{,}5.$$

6. Условная трехфазная мощность от однофазных ЭП для наиболее загруженной фазы равна:

$$P_{\text{см}} = 3P_{\text{см}a} = 3 \cdot 37 = 111\ \text{кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}}\,\text{tg}\,\varphi = 111 \cdot 1{,}14 = 126\ \text{квар}.$$

7. $$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 225}{3 \cdot 35} \approx 4.$$

По табл. 2.6 для $n_{\text{э}} = 4$ и $K_{\text{и}} = 0{,}5$ $K_{\text{м}} = 1{,}65$; $P_{\text{м}} = 111 \cdot 1{,}65 = 183$ кВт; $Q_{\text{м}} = 1{,}1 \cdot 126 = 139$ квар;

$$S_{\text{м}} = \sqrt{183^2 + 139^2} = 230\ \text{кВ} \cdot \text{А}.$$

2.9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Наиболее экономичным решением электроснабжения является вариант, отвечающий техническим требованиям и имеющий наименьшие приведенные затраты. Если приведенные затраты отличаются на 5 – 10% (возможная точность расчетов), предпочтение следует отдавать варианту с меньшими капиталовложениями, с лучшими качественными показателями.

Приведенные затраты, руб/год, являющиеся мерой стоимости, определяются для изменяемой части сопоставляемых вариантов по выражению

$$З = E_{\text{н}}K_{\text{е}} + И_{\text{н}}, \quad (2.100)$$

где $E_{\text{н}}$ – коэффициент приведения (нормативный коэффициент эффективности), равный 0,12 1/год; $K_{\text{е}}$ – единовременные капиталовложения, определяемые в действующих ценах, руб., с учетом стоимости монтажа и строительной части. Значения капиталовложений принимают по сметам к типовым проектам или к имеющимся рабочим проектам по ценникам на оборудование и его монтаж, а также по ведомственным справочным материалам [2.43]; $И_{\text{н}}$ – ежегодные

Важные пункты документа можно найти по ссылке

издержки производства при нормальной эксплуатации, руб/год.

При вводе в эксплуатацию электроснабжения по очередям, существенно влияющим на его техническое решение, приведенные затраты определяются за все время T строительства:

$$З_T = E_н \sum_{t=1}^{T} K_t (1 + E_{н,п})^{T-t} + \sum_{t=t_э}^{T} \Delta И_t (1 + E_{и,п})^{T-t}, \qquad (2.101)$$

где K_t – капиталовложения в год t, руб.; $\Delta И_t$ – приращение ежегодных издержек производства в год t, руб.; $E_{н,п}$ – норматив для приведения разновременных затрат, равный 0,08; $t_э$ – год начала эксплуатации.

При реконструкции приведенные затраты определяются как при строительстве по очередям с учетом реализуемых возвратных сумм и ликвидируемых вложений. При единовременных вложениях приведенные затраты на реконструкцию

$$З_р = E_н (K_в + K_{ст} + K_л - K_{ос}) + И_н, \qquad (2.102)$$

где $K_в$ – капиталовложения во вновь сооружаемые элементы электроснабжения, определяемые в действующих ценах, руб.; $K_{ст} = K_{в,ст}(1 - bt)$ – капиталовложения в элементы электроснабжения, сохраняемые при реконструкции, руб.; $K_л = (K_{в,с,л} - K_ц)(1 - bt) - K_{л,с} + K_д$ – ликвидируемые вложения, руб.; $K_{ос} = K_ц (1 - bt)$ – освобождаемые вложения (возвратные суммы), руб.; $K_{в,ст}$, $K_{в,с,л}$ – восстановительные стоимости элементов электроснабжения, соответственно сохраняемых при реконструкции и ликвидируемых, определяемые как стоимость вновь сооружаемых, руб.; $K_ц$ – стоимость освобождаемого оборудования, пригодного для использования в другом месте, определяемая по действующему прейскуранту, руб.; $K_{л,с}$ – ликвидационная стоимость оборудования, непригодного для дальнейшего использования, принимаемая равной стоимости лома, руб.; $K_д$ – стоимость демонтажа оборудования, определяемая по стоимости монтажа с применением соответствующих коэффициентов, руб.; b – норма амортизационных отчислений, идущих на восстановление основных фондов, в долях единицы (табл. 2.23); t – время с начала эксплуатации до момента реконструкции, год. В табл. 2.23 $E_{т,р}$ – коэффициент отчислений на текущий ремонт.

Определяющее долю износа значение $bt \leqslant 1$, так как сумма износа не может превышать вложения.

Исходя из необходимости восстановления средств, выделенных предприятию для хозяйственной деятельности, в приведенные затраты должны входить отчисления на восстановление сумм ликвидируемых вложений $bK_л$.

Ежегодные издержки производства при единовременном вводе сооружения в эксплуатацию $И_н$ и для каждого периода t при вводе сооружения по очередям $И_t$ определяются по соответствующим значениям амортизационных отчислений $И_а$, затрат на электроэнергию $И_м$ и расходов по эксплуатации $И_э$:

$$(И_и \text{ или } И_t) = И_а + И_м + И_э. \qquad (2.103)$$

Амортизационные отчисления, руб., насчитываются по годовым нормам амортизации $E_а$ (табл. 2.23) от капиталовложений на вновь сооружаемые $K_в$ и сохраняемые $K_{в,с}$ (при реконструкции) элементы электроснабжения:

$$И_а = E_а (K_в + K_{в,с}). \qquad (2.104)$$

Затраты на электроэнергию, руб.; определяются стоимостью потерь электроэнергии в электрической сети рассматриваемого варианта:

$$И_м = m \Delta P_м + m_0 \Delta P_0, \qquad (2.105)$$

где m – стоимость 1 кВт максимальных активных нагрузочных потерь, руб/(кВт · год); m_0 – стоимость 1 кВт потерь ХХ, руб/(кВт · год); $\Delta P_м$ – максимальные потери активной мощности, МВт; ΔP_0 – потери ХХ, МВт.

Стоимости 1 кВт потерь определяют для каждой энергосистемы на основании действующих тарифов в зависимости от годового числа часов использования максимума потерь $\tau_м$ (ч/год), годового числа часов включения $T_в$ и коэффициента мощности нагрузки:

$$m = \left(\frac{\alpha}{T_м} + \beta \cdot 10^{-3}\right)\tau_м; \qquad m_0 = \left(\frac{\alpha}{T_м} + \beta \cdot 10^{-3}\right) T_в. \qquad (2.106)$$

Здесь $T_м$ – число часов использования максимума нагрузки предприятия; α – основная ставка двухставочного тарифа, руб/кВт; β – дополнительная плата за 1 кВт · ч, коп., принимается по прейскуранту 0,9–01 «Тарифы на электрическую и тепловую энергию», введенному в действие с 1 января 1982 г. (значения α и β приведены в табл. 2.24); число часов включения $T_в$ и число часов использования максимума активной нагрузки $T_м$ принимают в зависимости от сменности по табл. 2.25. Число часов использования мак-

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.23. **Коэффициенты отчислений для различных элементов системы электроснабжения**

Элементы системы электроснабжения	Значения коэффициентов, доли ед.			
	$E_а$	$E_{тр}$	$E_н$	$E = E_а + E_{тр} + E_н$
ВЛ до 220 кВ:				
на металлических и железобетонных опорах	0,035	0,005	0,12	0,16
на опорах из пропитанной древесины	0,066	0,01	0,12	0,196
на деревянных опорах с железобетонными пасынками	0,053	0,01	0,12	0,183
ВЛ 35–160 кВ:				
на металлических или железобетонных опорах	0,028	0,004	0,12	0,152
на опорах из пропитанной древесины	0,053	0,01	0,12	0,183
на деревянных опорах с железобетонными пасынками	0,042	0,01	0,12	0,172
ВЛ 220 кВ и выше на железобетонных или металлических опорах	0,024	0,004	0,12	0,148
Кабельные линии в земле и под водой:				
до 10 кВ включительно	0,03	0,015	0,12	0,165
35 кВ	0,041	0,02	0,12	0,181
110 кВ и выше	0,022	0,02	0,12	0,162
Кабельные линии, проложенные в помещении, а также открыто по эстакадам или конструкциям:				
до 10 кВ включительно	0,024	0,01	0,12	0,152
35 кВ	0,033	0,005	0,12	0,158
Электродвигатели мощностью:				
до 100 кВт	0,102	0,017	0,12	0,239
выше 100 кВт	0,074	0,01	0,12	0,204
Силовое электротехническое оборудование, распредустройства и подстанции	0,063	0,01	0,12	0,193
Токопроводы 6–10 кВ	0,03	0,01	0,12	0,16
Аккумуляторы стационарные	0,154	0,02	0,12	0,294
То же, при непрерывном подзаряде	0,092	0,01	0,12	0,222
Измерительные и регулирующие приборы и устройства	0,12	0,01	0,12	0,25
Батареи статических конденсаторов	0,075	0,008	0,12	0,203

симума потерь $\tau_м$ зависит от числа часов использования максимума нагрузки $T_м$ и коэффициента мощности нагрузки. Его приближенное значение при $\cos\varphi = 0{,}8$ можно определить по формуле, ч,

$$\tau_м = \left(0{,}124 + \frac{T_м}{10\,000}\right)^2 8760. \qquad (2.107)$$

Коэффициент мощности $\cos\varphi$ можно принимать для участков сети без искусственной компенсации равным 0,8, что даст достаточно обоснованные для практических расчетов значения $\tau_м$.

Расходы по эксплуатации $И_э$ обычно принимаются равными затратам на текущий ремонт, так как заработная плата, общецеховые и другие расходы одинаковы. Они определяются по нормативным отчислениям $E_{т,р}$ в долях единицы (табл. 2.23) от капиталовложений:

$$И_э = E_{т,р}(K_в + K_{в,с}). \qquad (2.108)$$

Качественные показатели характеризуют технические решения, которые непосредственно не имеют стоимостного выражения. Вариант системы электроснабжения обладает более высокими качественными показателями, если у него, например, выше номинальные напряжения сети, меньше потери и напряжения в сети, меньше колебания напряжения и частоты в сети, вызываемые работой установок с резкопеременной нагрузкой, ниже

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.24. **Тарифы на электрическую энергию, отпускаемую промышленным потребителям**

Двухставочный тариф		Объединенные группы энергосистем	Энергосистема
α – основная плата за 1 кВт максимальной нагрузки, руб	β – дополнительная плата за 1 кВт·ч, коп.		
30	0,25	I	Иркутскэнерго, Красноярскэнерго
30	0,5	II	Таджикглавэнерго
33	0,5	II	Кузбассэнерго, Новосибирскэнерго, Омскэнерго, Алтайэнерго, Павлодарэнерго
36	0,9	III	Куйбышевэнерго, Саратовэнерго, Татэнерго, Волгоградэнерго, Воронежэнерго, Грозэнерго, Башкирэнерго, Пермьэнерго, Свердловскэнерго, Челябэнерго, Карагандаэнерго
36	1	III	Горэнерго, Костромаэнерго, Липецкэнерго, Мосэнерго, Ленэнерго, Севкавказэнерго, Томскэнерго, Днепроэнерго, Донбассэнерго, Харьковэнерго, Минэнерго УзССР
36	1,1	III	Барнаулэнерго, Бурятэнерго, Туркменглавэнерго
36	1,2	IV	Белглавэнерго
39	0,9	IV	Карелэнерго, Колэнерго
39	1,1	IV	Калининэнерго, Тулаэнерго, Кировэнерго, Оренбургэнерго, Тюменьэнерго, Удмуртэнерго, Алма-Атаэнерго, Кустанайэнерго, Целиноградэнерго, Южказэнерго
39	1,2	IV	Ивэнерго, Мордовэнерго, Орелэнерго, Пензаэнерго, Рязаньэнерго, Тамбовэнерго, Ульяновскэнерго, Чувашэнерго, Ярэнерго
42	1,5	V	Белгородэнерго, Курскэнерго, Киевэнерго, Брянскэнерго, Калининградэнерго, Смоленскэнерго, Дагэнерго, Краснодарэнерго, Ростовэнерго, Одессаэнерго, Запказэнерго, Ставропольэнерго, Львовэнерго, Азглавэнерго, Армглавэнерго, Грузглавэнерго, Киргизглавэнерго, Латвглавэнерго, Литовглавэнерго, Молдглавэнерго, Эстонглавэнерго
42	2	VI	Винницаэнерго, Крымэнерго
45	1,2	VI	Хабаровскэнерго, Читаэнерго
45	1,5	VII	Архангельскэнерго, Комиэнерго
48	1,9	VII	Амурэнерго
48	2,2	VIII	Дальэнерго
—	3,7		Гурьевэнерго
—	6		Якутскэнерго
—	6; 5–20		Магаданэнерго (по энергорайонам цены разные)
—	9		Камчатскэнерго, Сахалинэнерго
—	3,6		Охтинская ТЭЦ Сахалинэнерго

Таблица 2.25. **Значение $T_в$, $T_м$ и $\tau_м$ в зависимости от сменности работы**

Режим работы	$T_в$	$T_м$	$\tau_м$ при $\cos\varphi$	
			0,8	1
Односменный	2000	1500–2000	650–920	500–700
Двухсменный	4000	2500–4000	1250–2400	950–2050
Трехсменный	6000	4500–6000	2900–4550	2500–4000
Непрерывный	8700	6500–8000	5200–7500	4500–7000

Важные пункты документа можно найти по ссылке

Таблица 2.26. **Капитальные затраты**

Состав оборудования и объектов строительства	Варианты						Суммарный коэффициент отчислений
	1		2		3		
	Количество	Стоимость	Количество	Стоимость	Количество	Стоимость	
Трансформаторы, шт.:							
ТРДЦН-63000/110	2	247	2	247	—	—	0,193
ТРДН-32000/110	—	—	—	—	4	355,2	0,193
Оборудование, комплект:							
110 кВ	—	47,7	—	47,7	—	96	0,193
6 кВ	—	376,6	—	331,5	—	310,8	0,193
Токопровод ∅ 210 мм самонесущий, км	0,6	171	—	—	—	—	0,16
Кабельные сооружения, в том числе:	—	177,6	—	262,5	—	128	0,152
эстакады, км	3,5	156,1	3,2	142,7	2,3	102,6	—
туннели, км	—	—	0,5	99	—	—	—
Кабели 6 кВ, км	61,8	292,2	59,2	277,9	50	235	0,152
Кабели 1 и 110 кВ, км	—	49,5	—	49,5	—	69	0,152
Строительная часть подстанций, тыс. м^3	22	286	16,85	219	18,2	236,6	0,193
Воздушные линии 110 кВ, км	2,5	61,3	2,7	66,1	1,43	35	0,152
Территория под кабельные сооружения, токопроводы, ВЛ 110 кВ, га	7,525	827,8	10,1	1111	5,65	621,5	0,152
Всего капиталовложений, тыс. руб.:		2536,7		2612,2		2087,6	—

Таблица 2.27. **Итоговая таблица расчетов**

Вариант	Капитальные затраты K, тыс. руб.	Ежегодные отчисления от капитальных затрат pK, тыс. руб.	Потери мощности $\Delta P_н$, кВт	Стоимость годовых потерь электроэнергии $И_э$, тыс. руб/год	Приведенные затраты $З$, тыс. руб/год
1	2536,7	426,2	990	109,9	536,1
2	2612,2	432,8	892	96,2	529
3	2087,6	358,8	743,8	82,6	441,4

уровень высших гармоник тока в сети, более благоприятные условия для монтажа, что особенно важно при реконструкции действующих предприятий, проще и удобнее условия эксплуатации, возможно расширение установки без значительных переустройств, что имеет важное значение при современных темпах развития производства.

В настоящее время при технико-экономических расчетах начинают применяться методы направленного выбора наиболее рационального варианта электросетей промышленных предприятий [2.17], позволяющие также автоматизировать их проектирование с помощью ЭВМ.

Ниже дан расчет удельных приведенных затрат (УПЗ) на 1 км кабельной линии, состоящей из двух кабелей ААШВ 10 кВ, сечением 3 × 240 мм^2, проложенных в траншее, питающих нагрузку 352 А (6,1 МВ · А), при стоимости потерь энергии $C_0 = 64$ руб/ /(кВт · год).

В соответствии с (2.100) и (2.103), тыс. руб/ /(км · год),

$$З = (E_н + E_а + E_{т,р}) K_е + 3I^2 R C_0 \cdot 10^{-6}.$$

Важные пункты документа можно найти по ссылке

По табл. 2.23 $E_а = 3{,}3\%$, $E_{т,р} = 0{,}5\%$. Капитальные вложения в кабельную линию с учетом рытья траншеи 12,98 тыс. руб/км. Расчетное активное сопротивление одного кабеля 0,13 Ом, тогда

$$З = (0{,}12 + 0{,}043 + 0{,}005)\,12{,}98 + 3 \cdot 352^2 \times$$

$$\times (0{,}13 : 2)\,64 \cdot 10^{-6} = 3{,}76 \text{ тыс. руб/(км} \cdot \text{год)}.$$

ПРИМЕР ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ПО ПРИВЕДЕННЫМ ЗАТРАТАМ ТРЕХ ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Вариант 1 – сооружение на границе застройки предприятия одной ГПП с двумя трансформаторами по 63 МВ·А и с двумя закрытыми распределительными устройствами ЗРУ 6 кВ, одно из которых совмещено с ЗРУ 6 кВ ГПП, второе ЗРУ размещено отдельно. Связь второго ЗРУ с ГПП выполняется с помощью двухцепного токопровода 6 кВ. Кабели от обоих ЗРУ к распределительным пунктам (РП) проложены на эстакадах. Подвод ВЛ 110 кВ к ГПП предусмотрен двумя одноцепными линиями, подходящими в одном коридоре вне территории завода.

Вариант 2 – сооружение одной ГПП глубокого ввода с двумя трансформаторами по 63 МВ·А и с одним ЗРУ 6 кВ, расположенным в месте размещения второго ЗРУ варианта 1. Мощность передается на этот участок кабелями в туннеле, в остальных местах – по эстакадам. Подвод ВЛ 110 кВ предусмотрен двумя одноцепными линиями, идущими в зоне заводской и прилегающей территорий по двум различным коридорам.

Вариант 3 – сооружение двух ГПП с двумя трансформаторами 32 МВ·А, расположенных в районах ЗРУ 1 и ЗРУ 2 варианта 1. Кабельная передача выполнена с помощью эстакад. ВЛ 110 кВ от одного ГПП к другому – двухцепная.

Стоимость годовых потерь электроэнергии $m = 99{,}3$ руб/(кВт·год), $m_0 = 148{,}3$ руб/(кВт·год).

Капитальные затраты и результаты расчетов по вариантам приведены в табл. 2.26 и 2.27.

Как видно из таблиц, третий вариант, имеющий меньшие приведенные затраты, является предпочтительным.

2.10. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для промышленных предприятий рассматриваются следующие основные показатели качества электроэнергии у ее приемников при питании от сетей переменного тока [2.1]:

Отклонение напряжения V – оценивается разностью между действительным U и номинальным $U_{ном}$ значениями напряжения, кВ или %:

$$V = U - U_{ном} \qquad (2.109)$$

или

$$V = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100. \qquad (2.110)$$

В сетях трехфазного тока U определяется как напряжение прямой последовательности основной частоты.

В нормальном режиме допускается отклонение напряжения от номинального на зажимах:

приборов рабочего освещения в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение, а также прожекторов наружного освещения – от $-2{,}5$ до $+5\%$;

электродвигателей и их пусковых аппаратов – от -5 до $+10\%$;

остальных электроприемников – в пределах $\pm 5\%$.

В послеаварийном режиме допускается дополнительное понижение напряжения на 5%.

Отклонения напряжения должны находиться в указанных пределах с интегральной вероятностью 0,95 не менее чем за время T*:

для предприятий с пятидневной рабочей неделей – в течение одних рабочих и одних нерабочих суток;

для предприятий с непрерывным производством – в течение одних суток;

для остальных промышленных и других объектов – в течение двух рабочих и одних нерабочих суток.

Колебания напряжения оцениваются следующими показателями:

размахом изменения напряжения δV – разностью между следующими друг за другом наибольшими U_{max} и наименьшими

* Указанное допущение означает, что можно не считаться с отдельными нарушениями норм, если ожидаемая суммарная продолжительность таких нарушений составит менее 5% времени T.

Важные пункты документа можно найти по ссылке

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Системы единиц и условные обозначения 6
1.2. Физические и химические свойства материалов 12
1.3. Климатические условия работы электрооборудования 16
1.4. Взрывоопасные и пожароопасные зоны 21
1.5. Выдержки из действующих общесоюзных нормативных документов 30
1.6. Номинальные напряжения и ряды номинальных токов 31
1.7. Температура нагрева 32

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ПОДСТАНЦИИ

А. Определение электрических нагрузок, качество электроэнергии, надежность электроснабжения, категории электроприемников, выбор напряжения и мощности трансформаторов, компенсация реактивной мощности

2.1. Электрические нагрузки. Основные величины и определения 34
2.2. Средние нагрузки 36
2.3. Максимальные нагрузки . . . 47
2.4. Потери энергии 64
2.5. Пиковые нагрузки 64
2.6. Определение электрических нагрузок машин контактной электросварки 64
2.7. Определение электрических нагрузок прокатных станов и электросталеплавильных печей 71
2.8. Однофазные нагрузки 74
2.9. Технико-экономические расчеты в электроснабжении 77
2.10. Основные требования к качеству электроэнергии 82
2.11. Высшие гармонические 89
2.12. Надежность электроснабжения 97
2.13. Категории электроприемников по надежности электроснабжения 107
2.14. Выбор напряжения 108
2.15. Выбор трансформаторов . . . 111

Б. Токи короткого замыкания

2.16. Общие сведения 113
2.17. Расчетные условия КЗ 114
2.18. Составление схемы замещения для расчета трехфазных коротких замыканий 117
2.19. Расчет тока трехфазного КЗ . . 123
2.20. Расчет токов несимметричных коротких замыканий 129
2.21. Практические рекомендации . . 130

В. Выбор и проверка аппаратов и проводников напряжением 1—220 кВ

2.22. Общие требования 144
2.23. Термическая и электродинамическая стойкость аппаратов и проводников 145
2.24. Выбор и проверка аппаратов и проводников 154
2.25. Технические данные аппаратов напряжением выше 1 кВ . . . 178

Г. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы

2.26. Классификация трансформаторов 204
2.27. Основные параметры 204
2.28. Схемы и группы соединений трансформаторов и автотрансформаторов 207
2.29. Охлаждение трансформаторов 209
2.30. Допустимые нагрузки трансформаторов 209
2.31. Регулирование напряжения . . . 212
2.32. Основные характеристики автотрансформаторов 213
2.33. Технические данные трансформаторов 214

Д. Элегазовые комплектные распределительные устройства и выключатели

2.34. Особенности элегаза 226
2.35. Ячейки элегазовые трехполюсные серии ЯЭ-110, ЯЭ-220 227
2.36. Элегазовые выключатели напряжением 35 кВ для КРУ . . . 231
2.37. Элегазовые выключатели типа ВЭК-110Б 232

Е. Вакуумные выключатели

2.38. Преимущества и недостатки 232
2.39. Вакуумные выключатели 10, 35 кВ для КРУ и 110 кВ для электроустановок с частыми коммутациями 233
2.40. Вакуумные и элегазовые комплектные распределительные устройства 35 кВ 236
2.41. Перенапряжения, возникающие при коммутации индуктивных токов вакуумными выключателями 237
2.42. Нелинейные ограничители перенапряжений 238

Ж. Схемы электроснабжения и подстанций

2.43. Основные сведения 239
2.44. Источники и способы питания 240
2.45. Схемы электроснабжения . . . 242
2.46. Указания по применению схем коммутации подстанций и коммутационной аппаратуры . . . 264

Важные пункты документа можно найти по ссылке

2.47. Схемы и конструктивные особенности подстанций с элегазовыми КРУ 110—220 кВ . . . 274
2.48. Схемы и конструктивные особенности подстанций с вакуумными КРУ 35 кВ 276
2.49. Комплектные трансформаторные подстанции 6, 110—220 кВ . . . 280
2.50. Схемы подстанций промышленных предприятий с применением комплектных распределительных устройств напряжением 10(6) кВ 285

З. Компоновочные решения подстанций и распределительных пунктов

2.51. Общие требования 296
2.52. Планировка, размещение подстанций и кабельных сооружений 297
2.53. Компоновочные решения, обеспечивающие безопасность обслуживания 299
2.54. Категории помещений подстанций и кабельных сооружений 299
2.55. Требования по противопожарной безопасности 299
2.56. Открытые распределительные устройства напряжением до 220 кВ 305
2.57. Установка силовых трансформаторов на открытом воздухе 307
2.58. Грузоподъемные устройства, дороги, въезды и проезды подстанций 309
2.59. Примеры компоновочных решений ОРУ 309
2.60. Закрытые распределительные устройства напряжением 35—220 кВ 312
2.61. Отопление, вентиляция и водоснабжение подстанций и распределительных пунктов 316
2.62. Примеры компоновочных решений ЗРУ напряжением 35—220 кВ 319
2.63. Аккумуляторные установки . . 325
2.64. Пневматическое хозяйство . . . 326
2.65. Масляное хозяйство 327
2.66. Основные требования к компоновке внутрицеховых подстанций и распределительных пунктов 10(6) кВ 330
2.67. Внутрицеховые трансформаторные подстанции 332
2.68. Внутрицеховые распределительные пункты 10(6) кВ 335
2.69. Основные требования к размещению распределительных устройств и трансформаторных подстанций во взрывоопасных зонах 338
2.70. Основные требования к размещению распределительных устройств и трансформаторных подстанций в пожароопасных зонах 340

И. Преобразовательные агрегаты и подстанции. Тяговые подстанции промышленного электрифицированного транспорта

2.71. Общие сведения 341
2.72. Основные соотношения и расчетные формулы для различных схем преобразования 341
2.73. Кремниевые выпрямительные агрегаты для электролизных установок 345
2.74. Кремниевые выпрямительные агрегаты для электропечей . . . 350
2.75. Схемы, расположение и конструктивное исполнение преобразовательных подстанций 353
2.76. Выпрямительные комплектные подстанции для питания цеховых сетей постоянного тока 361
2.77. Быстродействующие воздушные выключатели 367
2.78. Классификация тяговых подстанций промышленного электрифицированного транспорта . . . 369
2.79. Тяговые подстанции постоянного тока 372
2.80. Тяговые подстанции однофазного переменного тока 383
2.81. Распределительные посты тяговых сетей 391

К. Компенсация реактивной мощности

2.82. Основные положения 394
2.83. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях общего назначения напряжением до 1 и 10(6) кВ 395
2.84. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях со специфическими нагрузками . . 410
2.85. Схемы включения и регулирования конденсаторных батарей 419
2.86. Конструкция конденсаторных батарей и их установка 421

Л. Защита воздушных линий электропередачи, подстанций, вращающихся машин и токопроводов от перенапряжений

2.87. Защита воздушных линий электропередачи от атмосферных перенапряжений 422
2.88. Защита подстанций от прямых ударов молнии 426
2.89. Защита подстанций от волн атмосферных перенапряжений, набегающих с линий электропередачи. 427

Важные пункты документа можно найти по ссылке

2.90. Защита вращающихся машин от атмосферных перенапряжений 429
2.91. Защита токопроводов от атмосферных перенапряжений . . . 430
2.92. Защита от внутренних перенапряжений 431
2.93. Защитное оборудование и устройства (разрядники, конденсаторы, молниеотводы) 432

М. Источники питания и системы оперативного тока

2.94. Системы оперативного тока . . 434
2.95. Технические данные аккумуляторов и зарядных устройств . . 439
2.96. Технические данные блоков питания, конденсаторов и зарядных устройств 440
2.97. Выбор и установка аккумуляторных батарей 449
2.98. Выбор блоков питания и конденсаторов 455
2.99. Схемы включения аккумуляторных батарей 458
2.100. Схемы питания переменным и выпрямленным оперативным током. Контроль изоляции . . . 459

Н. Релейная защита и сетевая автоматика

2.101. Общие сведения 462
2.102. Защита понижающих трансформаторов 463
2.103. Передача отключающего импульса 474
2.104. Защита шин 6—35 кВ 480
2.105. Защита трансформаторов полупроводниковых преобразовательных агрегатов 6—35 кВ . . 482
2.106. Защита синхронных и асинхронных электродвигателей напряжением выше 1 кВ 486
2.107. Защита электропечных установок 494
2.108. Защита линий 6—35 кВ с односторонним питанием 496
2.109. Защита конденсаторных установок 10(6) кВ 502
2.110. Защита фильтров высших гармоник 10—35 кВ 503
2.111. Защита комплектных распределительных устройств 6—35 кВ 506
2.112. Автоматическое включение резервного питания (АВР) . . . 507
2.113. Автоматическое повторное включение (АПВ) 511
2.114. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) 513
2.115. Комплектные устройства защиты и автоматики сетей 10(6) кВ, выполненные на интегральных микросхемах 518
2.116. Самозапуск электродвигателей 529

О. Управление выключателями высокого напряжения, предупреждающая и аварийная сигнализация

2.117. Схемы управления выключателями высокого напряжения . . 536
2.118. Схемы предупреждающей и аварийной сигнализации . . . 539

П. Измерение электрических величин

2.119. Общие требования 541
2.120. Измерение тока, напряжения и мощности 542
2.121. Регистрация электрических процессов, контроль изоляции . . 543
2.122. Контроль качества электроэнергии 544
2.123. Измерительные преобразователи 546
2.124. Измерительно - вычислительные комплексы и информационные измерительные системы . . . 550
2.125. Перечень щитовых измерительных приборов, рекомендуемых для применения в низковольтных комплектных устройствах (НКУ), пультах, щитах и панелях 553
2.126. Оснащение лабораторий по эксплуатационным испытаниям и наладке электрооборудования 558

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТА

3.1. Основные понятия 564
3.2. Требования к электроустановкам 566
3.3. Солнцезащитные устройства электроустановок 568
3.4. Заземление 570
Предметный указатель 571

Важные пункты документа можно найти по ссылке