

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт энергетики и природопользования

Безик В. А.

Проектирование систем электрификации

Учебно-методическое пособие по выполнению практических работ
для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
35.03.06 Агроинженерия, профиль Электрооборудование и электротехнологии

Брянская область 2021

УДК 621.31 (076)
ББК 31.279
Б 39

Безик, В. А. Проектирование систем электрификации: учебно-методическое пособие по выполнению практических работ для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 35.03.06 Агроинженерия, профиль Электрооборудование и электротехнологии / В. А. Безик. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. – 108 с.

Учебно-методическое пособие содержит необходимые краткие теоретические сведения, примеры решения задач, контрольные задания и задачи для самостоятельного решения. Пособие предназначено для использования при проведении практических работ со студентами направлений подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 35.03.06 Агроинженерия, профиль Электрооборудование и электротехнологии.

Рецензент: заведующий кафедрой технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве, к.э.н., доцент Гринь А.М.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института энергетики и природопользования, протокол №3 от 30.11.2020 г.

© Брянский ГАУ, 2021,
© Безик В.А. 2021,

Содержание

1. Проектирование электроснабжения	5
1.1 Определение расчетных электрических нагрузок упрощенными методами	5
1.1.1 Краткие теоретические сведения.....	5
1.1.2 Контрольное задание	8
1.2 Защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ	11
1.2.1 Краткие теоретические сведения.....	11
1.2.2 Контрольное задание	14
1.2.3 Выбор автоматических выключателей	15
1.2.4 Контрольное задание	16
1.2.5 Выбор магнитных пускателей	17
1.2.6 Контрольное задание	18
1.3 Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током	18
1.3.1 Краткие теоретические сведения.....	18
1.3.2 Контрольное задание	25
1.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов потребительских ТП 6-10/0,4 кВ	28
1.4.1 Краткие теоретические сведения.....	28
1.4.2 Контрольное задание	31
2 Проектирование электропривода.....	32
2.1 Механика и динамика электропривода.....	32
2.1.1 Примеры решения задач.....	32
2.1.2 Контрольные задания	39
2.2 Выбор электродвигателя по мощности.....	43
2.2.1 Примеры решения задач.....	43
2.2.2 Контрольные задания	49
2.2.3 Задачи для самостоятельного решения.....	52

2.3 Проверка возможности пуска и устойчивости работы электродвигателей	55
2.3.1 Примеры решения задач	55
2.3.2 Контрольные задания	58
2.3.3 Задачи для самостоятельного решения	59
3 Проектирование освещения	61
3.1 Расчет освещения	61
3.1.1 Электрические источники света	61
3.1.2 Выбор светильника, вида и системы освещения	62
3.1.3 Размещение светильников	63
3.1.4 Светотехнический расчет	64
3.1.5 Электротехническая часть	69
3.2 Контрольное задание	72
4 Эксплуатация электрооборудования	73
4.1 Краткие теоретические сведения	73
4.2 Задачи для самостоятельного решения	78
5 Проектирование нагревательных установок	81
5.1 Краткие теоретические сведения	81
5.2 Задачи для самостоятельного решения	89
Литература	92
Приложения	94

1. Проектирование электроснабжения

1.1 Определение расчетных электрических нагрузок упрощенными методами

1.1.1 Краткие теоретические сведения

К упрощенным методам определения расчетных нагрузок относятся: а) метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или выполняемой работы; б) метод коэффициента спроса (K_c); в) метод удельной мощности на единицу площади.

Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или работы. Согласно этому методу расчетная нагрузка определяется по формулам:

$$P_p = P_c = \Pi w_0 / T; \quad (1.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

где Π – количество продукции (или объем работы), выпускаемой (или выполняемой) за время T ;

w_0 – удельный расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или выполняемой работы;

$\operatorname{tg} \varphi$ – средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_T}{W_T}, \quad (1.3)$$

где V_T , W_T – расходы соответственно реактивной и активной энергии за время T .

Метод удельного расхода электроэнергии рекомендуется применять при достаточно устойчивых значениях W_0 и наличии соответствующей базы данных об электропотреблении (удельных норм расхода электроэнергии).

Метод коэффициента спроса (K_c). Расчетную нагрузку группы однородных по режиму работы электроприемников определяют по формулам:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (1.4)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.5)$$

где K_c и $\operatorname{tg} \varphi$ принимаются для характерной группы электроприемников по справочным материалам.

Основной недостаток данного метода состоит в том, что величина коэффициента спроса принимается одинаковой для всех электроприемников. Такое допущение возможно только при высоких значениях коэффициентов использования и эффективного числа электроприемников.

Данный метод рекомендуется применять при отсутствии конкретных данных об электроприемниках, наличии их суммарной установленной мощности по цеху (участку) и общего характерного режима их работы.

Метод удельной мощности на единицу площади. Расчетная нагрузка по данному методу определяется по одной из следующих формул:

$$P_p = p_{уд.р} F; \quad (1.6)$$

$$P_p = p_{уд.уст} F K_c; \quad (1.7)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.8)$$

где $p_{уд.р}$ – удельная расчетная активная мощность на единицу площади, кВт/м²;

$p_{уд.уст}$ – удельная установленная активная мощность на единицу площади, кВт/м²;

F – площадь размещения электроприемников, м².

Этот метод рекомендуется применять при относительно равномерном распределении электроприемников по площади помещения. Наиболее точные результаты получаются при большом количестве электроприемников и малой их мощности.

Характерным примером применения формулы (1.7) является определение расчетной нагрузки от источников света при общей равномерной системе освещения.

Формула 1.6 применяется для определения нагрузки жилых домов микрорайона (квартала). В этом случае под $p_{уд.р}$ понимается удельная расчетная нагрузка жилых домов, а под F – общая площадь жилых домов микрорайона (квартала).

Расчетная нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников) $P_{р.ж.д.}$ определяется по формуле:

$$P_{р.ж.д.} = p_{кв.уд} \cdot n + 0,9 \left(K'_c \sum_1^{n_{л}} p_{л_i} + K''_c \sum_1^m P_{ст.у_i} \right), \quad (1.9)$$

где $p_{кв.уд}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка квартир; n – количество квартир;

0,9 – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников;

$p_{л_i}$ – установленная мощность электродвигателя лифта;

$n_{\text{л}}$ – количество лифтовых установок;

$P_{\text{ст.}y_i}$, m – соответственно мощность и количество электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств;

K'_c , K''_c – коэффициенты спроса.

Расчетная электрическая нагрузка линии до 1 кВ (или на шинах 0,4 кВ ТП) при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий определяется по формуле:

$$P_{\text{рл}} = P_{\text{зд.маx}} + \sum_1^n K_{y_i} P_{\text{зд}_i}, \quad (1.10)$$

где $P_{\text{зд.маx}}$ – наибольшая нагрузка здания из числа зданий, питаемых по линии;

$P_{\text{зд}_i}$ – расчетные нагрузки других зданий, питаемых по линии;

K_{y_i} – коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий и (или) жилых домов.

Расчетные электрические нагрузки общественных зданий принимаются по проектам электрооборудования этих зданий или по укрупненным удельным расчетным нагрузкам по формулам (1.6), (1.8).

Расчетная электрическая нагрузка в системах электроснабжения на уровнях напряжением выше 1 кВ (РП, ГПП и др.) определяются по формулам:

$$P_{\text{р}\Sigma} = (\sum P_{\text{рн}} + \sum P_{\text{рв}} + \Delta P_{\text{т}} + \Delta P_{\text{л}}) K_{\Sigma}; \quad (1.11)$$

$$Q_{\text{р}\Sigma} = (\sum Q_{\text{рн}} + \sum Q_{\text{рв}} + \Delta Q_{\text{т}} + \Delta Q_{\text{л}}) K_{\Sigma}; \quad (1.12)$$

$$S_{\text{р}\Sigma} = \sqrt{(P_{\text{р}\Sigma})^2 + (Q_{\text{р}\Sigma})^2}; \quad (1.13)$$

где $\sum P_{\text{рн}}$, $\sum Q_{\text{рн}}$ – суммы расчетных соответственно активных и реактивных мощностей на напряжение до 1 кВ;

$\sum P_{\text{рв}}$, $\sum Q_{\text{рв}}$ – суммы расчетных соответственно активных и реактивных мощностей на напряжение выше 1 кВ (высоковольтных потребителей);

$\Delta P_{\text{т}}$, $\Delta Q_{\text{т}}$ – потери мощности соответственно активные и реактивные в силовых трансформаторах 6÷35 кВ (до окончательного выбора мощности трансформаторов можно принимать

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{рн}; \quad \Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{рн}, \quad \text{где}$$

$$S_{рн} = \sqrt{(\sum P_{рн})^2 + (\sum Q_{рн})^2};$$

$\Delta P_{л}, \Delta Q_{л}$ – потери мощности соответственно активные и реактивные в высоковольтных линиях (линиях питающих ТП 6÷35 кВ) (до окончательного выбора параметров линий электропередачи можно принимать $\Delta P_{л} = 0,03 \cdot S_{рн}$; $\Delta Q_{л} \approx 0$ – для кабельных линий электропередачи; $\Delta Q_T = (0,02 \dots 0,03)S_{рн}$ – для воздушных линий электропередачи);

K_{Σ} – коэффициент одновременности максимумов нагрузки ($K_{\Sigma} = 0,85 \dots 0,95$).

Пример определения расчетной нагрузки распределительной подстанции (РП-10 кВ).

От РП питаются три цеха, установленные мощности, которых приведены в табл. 1.1 (для примера приняты исходные данные для 0-го варианта задания). В табл. 1.2 в соответствии с номером цеха указаны его наименование, размеры (длина, ширина), средние коэффициенты спроса силовой и осветительной нагрузок, коэффициент мощности нагрузки, удельная установленная осветительная нагрузка. Определение расчетной нагрузки выполнено в виде табл. 1.3

В примечаниях к табл. 1.3 указаны основные формулы, по которым выполнялся расчет. Приведены расчеты потерь мощности в линиях и трансформаторах внутризаводской электрической сети и определение полной расчетной мощности РП.

1.1.2 Контрольное задание

В соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем по табл. 1.1 необходимо определить расчетную нагрузку распределительной подстанции, от которой питаются три потребителя. Результаты расчетов оформить в виде табл. 1.3.

Таблица 1.1

Исходные данные

№ варианта	Установленная мощность цеха (потребителя), кВт						
	Номер цеха по табл. 2.3						
	1	2	3	4	5	6	7
0	-	2800	-	3600	600	-	-
1	4600	-	1800	-	-	900	-
2	-	-	2500	4000	-	-	100
3	2900	1900	-	-	300	-	-
4	-	-	950	-	-	300	50
5	1850	-	-	2200	-	400	-
6	-	1500	-	-	200	-	30
7	-	-	1400	-	250	500	-

Продолжение таблицы 1.1

№ варианта	Установленная мощность цеха (потребителя), кВт						
	Номер цеха по табл. 2.3						
	1	2	3	4	5	6	7
8	3100	2200	-	2900	-	-	-
9	-	-	1000	-	150	300	-
10	2700	-	2100	-	-	-	75
11	-	3000	-	2500	-	700	-
12	-	-	3200	-	185	-	90
13	-	-	-	4500	120	1200	-
14	5200	3600	-	-	-	-	60
15	-	-	5800	3900	-	1100	-
16	-	4200	-	-	280	-	50
17	3500	-	4100	-	-	800	-
18	-	2800	-	5200	-	-	40
19	2100	-	1500	-	120	-	-
20	-	1900	-	2600	-	600	-
21	2800	1800	1100	-	-	-	-
22	-	-	-	4800	400	-	20
23	4100	2600	-	-	-	1300	-
24	-	1500	2000	-	-	600	-
25	1900	-	-	2600	-	-	70

Таблица 1.2

Исходные данные

№ цеха	Наименование цеха (потребителя)	Длина, ширина, м	Силовая нагрузка		Осветительная нагрузка	
			K_c	$\cos\varphi$	K_{co}	$P_{уд.уст}$ Вт/м ²
1	Кузнечно-прессовый	120×80	0,25	0,65	0,8	17,6
2	Механосборочный	100×30	0,6	0,75	0,95	25,5
3	Механический	80×50	0,3	0,6	0,85	18,9
4	Главный корпус	75×28	0,5	0,7	0,95	20,1
5	Заводоуправление	35×30	0,8	0,9	0,95	30,0
6	Блок вспомогательных цехов	60×40	0,4	0,5	0,9	19,2
7	Склад	100×50	0,55	0,7	0,8	16,2

Таблица 1.3

Результаты расчета

№ цеха	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Совместная силовая и осветительная нагрузки		
		P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_{pc} , кВт	Q_{pc} , квар	F_1 , м ²	$P_{уд.уст.}$, Вт/м ²	K_{co}	$P_{но.}$, кВт	$P_{р.о.}$, кВт	$P_{pc}+P_{po}$, кВт	Q_{pc} , квар	S_p , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	Механосборочный	2800	0,6	0,75	0,88	1680	1478,4	3000	25,5	0,95	76,5	72,7	1752,7	1478,4	2292,9
4	Главный корпус	3600	0,5	0,7	1,0	1800	1800	2100	20,1	0,95	42,2	40,1	1840,1	1800	2574,0
5	Заводоуправление	600	0,8	0,9	0,48	480	230,4	1050	30,0	0,95	31,5	29,9	509,9	230,4	559,5
Итого													4102,7	3508,8	5398,5
Итого по РП с учетом потерь													4154,1	3846,3	5661,3

Примечания: $P_{pc} = K_c P_n$; $Q_{pc} = P_{pc} \operatorname{tg}\varphi$; $S_p = \sqrt{(P_{pc} + P_{po})^2 + Q_{pc}^2}$;

$$P_{но.} = p_{уд.уст.} \cdot F; P_{po} = K_{co} \cdot P_{но.};$$

$$P_{p.з} = (\sum P_{p.нн} + \Delta P_T + \Delta P_L) \cdot K_c; Q_{p.з} = (\sum Q_{p.нн} + \Delta Q_T) K_\Sigma;$$

$$\Delta P_T = 0,02 S_{p.нн}; \Delta P_T = 0,02 \cdot 5398,5 = 108 \text{ кВт}; \Delta Q_T = 0,1 S_{p.нн}; \Delta Q_T = 0,1 \cdot 5398,5 = 539,9 \text{ квар};$$

$$\Delta P_L = 0,03 S_{p.нн}; \Delta P_L = 0,03 \cdot 5398,5 = 162 \text{ кВт};$$

$$S_{p.нн} = \sqrt{(1840,1 + 1752,7 + 509,9)^2 + (1800 + 1478,4 + 230,4)^2} = 5398,5 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$P_{p.рп} = (4102,7 + 108 + 162) \cdot 0,95 = 4154,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.рп} = (3508,8 + 539,9) \cdot 0,95 = 3846,3 \text{ квар}; S_{p.рп} = \sqrt{4154,1^2 + 3846,3^2} = 5661,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

1.2 Защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ

1.2.1 Краткие теоретические сведения.

Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ являются защиты от перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ). Защита от токов КЗ должна осуществляться для всех электрических сетей и электроприемников.

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители.

Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Выбор аппаратов защиты (предохранителей, автоматов) выполняется с учетом следующих основных требований:

1. Номинальный ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать расчетному длительному току и напряжению электрической цепи.

2. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей необходимо выбирать по возможности меньшими по длительным расчетным токам с округлением до ближайшего большего стандартного значения.

3. Аппараты защиты не должны отключать установку при кратковременных перегрузках, возникающих в условиях нормальной работы, например, при пусках электродвигателей.

4. Время действия аппаратов защит должно быть по возможности меньшим и должна быть обеспечена селективность (избирательность) действия защиты при последовательном расположении аппаратов защит в электрической цепи.

5. Ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток или ток срабатывания расцепителя автомата) должен быть согласован с допустимым током защищаемого проводника.

6. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтрали сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

Надежное отключение токов КЗ в сети напряжением до 1 кВ обеспечивается в том случае, если отношение наименьшего однофазного расчетного тока КЗ ($I'_{кз}$) к номинальному току плавкой вставки предохранителя ($I_{н.вст}$) или расцепителя автоматического выключателя ($I_{н.р}$), имеющего обратозависимую от тока характеристику будет не менее 3, а во взрывоопасных зонах соответственно:

$$\frac{I'_{кз}}{I_{н.вст}} \geq 4; \frac{I'_{кз}}{I_{н.р}} \geq 6. \quad (1.14)$$

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), для автоматов с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки тока мгновенного срабатывания ($I_{ср.р}$) должна быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100 А – не менее 1,25.

Однако, в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ к токам защитных аппаратов, если обеспечено согласование защитного аппарата с допустимым током защищаемого проводника.

Выбор плавких вставок предохранителей

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока (I_p):

$$I_{н.вст} \geq I_p, \quad (1.15)$$

и по условию перегрузок пиковыми токами

$$I_{н.вст} \geq I_{п}/\alpha, \quad (1.16)$$

где $I_{п}$ – пиковый (максимальный кратковременный) ток;

α – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки;

$\alpha = 2,5$ – для легких пусков с длительностью пуска до 5 с, а также при редких пусках (насосы, вентиляторы, станки и т.п.) и при защите магистрали;

$\alpha = 2$ – для тяжелых условий пуска, а также при частых (более 15 раз в час) пусках (краны, дробилки, центрифуги и т.п.);

$\alpha = 1,6$ – для ответственных электроприемников.

При выборе предохранителя для одиночного электроприемника в качестве I_p принимается его номинальный ток i_n , а в качестве $I_{п}$ – пусковой ток $i_{пуск}$.

Для линий, питающих группу электроприемников, максимальный пиковый ток определяется:

$$I_{п} = I'_{пуск} + I'_p. \quad (1.17)$$

где $I'_{пуск}$ – пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;

I'_p – длительный расчетный ток, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электроприемников.

При отсутствии данных о количестве одновременно пускаемых электроприемников пиковый ток линии может быть определен по формуле:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п.мах}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{н}} i_{\text{нп}}), \quad (1.18)$$

где $i_{\text{п.мах}}$ – наибольший пусковой ток электроприемника группы;

$I_{\text{р}}$ – расчетный по нагреву ток группы электроприемников;

$i_{\text{нп}}$ – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего от- ветвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{\text{н.вст}} \geq 1,2 \cdot i_{\text{нс}} \sqrt{ПВ}, \quad (1.19)$$

где $i_{\text{нс}}$ – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения ($ПВ$).

Допускается $I_{\text{н.вст}}$ для сварочного аппарата принимать равным допустимому току провода, питающего сварочный аппарат.

Выбранные плавкие вставки должны обеспечивать также селективность (избирательность) срабатывания. Это значит, что при КЗ на каком-либо участке сети должна перегореть плавкая вставка предохранителя только этого поврежденного участка. В общем случае защита считается селективной, когда характеристики срабатывания аппаратов защиты последовательно расположенных в цепи с учетом зон разброса характеристик не пересекаются.

Учитывая, что разница во времени срабатывания плавких вставок с ростом тока КЗ и в области больших токов КЗ уменьшается, а также тот фактор, что с многократным повторением циклов нагрева время срабатывания предохранителя высшей ступени может уменьшаться для обеспечения селективности срабатывания каждый предохранитель на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь плавкую вставку не менее, чем на две ступени выше, чем предыдущий.

Пример. Рассчитать ток и выбрать плавкий предохранитель для защиты линии, по которой питается электроприемник (электродвигатель) со следующими данными:

$$P_{\text{н}} = 18,5 \text{ кВт}; \cos \varphi_{\text{н}} = 0,82; \eta_{\text{н}} = 87 \%; U_{\text{н}} = 380 \text{ В}.$$

Решение. Определяем длительный расчетный ток линии:

$$I_{\text{р}} = i_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{н}}} = \frac{18,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 39,6 \text{ А}.$$

$$\text{Пусковой ток: } I_{\text{п}} = i_{\text{н}} \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} = 39,6 \cdot 7 = 277,2 \text{ А}.$$

$$\text{По длительному току } I_{\text{н.вст}} \geq 39,6 \text{ А}.$$

По кратковременному току с учетом условий пуска

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_{п}}{\alpha} \geq \frac{277,2}{2,5} \geq 110,9 \text{ А.}$$

Выбираем предохранитель ПН2-250 с $I_{н.вст} = 120 \text{ А.}$

1.2.2 Контрольное задание

Рассчитать токи электроприемников и выбрать плавкие предохранители в распределительном шкафу, схема которых приведена на рис. 1.1. Исходные данные по вариантам указаны в таблице 1.4.

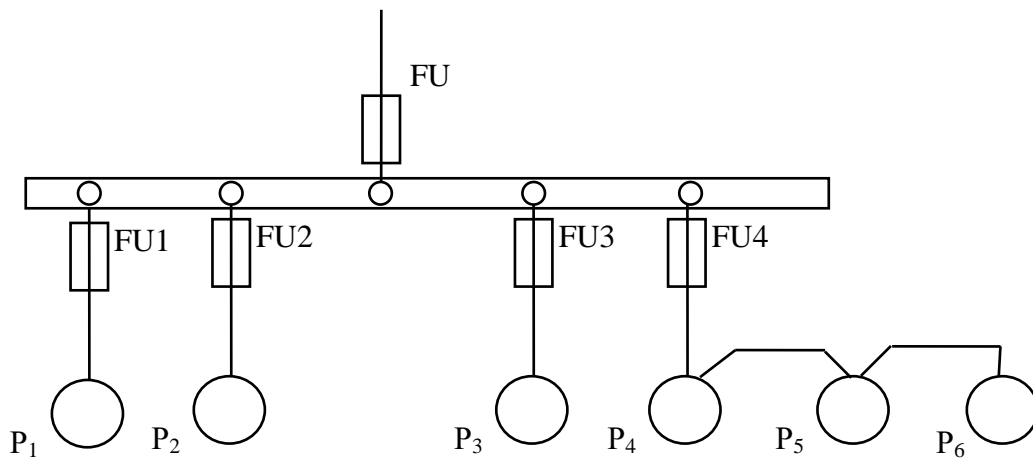


Рисунок 1.1. Схема распределительной сети

Таблица 1.4

Исходные данные

№ вар.	P ₁ кВт	P ₂ кВт	P ₃ кВт	P ₄ кВт	P ₅ кВт	P ₆ кВт	cosφ ₁	cosφ ₂	cosφ ₃	cosφ ₄	cosφ ₅	cosφ ₆	K _c
1	19,6	17,3	3,7	4,3	11,0	9,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
2	18,1	14,0	7,3	2,5	16,0	21,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
3	13,0	19,3	9,2	4,3	7,8	5,9	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
4	7,3	14,2	7,0	2,1	23,2	4,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,85
5	9,2	7,3	1,1	0,75	14,5	28,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
6	4,0	13,5	7,2	3,0	9,8	19,3	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
7	17,5	9,2	3,0	2,2	7,3	8,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
8	3,5	7,1	5,3	2,3	6,1	19,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8
9	8,4	21,3	7,5	4,0	14,6	3,4	0,7	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8
10	11,6	25,3	3,6	0,75	9,3	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,85
11	10,3	16,1	7,4	3,1	4,9	9,5	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	0,85
12	17,1	6,3	0,75	0,75	5,7	20,4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,85
13	4,0	9,3	2,8	1,7	17,1	14,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
14	12,8	7,3	4,1	0,8	19,3	6,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
15	14,5	14,5	10,0	4,1	7,5	2,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8

1.2.3 Выбор автоматических выключателей

Номинальные токи автоматического выключателя и расцепителя выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.а} \geq I_p, \quad (1.20)$$

$$I_{н.р} \geq I_p. \quad (1.21)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ($I_{ср.р}$) проверяется по пиковому току линии $I_{пик}$:

$$I_{ср.р} \geq 1,25 I_{пик}, \quad (1.22)$$

Ток срабатывания расцепителя устанавливается изготовителем в зависимости от $I_{н.р}$

$$I_{ср.р} = k_{то} \cdot I_{н.р}$$

где $k_{то}$ – кратность тока отсечки.

С учетом (3.9) расчетное значение кратности тока отсечки определяется по выражению:

$$k_{то} \geq \frac{1,25 \cdot I_{пик}}{I_{н.р}}, \quad (1.23)$$

Селективность срабатывания последовательно включенных автоматических выключателей обеспечивается в тех случаях, когда их защитные характеристики не пересекаются. При отсутствии защитных характеристик каждый автомат на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь номинальный ток расцепителя не менее, чем на ступень выше, чем предыдущий.

Пример. Рассчитать ток и выбрать автоматический выключатель для защиты от перегрузки и токов короткого замыкания. Электроприемником является асинхронный двигатель мощностью 11 кВт, $\cos \varphi_n = 0,87$; $\eta_n = 87,5\%$;

$$\frac{I_{п}}{I_{н}} = 7,5.$$

Решение. Определяем длительный расчетный ток

$$I_p = i_n = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 22 \text{ А}.$$

Выберем номинальный ток расцепителя из условия:

$$I_{н.р} \geq I_p \geq 22 \text{ А}.$$

Автоматический выключатель серии ВА 51-25 с $I_{н.а} = 25 \text{ А}$, $I_{н.р} = 25 \text{ А}$.

Устанавливаем невозможность срабатывания автоматического выключателя при пуске:

$$I_{ср.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик}.$$

На электромагнитном расцепителе ток трогания установлен на $10I_{н.р}$, значит $I_{ср.р} = 250 \text{ А}$.

Максимальный кратковременный ток

$$I_{пик} = I_{п} = 22 \cdot 7,5 = 165 \text{ А};$$

$$I_{ср.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 165 = 206,3 \text{ А}; 250 \text{ А} > 206,3 \text{ А}.$$

1.2.4 Контрольное задание

Рассчитать токи электроприемников и выбрать автоматические выключатели в распределительном шкафу серии ПР8501 (рис. 1.2). Исходные данные по вариантам находятся в таблице 1.5.

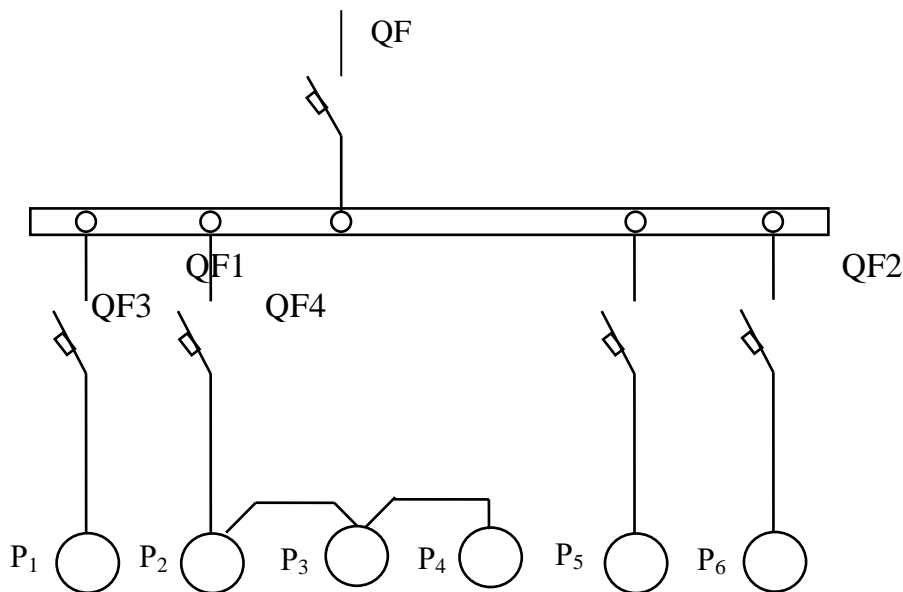


Рисунок 1.2. Схема распределительной сети

Таблица 1.5

Исходные данные

№ вар.	P_1 кВт	P_2 кВт	P_3 кВт	P_4 кВт	P_5 кВт	P_6 кВт	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\cos\varphi_3$	$\cos\varphi_4$	$\cos\varphi_5$	$\cos\varphi_6$	K_c
1	16,1	14,3	7,3	2,2	21,3	9,2	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,85
2	3,8	14,0	2,7	4,0	18,5	3,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
3	12,5	10,3	7,5	1,1	5,2	4,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,85
4	1,9	7,3	0,73	0,73	19,3	22	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
5	19,0	7,5	4,0	2,2	13,0	5,5	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
6	4,2	23,1	2,0	2,0	4,9	9,1	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
7	13,3	12,0	2,2	1,1	4,9	8,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8
8	10,0	7,8	2,7	0,75	3,8	2,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
9	23,0	3,0	8,3	0,3	4,8	11,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
10	9,3	10,0	3,2	0,75	5,5	18,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8
11	7,3	13,5	7,5	3,0	13,0	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8	0,85
12	14,5	7,5	3,0	0,75	3,5	18,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
13	10,2	8,5	4,0	0,9	18,0	3,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
14	8,4	12,6	7,7	3,0	18,5	7,3	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8
15	15,8	11,0	4,8	2,2	3,9	19,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,85

1.2.5 Выбор магнитных пускателей

Электромагнитный пускатель – это коммутационный аппарат, который предназначен для управления электродвигателями переменного тока.

В исполнении с тепловыми реле пускатели также защищают управляемые электродвигатели от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Номинальные токи магнитных пускателей выбирают по длительному расчетному току:

$$I_{н.мп} \geq I_p. \quad (1.24)$$

Номинальные токи тепловых реле I_n выбирают по длительному расчетному току:

$$I_{н.т} \geq I_p. \quad (1.25)$$

Пример. Рассчитать ток и выбрать уставку теплового реле серии РТЛ магнитного пускателя ПМЛ, защищающего от перегрузки электродвигатель мощностью 5,5 кВт, $\cos\varphi_n = 0,85$, $\eta_n = 85,5\%$.

Решение. Определяем длительный расчетный ток электродвигателя

$$I_p = i_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{5,5}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,6 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ200004 второй величины с РТЛ-101604, $I_{\text{ном.т.р.}} = 14 \text{ А.}$

1.2.6 Контрольное задание

Рассчитать ток и выбрать уставки тепловых реле магнитных пускателей для защиты электродвигателей от перегрузки. Исходные данные по вариантам находятся в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Технические данные электродвигателей

№ варианта	Тип электродвигателя	P_n кВт	$\cos \varphi_n$	η_n , %
1	4A71A4Y3	0,55	0,7	70,5
2	4A71B4Y3	0,75	0,73	72,0
3	4A80A4Y3	1,1	0,81	75,0
4	4A80B4Y3	1,5	0,83	77,0
5	4A90L4Y3	2,2	0,83	80,0
6	4A100S4Y3	3,0	0,83	82,0
7	4A100L4Y3	4,0	0,84	84,0
8	4A132S4Y3	7,5	0,86	87,5
9	4A132M4Y3	11,0	0,87	87,5
10	4A160S4Y3	15,0	0,88	88,5
11	4A160M4Y3	18,5	0,88	89,5
12	4A180S4Y3	22,0	0,9	90,0
13	4A180M4Y3	30,0	0,89	91,0
14	4A200M4Y3	37,0	0,9	91,0
15	4A200L4Y3	45,0	0,90	92,0

1.3 Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током

1.3.1 Краткие теоретические сведения

При протекании по проводнику (провод, кабель, шина) электрического тока происходит его нагрев, изменяющий физические свойства проводника. Чрезмерный нагрев опасен для изоляции, вызывает перегрев контактных со-

единений, перегорание проводника, что может привести к пожару или взрыву при неблагоприятных условиях окружающей среды.

Максимальная температура нагрева проводника, при которой изоляция его сохраняет диэлектрические свойства и обеспечивается надежная работа контактов, называется предельно допустимой, а наибольший ток, соответствующий этой температуре – длительно допустимым током по нагреву.

Величина длительно допустимого тока для проводников зависит от его материала, сечения, изоляции, условий охлаждения и т.д.

Установлен длительно допустимая температура жилы проводника – 50 ... 80°C (в зависимости от типа изоляции и напряжения). Установлена также нормативная (условная) температура окружающей среды (25°C – при прокладке проводников внутри и вне помещений в воздухе, 15°C – при прокладке в земле и в воде).

Длительно допустимый ток по нагреву при заданных температурных условиях (допустимой температуры нагрева жил и температуры окружающей среды по нормам) материала проводника и его сечения определяется из уравнения теплового баланса для проводника.

Для практических расчетов пользуются готовыми таблицами длительно допустимых токов по нагреву проводников из различных материалов при различных условиях прокладки.

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева токами нагрузки сравниваются расчетный (I_p) и допустимый ($I_{доп}$) токи для проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки. При этом должно соблюдаться соотношение

$$I_{доп} \geq \frac{I_p}{K_{\Pi}}, \quad (1.26)$$

где K_{Π} – поправочный коэффициент, корректирующий допустимый ток на условия прокладки проводов и кабелей, зависящий от температуры земли и воздуха (табл. 1.7);

I_p – расчетный ток длительного режима работы электроприемника (электроприемников); для одиночного электроприемника за расчетный ток принимается его номинальный ток, для группы электроприемников, при количестве их до трех – ток, равный сумме номинальных токов электроприемников – расчетный ток, определяемый одним из существующих методов расчета (обычно методом упорядоченных диаграмм).

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, должны приниматься в табл. 1.3.4 и 1.3.5 ПУЭ, как для проводов, проложенных в трубах, для кабелей – по табл. 1.3.6-1.3.8 ПУЭ, как для кабелей, проложенных в воздухе. При количестве одновременно нагруженных проводов более четырех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, токи для проводов должны приниматься на табл.

1.3.4 и 1.3.5 ПУЭ, как для проводов, проложенных открыто (в воздухе) с введением снижающих коэффициентов.

Допустимые длительные токи для проводов, проложенных в лотках, при однорядной прокладке (не в пучках) следует принимать, как для проводов, проложенных в воздухе.

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать по табл. 1.3.4-1.3.7 ПУЭ, как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе), с применением снижающих коэффициентов, указанных в табл. 4.2.

Таблица 1.7

Поправочные коэффициенты на токи для кабелей, неизолированных и изолированных проводов
и шин в зависимости от температуры земли и воздуха

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	-

Таблица 1.8

Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одножильный	многожильный	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Много- слойно и пуч- ками	-	До 4	1,0	-
	2	5-6	0,85	-
	3-9	7-9	0,75	-
	10-11	10-11	0,7	-
	12-14	12-14	0,65	-
	15-18	15-18	0,6	-
Однослойно	2-4	2-4	-	0,67
	5	5	-	0,6

На период ликвидации послеаварийного режима продолжительностью не более 6 ч в сутки в течение 5 суток допускается перегрузка для кабелей: с полиэтиленовой изоляцией до 10% номинальной нагрузки; с поливинилхлоридной - до 15%, с бумажной - до 25% [1].

По механической прочности минимальное сечение алюминиевых проводников должно быть не менее 2,5 мм², для медных – 1,5 мм².

Выбранные по нагреву проводники должны быть согласованы с защитным аппаратом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{K_{\text{п}}}, \quad (1.27)$$

где k_3 – кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току;

I_3 – номинальный ток срабатывания защитного аппарата.

В сетях, не требующих защиты от перегрузки k_3 принимают:

0,33 – для номинального тока плавкой вставки;

0,8 – для расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой.

Для проводников с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией в сетях с защитой от перегрузки для расцепителя автоматического выключателя k_3 принимают 1 ÷ 1,25.

Таблица 1.9

Поправочный коэффициент на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см·К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7-9%, песчано-глинистая почва влажностью 12-14%	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7%, песчано-глинистая почва влажностью 8-12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

Таблица 1.10

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Пример 1. Выбрать защитный аппарат и сечение проводника для ответвлений к асинхронному электродвигателю ($P_H = 3$ кВт, $\cos \varphi_{H2} = 0,83$, $\eta_{H2} = 82,5 \%$, $\frac{I_{II}}{I_H} = 7$). Питание выполняется проводом АПВ, проложенным в трубе в помещении с нормальной окружающей средой. Условия пуска двигателя легкие.

Решение. В качестве аппарата защиты используем предохранитель.

Расчетный ток ЭД

$$I_p = i_H = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,825} = 6,7 \text{ А.}$$

Пусковой ток ЭД

$$I_{\text{пус}} = 6,7 \cdot 7 = 46,9 \text{ А.}$$

Определяем ток плавкой вставки предохранителя:

$$I_{\text{в}} = 46,9 / 2,5 = 18,8 \text{ А}.$$

Выбираем предохранитель НПН-2-63 $I_{\text{пр}} = 63 \text{ А}$, $I_{\text{в}} = 20 \text{ А}$.

Сечение проводника определяем по (4.1) $I_{\text{доп}} \geq 6,7 \text{ А}$.

Выбираем пятижильный провод АПВ (5x2,5), $I_{\text{доп}} = 16 \text{ А}$.

Проверяем по выражению (4.2), соответствует ли провод аппарату защиты, если не требуется защита от перегрузки.

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{0,33 \cdot 20}{1} = 6,6 \text{ А}.$$

Пример 2. Группа электроприемников питается по радиальной линии трехфазной сети напряжением 380В. Линия прокладывается в помещении кабелем АВВГ при температуре +30°C. Расчетный ток линии 75А, пиковый ток группы – 338А. Определить сечение проводника, питающего группу электроприемников.

Решение. По расчетному току выбираем автоматический выключатель ВА 51-31 $I_{\text{в}} = 100 \text{ А}$, $I_{\text{пр}} = 80 \text{ А}$.

По табл. 4.1 в зависимости от нормированной (условной) температуры среды (+25°C), нормированной температуры жил (+65°C) и фактической (расчетной) температуры среды (+30°C) находим значение поправочного коэффициента составляет 0,94.

Тогда условие выбора сечения провода $I_{\text{доп}} \geq 75 / 0,94 = 80 \text{ А}$.

По табл. 1.3.5 [1] при условии прокладки пяти одножильных кабелей находим ближайшее большее или равное значение допустимого тока – 105 А и соответствующее ему сечение токопроводящей жилы – 25 мм².

Окончательно для питания принимается 5 одножильных кабелей сечением 25 мм² - АВВГ 5(1x25).

Согласовываем с защитным аппаратом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{1,25 \cdot 80}{0,94} = 106,4 \text{ А}.$$

Условие не выполняется. Соответственно принимаем кабель большего сечения АВВГ 5 (1x35) $I_{\text{доп}} = 130 \text{ А}$.

1.3.2 Контрольное задание

Выбрать сечения жил проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током. В табл. 1.11 для каждого варианта задания (графа 1) приведены следующие исходные данные:

графа 2 – основные технические данные электроприемника (p_n ; U_n ; η_n ; $\cos\varphi_n$; $ПВ$), создающего электрическую нагрузку на проводник или конкретное значение величины расчетной нагрузки проводников от группы электроприемников;

графа 3 – расчетная температура окружающей среды (воздух, земля), в которой прокладываются проводники;

графа 4 – предполагаемая марка провода (кабеля), для которого необходимо выбрать сечение;

графа 5 – предполагаемый способ прокладки проводов (кабелей);

графа 6 – нормированная (максимальная) температура жил провода (кабеля), исходя из которой приводятся длительно допустимые токовые нагрузки.

Таблица 1.11

Вариант	Данные электроприемников					Температура окружающего воздуха, земли, °С	Марка провода, кабеля	Способ прокладки проводников	Нормированная температура жил провода, кабеля, °С
	P_H , кВт	U_H , В	η_H , %	$\cos\varphi$	$ПВ\%$				
	или расчетная нагрузка проводников								
1	0,75	380	73	0,76	100	20	АПВ	в трубе	65
2	7,5	380	87,5	0,86	100	30	АПРТО	в пластмассовой трубе четырехпроводной сети	65
3	5,5	380	85	0,7	50	25	АППВС	под штукатуркой	65
4	62 А на напряжение до 1 кВ					35	АВВГ	на стене скобами	65
5	30	380	92	0,87	100	25	АПВ	в коробе многослойно, при общем количестве проводов 12	65
6	100	380	93,5	0,91	100	30	АВВГ	открыто по стене	65
7	1,5	380	78	0,75	60	15	АПВ	в трубе	65
8	46 А на напряжение 10 кВ					10	АНРГ	в коробе, при прокладке 4 кабелей	65
9	112 А на напряжение до 1 кВ					20	ААШв	в земле, в траншее	80
10	2,2	380	80,5	0,82	40	30	АПВ	в трубе	65
11	45	380	92,5	0,89	100	20	АВВГ	в кабельном канале	65
12	1,1	220	-	0,75	100	25	АПВ	в канале плиты перекрытия, двухпроводная сеть	65
13	31 А на напряжение до 1 кВ					15	ААШв	в кабельном канале	80
14	4	380	82	0,81	100	25	АПВ	в металлорукаве четыре провода	65
15	3	380	81	0,76	25	35	АПВ	в канале, пучком при общем количестве проводов 10	65

Продолжение табл. 1.11

Вариант	Данные электроприемников					Температура окружающего воздуха, земли, °С	Марка провода, кабеля	Способ прокладки проводников	Нормированная температура жил провода, кабеля, °С
	P_H , кВт	U_H , В	η_H , %	$\cos\varphi$	$ПВ\%$				
	или расчетная нагрузка проводников								
16	22 А на напряжение до 1 кВ					30	АПВ	в пластмассовой трубе, четыре провода	65
17	90	380	94	0,89	100	20	ААШв	в земле, в траншее	80
18	11	380	90	0,85	100	25	АПВ	в коробе многослойно при общем количестве проводов 10	65
19	15	380	90	0,89	100	30	АПРТО	в металлической трубе, четырехпроводная сеть	65
20	86 А на напряжение до 1 кВ					20	АВВГ	скобами по строительным конструкциям	65

1.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов потребительских ТП 6-10/0,4 кВ

1.4.1 Краткие теоретические сведения

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов на потребительских подстанциях 6-10/0,4 кВ определяется величиной и характером электрических нагрузок, требуемой надежностью электроснабжения, территориальным размещением нагрузок и перспективным их изменением и выполняется при необходимости достаточного обоснования на основании технико-экономических расчетов.

Под экономическим режимом работы трансформаторов понимается режим, который обеспечивает минимальные потери мощности в трансформаторах. В данном случае решается задача выбора оптимального количества работающих трансформаторов.

Такие ТП могут быть экономичны и в плане максимального приближения напряжения 6-10 кВ к электроприемникам, уменьшая протяженность сетей до 1 кВ за счет децентрализации трансформирования электрической энергии. В этом случае вопрос решается в пользу применения двух однострансформаторных по сравнению с одной двухтрансформаторной подстанцией.

Электроснабжение населенного пункта, микрорайона города, цеха, группы цехов или всего предприятия может быть обеспечено от одной или нескольких ТП. Целесообразность сооружения одно- или двухтрансформаторных подстанций определяется в результате технико-экономического сравнения нескольких вариантов системы электроснабжения. Критерием выбора варианта является минимум приведенных затрат на сооружение системы электроснабжения. Сравнимые варианты должны обеспечивать требуемый уровень надежности электроснабжения.

В системах электроснабжения промышленных предприятий наибольшее применение нашли следующие единичные мощности трансформаторов: 630, 1000, 1600 кВ·А, в электрических сетях городов - 400, 630 кВ·А. Практика проектирования и эксплуатации показала необходимость применения однотипных трансформаторов одинаковой мощности, так как разнообразие их создает неудобства в обслуживании и вызывает дополнительные затраты на ремонт.

В общем случае выбор мощности трансформаторов производится на основании следующих основных исходных данных: расчетной нагрузки объекта электроснабжения, продолжительности максимума нагрузки, темпов роста нагрузок, стоимости электроэнергии, нагрузочной способности трансформаторов и их экономической загрузки.

Основным критерием выбора единичной мощности трансформаторов при технико-экономическом сравнении вариантов является, как и при выборе количества трансформаторов, минимум приведенных затрат.

Ориентировочно выбор единичной мощности трансформаторов может выполняться по удельной плотности расчетной нагрузки ($\text{кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$) и полной расчетной нагрузки объекта ($\text{кВ}\cdot\text{А}$). При удельной плотности нагрузки до 0,2

кВ·А/м² и суммарной нагрузке до 3000 кВ·А целесообразно применять трансформаторы 400; 630; 1000 кВ·А с вторичным напряжением 0,4/0,23 кВ. При удельной плотности и суммарной нагрузке выше указанных значений более экономичны трансформаторы мощностью 1600 и 2500 кВ·А.

Однако эти рекомендации не являются достаточно обоснованными в следствие быстроменяющихся цен на электрооборудование и, в частности, ТП.

В проектной практике трансформаторы ТП часто выбирают по расчетной нагрузке объекта и рекомендуемым коэффициентам экономической загрузки трансформаторов ($B_{зэ} = S_p / S_{н.т}$), в соответствии с данными табл. 1.12.

Таблица 1.12

Рекомендуемые коэффициенты загрузки трансформаторов цеховых ТП

Коэффициент загрузки трансформатора	Вид ТП и характер нагрузки
0,65 ... 0,7	Двухтрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой I категории
0,7 ... 0,8	Однотрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой II категории при наличии взаимного резервирования по переключкам с другими подстанциями на вторичном напряжении
0,9 ... 0,95	ТП с нагрузкой III категории или с преобладающей нагрузкой II категории при возможности использования складского резерва трансформаторов

При выборе мощности трансформаторов важным является правильный учет их нагрузочной способности, под которой понимается совокупность допустимых нагрузок, систематических и аварийных перегрузок из расчета теплового износа изоляции трансформатора. Если не учитывать нагрузочную способность трансформаторов, то можно необоснованно завязать их номинальную мощность, что экономически нецелесообразно.

На значительном большинстве подстанций нагрузка трансформаторов изменяется и в течение продолжительного времени остается ниже номинальной. Значительная часть трансформаторов выбирается с учетом послеаварийного режима, и поэтому в нормальном режиме они остаются длительное время недогруженными. Кроме того, силовые трансформаторы рассчитываются на работу при допустимой температуре окружающей среды, равной +40°С. В действительности они работают в обычных условиях при температуре среды до 20 ... 30°С. Следовательно, силовой трансформатор в определенное время может быть перегружен с учетом рассмотренных выше обстоятельств без всякого ущерба для установленного ему срока службы (20 ... 25 лет).

На стадии проектирования подстанций можно использовать типовые графики нагрузок или в соответствии с рекомендациями, также предлагаемыми в [5] выбирать мощность трансформаторов по условиям аварийных перегрузок.

Тогда для подстанций, на которых возможна аварийная перегрузка трансформаторов (двухтрансформаторные, однотрансформаторные с резервными связями по вторичной стороне), если известна расчетная нагрузка объекта S_p и коэффициент допустимой аварийной перегрузки $K_{з.ав}$, номинальная мощность трансформатора определяется, как:

$$S_{н.т} = \frac{S_p}{K_{з.ав}}. \quad (1.27)$$

Следует также отметить, что нагрузка трансформатора свыше его номинальной мощности допускается только при исправной и полностью включенной системе охлаждения трансформатора.

Что касается типовых графиков, то на настоящее время они разработаны для ограниченного количества узлов нагрузок.

Так как выбор количества и мощности трансформаторов, в особенности потребительских подстанций 6-10/0,4-0,23 кВ, определяется часто в основном экономическим фактором, то существенным при этом является учет компенсации реактивной мощности в электрических сетях потребителя. Компенсируя реактивную мощность в сетях до 1 кВ, можно уменьшить количество ТП 10/0,4, их номинальную мощность. Особенно это существенно для промышленных потребителей, в сетях до 1 кВ которых приходится компенсировать значительные величины реактивных нагрузок. Существующая методика по компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий и предполагает выбор мощности компенсирующих устройств с одновременным выбором количества трансформаторов подстанций и их мощности.

Выбор мощности силовых трансформаторов может быть выполнен следующим образом:

в сетях промышленных предприятий:

а) единичную мощность трансформаторов необходимо выбирать в соответствии с рекомендациями удельной плотности расчетной нагрузки и полной расчетной нагрузки объекта;

б) количество трансформаторов подстанции и их номинальную мощность следует выбирать в соответствии с указаниями по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий [4];

в) выбор мощности трансформаторов должен осуществляться с учетом рекомендуемых коэффициентов загрузки и допустимых аварийных перегрузок трансформаторов;

г) при наличии типовых графиков нагрузки выбор следует вести в соответствии с ГОСТ 14209-85 с учетом компенсации реактивной мощности в сетях до 1 кВ;

в городских электрических сетях:

а) имея в наличии типовые графики нагрузки подстанции, выбор мощности трансформаторов следует выполнять в соответствии с ГОСТ 14209-85;

б) зная вид нагрузки подстанции, при отсутствии типовых графиков ее, выбор целесообразно выполнять в соответствии с методическими указаниями института "Белэнергосетьпроект".

Пример. Выбрать количество и мощность трансформатора цеховой ТП по следующим исходным данным: $P_p = 250$ кВт, $Q_p = 270$ квар; категория электроприемников цеха по степени надежности электроснабжения – 3.

Решение. Полная расчетная мощность цеха

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{250^2 + 270^2} = 368 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

По расчетной мощности (368 кВ·А) и требуемому уровню надежности электроснабжения (3 категория электроприемников) можно принять однотрансформаторную подстанцию с мощностью трансформатора $S_{нт} = 400$ кВ·А.

Коэффициент загрузки трансформатора составит

$$K_3 = \frac{S_{нт}}{S_p} = \frac{368}{400} = 0,92,$$

что удовлетворяет соответствующим требованиям (табл. 1.12).

1.4.2 Контрольное задание

1. Выполнить выбор количества и мощности силовых трансформаторов цеховой комплектной трансформаторной подстанции (КТП) по исходным данным, приведенным в табл. 1.13. Вариант задания указывается преподавателем. При выборе двухтрансформаторной подстанции для питания электроприемников 1 и 2 категории по надежности электроснабжения считать, что допустимая аварийная перегрузка составляет $1,5 \cdot S_{нт}$.

2. Составить принципиальную электрическую схему выбранной КТП.

Таблица 1.13

Исходные данные

№ варианта	P_p , кВт	Q_p , квар	Категория электроприемников по надежности электроснабжения
1	570,3	481	I
2	295	279	II
3	354	301,5	III
4	336	370	II
5	213,6	206	II

6	189	171	III
7	204	198,5	III
8	470	401	I
9	625	603	I
10	349	297	II
11	727	681,5	II
12	370,5	346,1	III
13	493	471,6	II
14	189,5	161,3	II
15	370	319,5	III

2 Проектирование электропривода

1.2 Механика и динамика электропривода

1.2.1 Примеры решения задач

Задача 1.

Определить потребную (расчётную) мощность асинхронного электродвигателя с к.з. ротором с синхронной частотой вращения $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$, приводящего в движение рабочую машину. Кинематическая схема привода рабочей машины представлена на рисунке 2.1.

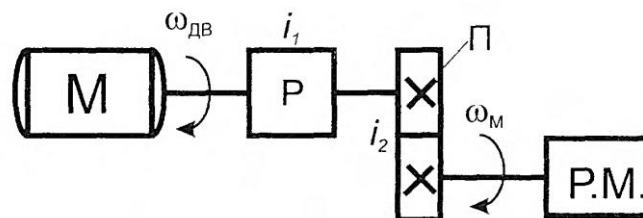


Рисунок 2.1. Кинематическая схема системы «электродвигатель – рабочая машина». М – электродвигатель; Р – редуктор; П- клиноремённая передача; P.M., - рабочая машины; i_1 - передаточное отношение редуктора; i_2 - передаточное отношение клиноремённой передачи; $\omega_{дв}$ - угловая скорость вращения вала электродвигателя; $\omega_м$ –угловая скорость вращения вала рабочей машины.

Момент сопротивления на валу рабочей машины: $M_м = 1200 \text{ Н·м}$; Передаточное отношение редуктора $i_1 = 28$; передаточное отношение клиноремённой передачи, $i_2 = 2$; к.п.д. редуктора $\eta_p = 0,86$; к.п.д. клиноремённой передачи $\eta_{пер} = 0,8$.

Решение:

Скорость вращения $\omega_{дв}$, рад/с, электродвигателя

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{p \cdot n_c}{30}$$

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с.}$$

Общее передаточное отношение

$$i = i_1 \cdot i_2 = 28 \cdot 2 = 56$$

Общий к.п.д. системы

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{пер}} = 0,86 \cdot 0,8 = 0,69$$

Момент сопротивления рабочей машины $M_{\text{сн}}$ Н·м, приведённый к валу электродвигателя

$$M_{\text{сн}} = \frac{M_{\text{м}}}{i \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{1200}{56 \cdot 0,69} = 31 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчётная мощность $P_{\text{рас}}$ - Вт, электродвигателя

$$P_{\text{рас}} = M_{\text{сн}} \cdot \omega_{\text{дв}} = 31 \cdot 157 = 4867 \text{ Вт}$$

Задача 2.

Определить потребную (расчётную) мощность асинхронного электродвигателя с к.з. ротором с синхронной частотой вращения $n_c = 1000 \text{ мин}^{-1}$, приводящего в движение рабочую машину. Кинематическая схема привода рабочей машины представлена на рисунке 2.2.

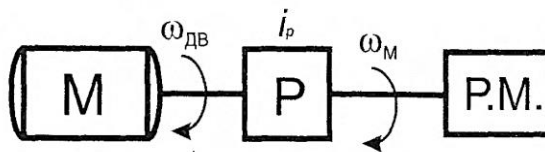


Рисунок 2.2. Кинематическая схема системы «электродвигатель – рабочая машина».

Рабочая машина совершает поступательное движение и проходит расстояние $S = 6$ метров за 40 секунд; к.п.д. редуктора $\eta_{\text{р}} = 0,66$; Усилие необходимое для передвижения механизма $F = 36000 \text{ Н}$.

Решение:

Скорость вращения $\omega_{\text{дв}}$, рад/с, электродвигателя

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{p \cdot n_c}{30}$$

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 105 \text{ рад/с.}$$

Скорость поступательного движения v , м/с, рабочей машины

$$v = \frac{S}{t}$$

$$v = \frac{6}{40} = 0,15 \text{ м/с}$$

Момент сопротивления рабочей машины $M_{\text{сн}}$ Н·м, приведённый к валу электродвигателя

$$M_{\text{сн}} = \frac{F \cdot v}{\omega_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{36000 \cdot 0,15}{105 \cdot 0,66} = 78 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчётная мощность $P_{\text{рас}}$ -Вт, электродвигателя

$$P_{\text{рас}} = M_{\text{сн}} \cdot \omega_{\text{дв}} = 78 \cdot 105 = 8190 \text{ Вт}$$

Задача 3.

Определить расчётную мощность асинхронного электродвигателя с к.з. ротором и момент инерции системы «электродвигатель - механизм подъёмной лебёдки», кинематическая схема которой представлена на рисунке 2.3.

Дано:

Скорость вращения приводного электродвигателя $\omega_{\text{дв}} = 157 \text{ рад/с}$; момент инерции электродвигателя $J_{\text{дв}} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; к.п.д. передачи $\eta_{\text{п}} = 0,92$; масса барабана $m_{\text{б}} = 1400 \text{ кг}$; радиус барабана $R = 1,25 \text{ м}$; масса груза $m_{\text{гр}} = 200 \text{ кг}$; скорость поступательного движения груза $v = 0,22 \text{ м/с}$; коэффициент трения $f_{\text{тр}} = 0,66$.

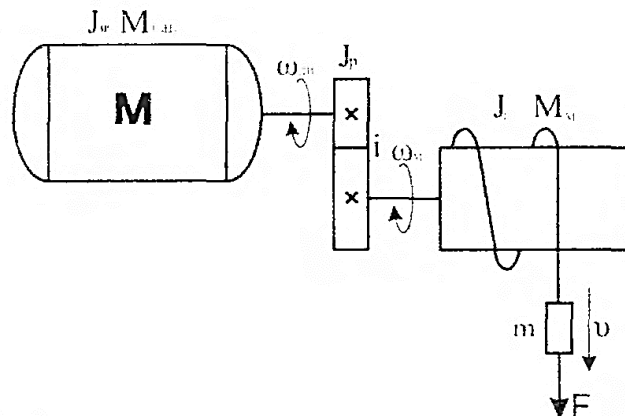


Рисунок 2.3. Кинематическая схема системы «электродвигатель-подъёмная лебедка»

Решение:

Момент инерции барабана относительно своей оси $J_{\text{бар}}$, кг · м², как для сплошного цилиндра:

$$J_{\text{бар}} = m_{\text{б}} \cdot p^2 = m_{\text{б}} \cdot \frac{R^2}{2}$$

где $m_{\text{б}}$ - масса барабана, кг;

p - радиус инерции сплошного цилиндра, м;

R - радиус барабана, м;

$$J_{\text{бар}} = 1400 \cdot \frac{1.25^2}{2} = 1093 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Скорость вращения $\omega_{\text{дв}}$, рад/с, вала машины

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot p \cdot v}{R}$$

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.22}{1.25} = 1.1 \text{ рад/с}$$

Момент инерции машины, приведённый к валу электродвигателя

$$J_{\text{м}} = J_{\text{с}} \frac{\omega_{\text{м}}^2}{\omega_{\text{дв}}^2} + m \frac{v^2}{\omega_{\text{дв}}^2}$$

$$J_{\text{м}} = 1093 \frac{1.1^2}{157^2} + 200 \frac{0.22^2}{157^2} = 0.0544 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции $J_{\text{р}}$, кг · м². Редуктора

$$J_{\text{р}} = 1.1 \cdot J_{\text{дв}}$$

$$J_{\text{р}} = 1.1 \cdot 0.08 = 0.088 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции $J_{\text{сис}}$ кг · м² системы

$$J_{\text{сис}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}}$$

$$J_{\text{сис}} = 0.08 + 0.088 + 0.0544 = 0.222 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Передаточное отношение редуктора

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_M} = \frac{157}{1,1} = 142$$

Усилие F , Н, необходимое для поднятия груза

$$F = 9.81 \cdot m_{гр} \cdot f_{тр}$$

$$F = 9.81 \cdot 200 \cdot 0,66 = 1295 \text{ Н}$$

где $m_{гр}$ - масса груза, кг;

$f_{тр}$ - коэффициент трения ($f_{тр} = 0,66$);

Вращающий момент механизма M_M Н · м, подъёма груза на своём валу

$$M_M = F \cdot R$$

$$M_M = 1295 \cdot 1.25 = 1619 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вращающий момент $M_{сн}$ Н · м, механизма подъёма груза, приведённый к валу электродвигателя

$$M_{сн} = \frac{M_M}{i \cdot \eta_{п}}$$

$$M_{сн} = \frac{1619}{142 \cdot 0.92} = 12.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где M_M - вращающий момент барабана относительно оси, проходящей через центр тяжести и проходящей параллельно длине барабана, Н · м;

i - передаточное отношение редуктора;

$\eta_{п}$ - к.п.д. редуктора/

Расчётная мощность $P_{рас}$ Вт, приводного электродвигателя механизма подъёма груза

$$P_{рас} = M_{сн} \cdot \omega_{дв} \text{ Вт}$$

$$P_{рас} = 12.4 \cdot 157 = 1947 \text{ Вт}$$

Задача 4.

Грузоподъёмная лебёдка, кинематическая схема которой представлена на рисунке 2.4 имеет грузоподъёмность: вес поднимаемого груза и крюка $G = 22600 \text{ Н}$.

Диаметр барабана $D_6 = 0,4 \text{ м}$; к.п.д. барабана $\eta_6 = 0,97$; к.п.д. редуктора

$z_{II} = 0,96$; скорость вращения электродвигателя $\omega_{дв} = 104,5$ рад/с; передаточное отношение редуктора $i = 25$; момент инерции электродвигателя $J_{дв} = 0,84$ кг·м²; момент инерции барабана на своём валу $J_{б} = 77,5$ кг·м²;

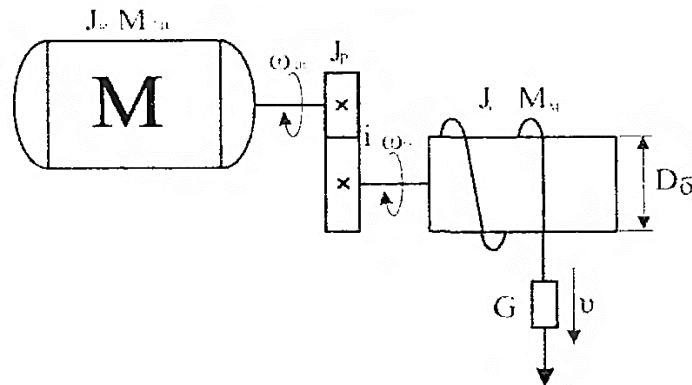


Рисунок 2.4. Кинематическая схема грузоподъемной лебедки

Определить:

- скорость подъёма груза;
- моменты на валах барабана и электродвигателя при подъёме и опускании груза;
- мощность на валу электродвигателя при подъёме груза;
- момент инерции системы «электродвигатель - механизм подъёма груза».

Решение:

Скорость вращения ω_M , рад/с, барабана

$$\omega_M = \frac{\omega_{дв}}{i}$$

$$\omega_M = \frac{104,5}{25} = 4,18 \text{ рад/с}$$

Скорость поступательного движения v , м/с, перемещения груза

$$v = \frac{\omega_M \cdot R}{2 \cdot \rho}$$

$$v = \frac{4,18 \cdot 0,4/2}{2 \cdot 3,14} = 0,133 \text{ м/с}$$

Вращающий момент на валу барабана M_M Н·м, при подъёме груза

$$M_M = \frac{G \cdot v}{\omega_M \cdot z_{б}}$$

$$M_M = \frac{22600 \cdot 0,133}{4,18 \cdot 0,97} = 741,33 \text{ Н·м}$$

Вращающий момент механизма подъёма груза $M_{\text{сн}}$ Н · м, приведённый к валу электродвигателя

$$M_{\text{сн}} = \frac{M_{\text{м}}}{i \cdot \eta_{\text{п}}}$$

$$M_{\text{сн}} = \frac{741.33}{25 \cdot 0.96} = 19.94 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вращающий тормозной момент на валу барабана $M_{\text{тм}}$ Н · м, при спуске груза

$$M_{\text{тм}} = M_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п}}^2$$

$$M_{\text{тм}} = 741,33 \cdot 0,96^2 = 711.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вращающий тормозной момент механизма опускания груза $M_{\text{т}}$ Н · м, приведённый к валу электродвигателя

$$M_{\text{т}} = \frac{M_{\text{тм}}}{i} \eta_{\text{п}}^2$$

$$M_{\text{т}} = \frac{711.7}{25} 0,96^2 = 26.23 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Мощность на валу электродвигателя $P_{\text{рас}}$ Вт, при подъёме груза

$$P_{\text{рас}} = M_{\text{сн}} \cdot \omega_{\text{дв}}$$

$$P_{\text{рас}} = 19.94 \cdot 104.5 = 2083.7 \text{ Вт}$$

Момент инерции системы $J_{\text{сис}}$ кг · м², «электродвигатель - механизм подъёма груза

$$J_{\text{сис}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + \frac{J_{\text{б}}}{i^2}$$

$$J_{\text{сис}} = 0.84 + 1.1 + \frac{77.5}{25^2} = 1.888 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

2.1.2 Контрольные задания

Задача 1.

Имеется электропривод (рисунок 2.5), содержащий электродвигатель (ЭД), редуктор (РД) и рабочий орган (РО). На вал рабочего органа действует статический реактивный момент (M_{po}). Редуктор имеет передаточное отношение q и к.п.д. η .

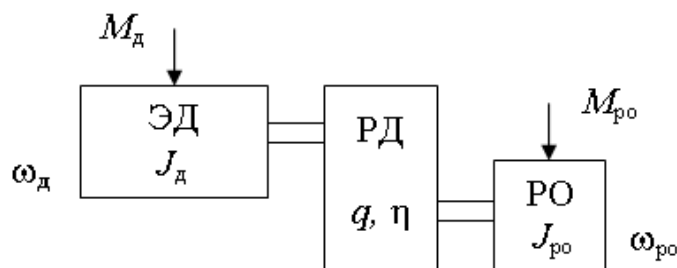


Рисунок 2.5. Кинематическая схема электропривода.

Определить: с какой скоростью (ω_d) должен вращаться электродвигатель и какой при этом он должен развивать момент (M_d) и мощность (P), чтобы вращать рабочий орган со скоростью ω_{po} .

Исходные данные представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Вариант	M_{po} , Н·м	ω_{po} , рад/с	q	η
1	2	3	4	5
1	1,0	40	10	0,9
2	1,2	38	12	0,9
3	1,4	36	14	0,9
4	1,6	34	16	0,9
5	1,8	32	18	0,9
6	2,0	30	20	0,8
7	2,2	28	22	0,8
8	2,4	26	24	0,8
9	2,6	24	26	0,8
10	2,8	22	28	0,8
11	3,0	20	30	0,7
12	3,2	18	32	0,7
13	3,4	16	24	0,7
14	3,6	14	36	0,7
15	3,8	12	38	0,7
16	3,8	10	40	0,6
17	4,0	8	42	0,6
18	4,0	6	44	0,6

Задача 3.

Имеется электропривод (рис. 2.6), содержащий электродвигатель (ЭД) и редуктор (РД) с передаточным коэффициентом q и к.п.д. η . На выходном валу редуктора укреплен барабан (Б) диаметром D_6 , на который намотан трос. К тросу подвешен груз массой m .

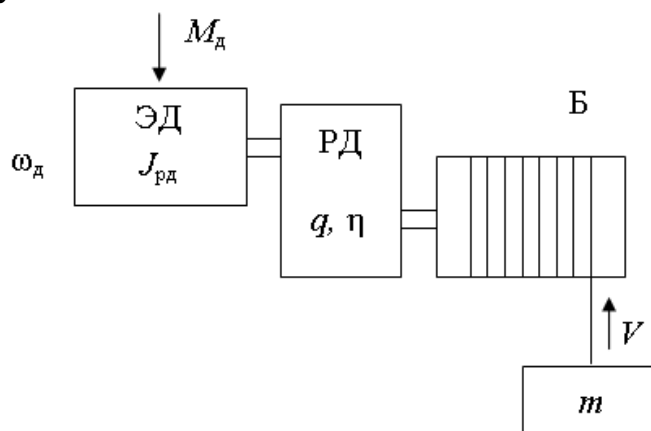


Рисунок 2.6. Кинематическая схема электропривода

Определить: с какой скоростью (ω_d) должен вращаться электродвигатель и какой момент (M_d) и мощность при этом он должен развивать, чтобы равномерно поднимать груз со скоростью V .

Исходные данные представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Вариант	q	η	D_6 , м	V , м/с	m , кг
1	10	0,9	0,10	12,0	10
2	12	0,9	0,12	11,5	10
3	14	0,9	0,14	11,0	10
4	16	0,9	0,16	10,5	10
5	18	0,9	0,18	10,0	10
6	20	0,8	0,20	9,5	20
7	22	0,8	0,22	9,0	20
8	24	0,8	0,24	8,5	20
9	26	0,8	0,26	8,0	20
10	28	0,8	0,28	7,5	20
11	30	0,7	0,30	7,0	30
12	32	0,7	0,32	6,5	30
13	24	0,7	0,34	6,0	30
14	36	0,7	0,36	5,5	30
15	38	0,7	0,38	5,0	30
16	40	0,6	0,40	4,5	35
17	42	0,6	0,42	4,0	35
18	44	0,6	0,44	3,5	35

Задача 4.

Имеется электропривод (рисунок 2.7), содержащий электродвигатель (ЭД) с моментом инерции ротора $J_{р\text{д}}$, редуктор (РД), имеющий передаточное отношение q и к.п.д. η , и рабочий орган (РО). Момент инерции вращающихся частей рабочего органа $J_{р\text{о}}$. На вал рабочего органа действует статический реактивный момент ($M_{р\text{о}}$).

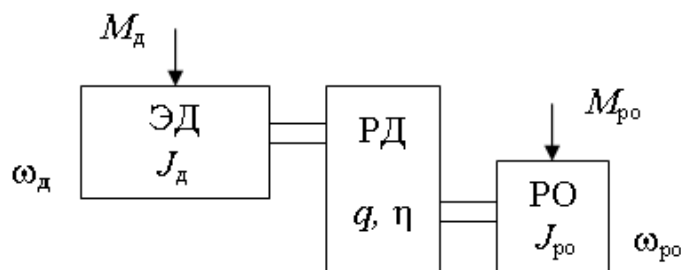


Рисунок 2.7. Кинематическая схема электропривода

Определить: какой потребуется момент двигателя для разгона рабочего органа до скорости $\omega_{р\text{о}}$ за время t_0 с постоянным ускорением, и какую максимальную мощность при этом должен развить двигатель.

Исходные данные в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Вариант	$M_{р\text{о}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\omega_{р\text{о}}, \text{рад/с}$	q	η	$J_{р\text{д}}, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$J_{р\text{о}}, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$t_0, \text{с}$
1	1,0	40	10	0,9	0,001	0,1	0,5
2	1,2	38	12	0,9	0,001	0,1	0,5
3	1,4	36	14	0,9	0,002	0,2	0,6
4	1,6	34	16	0,9	0,002	0,2	0,6
5	1,8	32	18	0,9	0,003	0,3	0,7
6	2,0	30	20	0,8	0,003	0,3	0,7
7	2,2	28	22	0,8	0,004	0,4	0,8
8	2,4	26	24	0,8	0,004	0,4	0,8
9	2,6	24	26	0,8	0,005	0,5	0,9
10	2,8	22	28	0,8	0,005	0,5	0,9
11	3,0	20	30	0,7	0,006	0,6	1,0
12	3,2	18	32	0,7	0,006	0,6	1,0
13	3,4	16	24	0,7	0,007	0,7	1,1
14	3,6	14	36	0,7	0,007	0,7	1,1
15	3,8	12	38	0,7	0,008	0,8	1,2
16	3,8	10	40	0,6	0,008	0,8	1,2
17	4,0	8	42	0,6	0,006	0,6	1,0
18	4,0	6	44	0,6	0,006	0,6	1,0

Задача 5.

Имеется электропривод (рисунок 2.8), содержащий электродвигатель (ЭД) с моментом инерции ротора $J_{р\text{д}}$ и редуктор (РД) с передаточным коэффициентом q и к.п.д. η . На выходном валу редуктора укреплен барабан (Б) диаметром $D_б$ и моментом инерции $J_{р\text{о}}$, на который намотан трос. К тросу подвешен груз массой m .

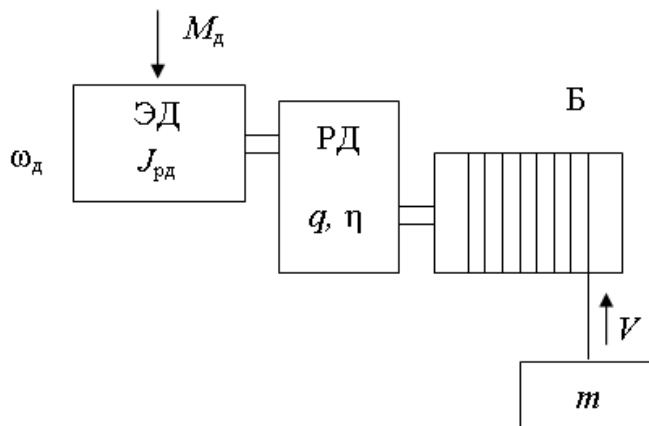


Рисунок 2.8. Кинематическая схема электропривода

Определить: какой потребуется момент двигателя для того, чтобы поднять груз, равномерно увеличивая скорость подъема, за время t_0 на высоту h .

Исходные данные в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Вариант	q	η	$D_б, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$J_{р\text{д}}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$J_{р\text{о}}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$t_0, \text{ с}$	$h, \text{ м}$
1	10	0,9	0,10	10	0,001	0,1	0,5	0,5
2	12	0,9	0,12	10	0,001	0,1	0,5	0,5
3	14	0,9	0,14	10	0,002	0,2	0,6	0,6
4	16	0,9	0,16	10	0,002	0,2	0,6	0,6
5	18	0,9	0,18	10	0,003	0,3	0,7	0,7
6	20	0,8	0,20	20	0,003	0,3	0,7	0,7
7	22	0,8	0,22	20	0,004	0,4	0,8	0,8
8	24	0,8	0,24	20	0,004	0,4	0,8	0,8
9	26	0,8	0,26	20	0,005	0,5	0,9	0,9
10	28	0,8	0,28	20	0,005	0,5	0,9	0,9
11	30	0,7	0,30	30	0,006	0,6	1,0	1,0
12	32	0,7	0,32	30	0,006	0,6	1,0	1,0
13	24	0,7	0,34	30	0,007	0,7	1,1	1,1
14	36	0,7	0,36	30	0,007	0,7	1,1	1,1
15	38	0,7	0,38	30	0,008	0,8	1,2	1,2
16	40	0,6	0,40	35	0,008	0,8	1,2	1,2
17	42	0,6	0,42	35	0,006	0,6	1,0	1,4
18	44	0,6	0,44	35	0,006	0,6	1,0	1,4

2.2 Выбор электродвигателя по мощности

2.2.1 Примеры решения задач

Задача 1.

Насос типа ЯНЗ-3/25 с номинальной производительностью $Q_n = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ и частотой вращения $n_n = 1450 \text{ об/мин}$ устанавливается на магистрали, где он будет работать с расчетной производительностью $Q = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$ и расчетным напором $H = 18,5 \text{ м}$. Удельный вес жидкости $g = 1,3 \text{ кгс/дм}^3$. По каталожным данным при $Q = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$ КПД насоса $h_n = 0,15$. Определить мощность на валу двигателя.

Решение :

Определим расчетную производительность Q ($\text{дм}^3/\text{ч}$),

$$Q = 6 * 1000 / 3600 = 1,67 \text{ (дм}^3/\text{ч)}$$

Мощность насоса P_c найдём с помощью приведённой формулы, учитывая, что промежуточные передачи отсутствуют ($h_n = 1$)

$$P_c = 1,3 * 1,67 * 18,5 / (102 * 0,15) = 2,6 \text{ кВт.}$$

По каталожным данным двигателей единой серии находим, что следует выбрать двигатель типа 4А100S4У3; $P_n = 3 \text{ кВт}$; $n_n = 1420 \text{ мин}^{-1}$, так как его мощность близка к требуемой P_c и выполняется условие $P_n > P_c$.

Задача 2.

Асинхронный электродвигатель рассчитан для работы в повторно-кратковременном режиме с ПВ=25% при мощности $P_{н25}=10 \text{ кВт}$. Определить мощность, которую электродвигатель может развить, не перегреваясь сверх нормы, при относительной продолжительности включения ПВ=60%.

Решение:

$$P_{60} = P_{н25} \sqrt{\frac{ПВ_{25}}{ПВ_{60}}} = 10 \sqrt{\frac{25}{60}} = 6,4 \text{ кВт,}$$

т.е. при ПВ=60% мощность электродвигателя составляет 6,4 кВт.

Задача 3.

Нагрузочная диаграмма механизма задана повторяющимся циклом в соответствии с рисунком 2.9. Для привода механизма выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с синхронной частотой 1500 мин⁻¹. Выбор провести методом эквивалентной мощности, проверить выбранный электродвигатель методом средних потерь. Выполнить проверку на перегрузочную способность.

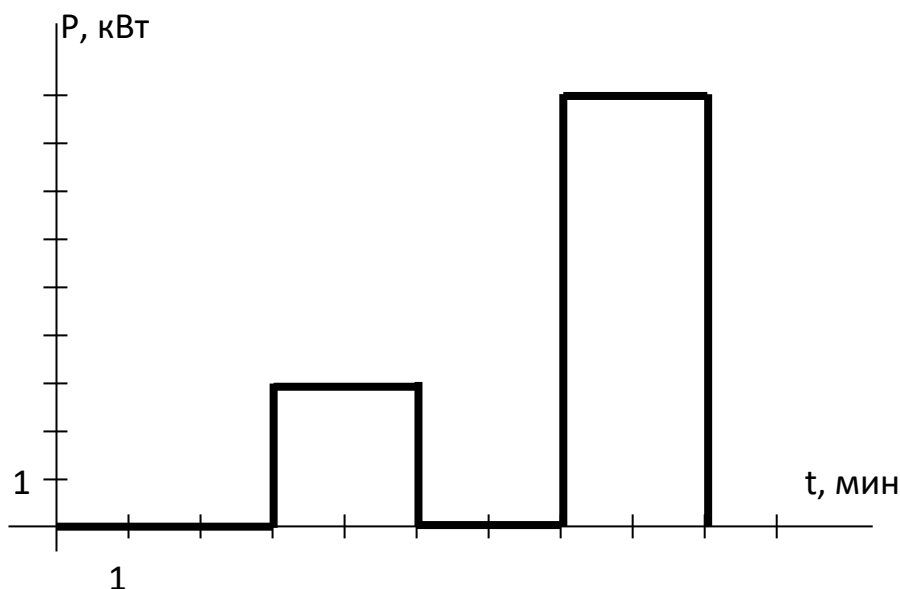


Рисунок 2.9. Нагрузочная диаграмма электропривода

Решение:

Т. к. в дальнейшем диаграмма повторяется, расчеты будем проводить на одном ее цикле, изображенном на рисунке 3.

Используя метод эквивалентной мощности, проведем расчет необходимой мощности привода. Режим работы привода – S3 – повторно-кратковременный с продолжительностью включения

$$ПВ\% = \frac{t_p}{t_u} 100\%$$

$$ПВ\% = (4/9) \cdot 100\% = 44\%$$

где $t_p = 2+2 = 4$ мин – время работы двигателя за цикл нагрузочной диаграммы,

$t_u = 3+2+2+2 = 9$ мин – длительность цикла.

Эквивалентная мощность нагрузки

$$P_y = \sqrt{\frac{\sum P_i t_i}{\sum t_i}}$$

$$P_y = \sqrt{(0^2 \cdot 3 + 9^2 \cdot 2 + 0^2 \cdot 2 + 3^2 \cdot 2) / (3 + 2 + 2 + 2)} = 4,5 \text{ кВт}$$

Для привода механизма будем использовать двигатель, предназначенный заводом изготовителем для длительного режима работы. Поэтому его стандартной $ПВ_{ст}\%$ считаем 100%. Мощность выбираемого двигателя должна удовлетворять условию

$$P_n \geq P_3 \sqrt{\frac{ПВ\%}{ПВ_{ст}\%}}$$

$$P_n \geq 4,5 \cdot \sqrt{44/100} = 2,9 \text{ кВт.}$$

Выбираем двигатель 4А100S4У3 (приложение 1)

С параметрами –

Номинальная мощность $P_n = 3 \text{ кВт}$,

Номинальное скольжение $s_n = 5,3 \%$,

Коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,82$,

Номинальный КПД $\eta_n = 83 \%$,

Кратность пускового момента $\mu_n = 2$,

Кратность критического момента $\mu_k = 2,2$,

Кратность минимального момента $\mu_{\min} = 1,6$,

Кратность пускового тока $K_i = 6,5$.

Проверим выбранный двигатель на перегрузочную способность. Максимальная мощность по нагрузочной диаграмме $P_{i.\max} = 9 \text{ кВт}$.

Проверим выполнение условия перегрузочной способности

$$\frac{M_{i.\max}}{M_n} < \mu_k - 0,25$$

Т.к. скорость вращения при работе асинхронного двигателя меняется незначительно, отношение моментов можно заменить отношением мощностей. Тогда условие переписывается в виде

$$\frac{P_{i.\max}}{P_n} < \mu_k - 0,25$$

$$9/3 = 3 > 2,2 - 0,25 = 1,95$$

Для двигателя 4А100L4У3 мощностью 4 кВт условие перегрузочной способности

$$9/4 = 2,25 > 2,2 - 0,25 = 1,95$$

Условие также не выполняется.

Выбираем двигатель– 4А112М4У3

С параметрами –

Номинальная мощность $P_n = 5,5 \text{ кВт}$,

Номинальное скольжение $s_n = 5 \%$,

Коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,86$,

Номинальный КПД $\eta_n = 85,5 \%$,

Кратность пускового момента $\mu_{\text{п}} = 2$,
 Кратность критического момента $\mu_{\text{к}} = 2,2$,
 Кратность минимального момента $\mu_{\text{min}} = 1,6$,
 Кратность пускового тока $K_i = 7$.
 Для которого условие перегрузочной способности

$$9/5,5 = 1,64 < 2,2 - 0,25 = 1,95$$

выполняется.

Методы эквивалентных величин не точно учитывают постоянные потери в двигателе, поэтому проверим двигатель по нагреву более точным методом средних потерь. Для этого найдем номинальные потери двигателя по формуле

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}},$$

$$\Delta P_{\text{н}} = 5500 \cdot (1 - 0,855) / 0,855 = 1127 \text{ Вт.}$$

Для асинхронных двигателей базового закрытого исполнения отношение постоянных и переменных потерь

$$\frac{\Delta P_{\text{с}}}{\Delta P_{\text{в.н}}} \approx 0,5,$$

поэтому треть номинальных потерь составляют постоянные потери, а две трети – переменные потери.

$$\Delta P_{\text{с}} = \Delta P_{\text{н}} / 3 = 1127 / 3 = 376 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_{\text{в.н}} = 2 \cdot \Delta P_{\text{н}} / 3 = 2 \cdot 1127 / 3 = 751 \text{ Вт.}$$

По формуле

$$\Delta P_i = \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{в.н}} \left(\frac{P_i}{P_{\text{н}}} \right)^2$$

найдем потери на каждом участке нагрузочной диаграммы

$$\Delta P_1 = 0 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_2 = 376 + 751 \cdot (9/5,5)^2 = 2387 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_3 = 0 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_4 = 376 + 751 \cdot (2/5,5)^2 = 475 \text{ Вт.}$$

Средние потери за цикл

$$\Delta P_{cp} = \frac{\sum \Delta P_i t_i}{\sum t_i},$$

$$\Delta P_{cp} = (2387 + 475) / (3 + 2 + 2 + 2) = 318 \text{ Вт}$$

Тепловой режим двигателя не будет нарушен, если средние потери не превысят номинальных потерь двигателя, т.е.

$$\Delta P_{cp} = 318 \text{ Вт} < \Delta P_n = 1127 \text{ Вт.}$$

Условие выполняется, поэтому тепловой режим работы двигателя не будет нарушен.

Задача 4.

Выбрать приводной асинхронный электродвигатель с синхронной частотой 1500 мин^{-1} для механизма работающего в кратковременном режиме. Время работы 6 мин, нагрузка на валу двигателя 3 кВт.

Решение:

В кратковременном режиме температура двигателя не успевает достигнуть установившихся значений, поэтому для привода можно использовать двигатель номинальной мощностью меньше, чем мощность на валу на участке работы.

Предварительно выбираем двигатель 4А80В4У3

С параметрами

Номинальная мощность $P_n = 1,5 \text{ кВт}$,

Номинальное скольжение $s_n = 6,7 \%$,

Коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,83$,

Номинальный КПД $\eta_n = 77 \%$,

Кратность пускового момента $\mu_n = 2$,

Кратность критического момента $\mu_k = 2,2$,

Кратность минимального момента $\mu_{min} = 1,6$,

Кратность пускового тока $K_i = 5$.

Постоянную времени нагрева в минутах можно найти по эмпирической формуле

$$T_{нагр} = 6 \frac{m \cdot \theta_n \cdot \eta_n}{P_n (1 - \eta_n)}$$

$$T_{нагр} = 6 \frac{21,3 \cdot 80 \cdot 0,77}{1500(1 - 0,77)} = 10,9 \text{ мин.}$$

где m - масса электродвигателя, кг;

θ_i - нормированное превышение температуры двигателя при номинальной нагрузке при измерении методом сопротивления, град;

η_n - номинальный КПД двигателя;

P_n - номинальная мощность двигателя, Вт.

Выбранный электродвигатель должен удовлетворять условию

$$P_n \geq P_{\Sigma} \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_p}{T_n}}}{1 - e^{-\frac{t_{p,ст.}}{T_n}}}}$$

где P_{Σ} – эквивалентная мощность нагрузки на рабочем участке.

$t_{p,ст.}$ - стандартное время работы двигателя.

Если условие выполняется со значительным запасом, это говорит о завышенной мощности двигателя.

Выбираемый двигатель предназначен заводом изготовителем для режима S1, поэтому его стандартное время работы $t_{p,ст.} = \infty$ и условие запишется в виде

$$P_n \geq P_{\Sigma} \sqrt{1 - e^{-\frac{t_p}{T_n}}}$$

$$1,5 \leq 3 \sqrt{1 - e^{-\frac{6}{10,9}}} = 1,99$$

Условие не выполняется, значит тепловой режим электродвигателя будет нарушен.

Выбираем двигатель на одну ступень большей мощности

Предварительно выбираем двигатель 4A90L4У3

С параметрами –

Номинальная мощность $P_n = 2,2$ кВт ,

Номинальное скольжение $s_n = 5,4$ % ,

Коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,83$,

Номинальный КПД $\eta_n = 80$ % ,

Кратность пускового момента $\mu_n = 2$,

Кратность критического момента $\mu_k = 2,2$,

Кратность минимального момента $\mu_{min} = 1,6$,

Кратность пускового тока $K_i = 6$.

Для него условие по нагреву

$$T_{нагр} = 6 \frac{30 \cdot 80 \cdot 0,8}{2200(1 - 0,8)} = 10,9 \text{ мин.}$$

$$2,2 \geq 3\sqrt{1 - e^{-\frac{6}{10,9}}} = 1,99$$

выполняется.

Проверим выбранный двигатель на перегрузочную способность. Максимальная мощность во время работы $P_{max} = 3$ кВт.

Условие перегрузочной способности

$$\frac{M_{i.max}}{M_n} < \mu_k - 0,25$$

Т.к. скорость вращения при работе асинхронного двигателя меняется незначительно, отношение моментов можно заменить отношением мощностей. Тогда условие переписывается в виде

$$\frac{P_{i.max}}{P_n} < \mu_k - 0,25$$

$$3/2,2 = 1,37 \leq 2,2 - 0,25 = 1,95$$

Условие выполняется, двигатель выбран правильно.

2.2.2 Контрольные задания

Задача 1.

Для вариантов задачи данные содержатся в таблице 2.5, где указаны мощность и время участков нагрузочной диаграммы. Необходимо выбрать асинхронный двигатель с синхронной частотой вращения $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, если $T_{окр} = 25^{\circ}$. Задачу решить методом эквивалентной мощности, проверку выбранного двигателя провести методом средних потерь и осуществить проверку двигателя на перегрузочную способность

Таблица 2.5

Ва- риант	P ₁ , кВт	P ₂ , кВт	P ₃ , кВт	P ₄ , кВт	P ₅ , кВт	P ₆ , кВт	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с	t ₄ , с	t ₅ , с	t ₆ , с
1.	2,5	5,8	6,3	6,1	8,9	6,7	14	21	17	23	27	18
2.	13,1	4,7	10,4	11,5	1,7	9,1	30	12	26	28	22	27
3.	3,5	5,5	6,5	7,0	9,0	5,1	12	24	15	24	25	21
4.	12	4,0	9,0	12,1	2,4	8,5	24	16	19	25	21	30
5.	10,1	4,5	9,2	13,2	3,7	3,5	15	22	16	22	29	17
6.	8,5	3,5	4,6	12,1	4,5	4,8	19	31	19	16	22	29
7.	12,4	16,1	13	11,2	5,1	10,4	16	13	12	15	17	11
8.	13	15,5	8	15,3	6,1	11	20	8	10	12	16	15
9.	12,6	15,9	10	12,5	7,1	10,5	19	10	5	15	10	12
10.	13,5	15,2	10	6	9	4,7	15	8	10	21	16	23
11.	10	10,2	23	7,8	14	11,6	10	14	6	10	15	19
12.	14	21	7,5	19,5	23	20,4	10	15	16	19	17	15
13.	12	23	7	20	21	24,4	16	12	22	8	10	7
14.	10	9,7	19	17	21	18,5	15	21	12	10	9	17
15.	3,8	4,7	5,9	11,3	8,5	7,5	15	21	10	12	5	21
16.	4,8	5,2	6,7	12,5	9,5	2,4	16	10	7	4	25	21
17.	5,3	4,9	4,8	12	5,2	6,1	13	22	16	10	14	17
18.	4	4	10	9,5	11	6,5	20	15	16	10	11	9
19.	5,1	6,3	10,5	12,5	9,8	12,1	15	17	13	7	12	11
20.	10,1	13,1	5,5	6,2	13,5	10	13	10	21	15	8	12
21.	9,5	8,6	12,2	10	15	7,8	12	10	15	13	19	21
22.	10	9,5	16,5	4,5	6,7	9,5	15	10	12,5	22	13	14
23.	11,5	10,1	20	3,5	9,9	6,5	15	16	8	25	10	15
24.	11	15	13,5	19	11	8	15	12	10	6	10	21
25.	6,5	12	14	21	9	10	16	18	15	8	10	10
26.	7,5	8	20	16,5	13	14	15	14	8	10	13	14
27.	9,5	16	13	18	10	9	14	10	12	10	21	20
28.	10,1	13	14,5	20	9	11	18	13	16	7	12	15
29.	12,3	15,5	21	20,5	9,5	13	10	15	13	21	8	10
30.	8,6	8,6	19	18	12	12,5	20	10	5	13	9	25
31.	7,3	13,5	19,5	16	11,5	14	16	12	10	19	9	8
32.	9,6	14	18	17	12,6	13	25	10	16	15	9	26
33.	10,5	12,1	14	17,5	12,5	9	10	13	10	14	24	19
34.	14	15,2	16	18,5	13	8,5	17	11	5	9	25	18
35.	13	14	17	20,5	13,1	9	12	25	10	18	17	13
36.	8	8,7	18,5	21	10,5	10	26	9	7	10	19	16
37.	7	9	19	17,5	11	12	15	17	8	10	22	16
38.	3,8	9,5	20	16	11,5	13	18	20	17	15	12	6
39.	6,5	9,9	20,5	17	12	12,5	16	25	17	9	12	14
40.	12,5	10,2	19,5	18	13	14	15	21	17	16	11	12

Задача 2.

Для вариантов задачи в таблице 2.6 приведены значения моментов M_1 , M_2 , M_3 на валу двигателя для соответствующих участков графика нагрузки, время работы t_1 , t_2 , t_3 двигателя с заданными моментами нагрузки, время паузы t_0 , частота вращения двигателя.

Определить для заданного варианта расчетную мощность двигателя и выбрать по каталогу асинхронный двигатель, предназначенный для привода механизма с циклическим графиком нагрузки в повторно-кратковременном режиме работы. Провести проверку двигателя по перегрузочной способности.

Таблица 2.6

Вариант	$M_1, \text{Н м.}$	$M_2, \text{Н м.}$	$M_3, \text{Н м.}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_0, \text{с}$	$n_{2\text{ном}}, \text{мин}^{-1}$
1.	80	40	60	10	5	20	25	1410
2.	120	100	95	10	10	15	55	930
3.	50	20	30	10	15	10	55	915
4.	150	125	145	10	20	10	60	930
5.	150	130	160	10	25	20	35	1415
6.	40	30	10	5	15	20	50	930
7.	40	25	20	5	15	15	55	1420
8.	30	15	25	5	20	10	55	950
9.	20	15	10	5	10	5	60	935
10.	180	140	150	5	15	15	25	1440
11.	30	20	10	15	10	20	55	1440
12.	30	40	60	15	5	15	55	1400
13.	30	45	20	15	10	10	55	1410
14.	30	50	30	15	15	10	50	940
15.	200	180	170	15	20	5	60	930
16.	220	230	215	10	15	10	25	940
17.	20	15	25	10	10	15	55	930
18.	20	45	40	10	5	10	75	950
19.	25	20	15	10	15	15	60	950
20.	20	25	15	10	10	5	20	1440
21.	25	50	40	15	15	20	55	1400
22.	25	20	10	15	15	2	25	950
23.	20	35	10	15	15	10	30	920
24.	25	40	10	15	15	15	55	930
25.	25	15	10	15	10	20	55	950
26.	245	230	240	5	10	10	40	940
27.	60	50	55	5	15	25	10	1410
28.	45	10	20	5	20	10	50	950
29.	45	15	10	5	10	10	75	950
30.	40	20	10	5	20	5	20	1440
31.	100	50	60	15	10	15	20	1410
32.	110	90	100	15	10	15	50	930
33.	55	25	30	10	20	15	55	915
34.	140	105	130	10	15	15	55	930
35.	160	120	100	5	10	10	30	1440
36.	25	35	55	15	10	10	55	1400
37.	20	15	20	10	15	20	40	930
38.	20	45	40	5	10	10	65	950
39.	15	35	30	10	15	20	45	950
40.	145	100	90	5	10	15	30	1440
41.	20	15	10	15	10	5	40	1440

Продолжение таблицы 2.6

Вариант	$M_1, \text{Н м.}$	$M_2, \text{Н м.}$	$M_3, \text{Н м.}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_0, \text{с}$	$n_{2\text{ном}}, \text{мин}^{-1}$
42.	130	105	140	5	15	5	40	930
43.	30	25	10	15	10	20	50	1410
44.	50	40	30	5	15	10	45	1410
45.	40	25	35	5	20	10	50	950
46.	190	180	150	10	15	5	60	930
47.	200	215	205	10	5	15	25	940
48.	210	205	195	5	15	10	35	950
49.	25	20	10	10	15	15	50	950
50.	20	25	15	10	10	10	35	1440
51.	20	15	10	15	10	15	40	1400
52.	15	30	10	10	15	5	40	950
53.	25	40	10	15	10	25	45	950
54.	20	35	40	10	15	15	40	920
55.	20	10	15	15	10	25	45	950
56.	230	215	210	5	10	5	40	940
57.	55	40	50	5	10	20	30	1410
58.	40	15	25	5	15	25	50	950
59.	40	20	10	5	15	10	60	950
60.	35	20	15	10	15	5	35	1440

2.2.3 Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.

Найти мощность привода скребкового транспортера длиной 10 м, с расстоянием между скребками 0,5 м и КПД передачи 0,93. Объем материала перед скребком $0,025 \text{ м}^3$; насыпная плотность 450 кг/м^3 ; скорость движения $0,4 \text{ м/с}$; коэффициент сопротивления движению 2. Выбрать электродвигатель и автоматический выключатель для защиты электродвигателя.

Задача 2.

Рассчитать мощность привода, работающего в режиме 47Нм (10мин), 65Нм (5 мин) и 23Нм (12 мин) при частоте вращения 140 с^{-1} . Выбрать электродвигатель, кабель для подключения и способ его монтажа.

Задача 3.

Рассчитать мощность привода вентилятора с расчетным воздухообменом $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$, давлением 340 Па, КПД вентилятора 0,55 и КПД передачи - 0,95. Изобразить силовую часть схемы 3-х ступенчатого регулирования производительности вентилятора.

Задача 4.

Определить мощность и выбрать электродвигатель привода молочного насоса с номинальной производительностью по молоку $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Известно, что КПД насоса в длительном режиме работы равен 0,7.

Задача 5.

Выбрать электродвигатель для привода пресса, если удельные затраты энергии на прессование $A=7,5\text{кВт}\cdot\text{ч/кг}$, КПД пресса - 0,9 и КПД ременной передачи - 0,95. Выбрать магнитный пускатель для дистанционного управления электродвигателем привода пресса.

Задача 6.

Рассчитать мощность электродвигателя привода подъёмника для подъема груза массой 1 т с помощью крюка массой 50 кг и скорости подъема груза 10 м/мин. КПД передачи равен 0,85, режим работы $t_p=20$ с, $t_{\text{паузы}}=45$ с. Определить сечение, тип и способ прокладки кабеля к электродвигателю.

Задача 7.

Определить мощность привода нории, если коэффициент заполнения ковшей - 0,8; насыпная плотность материала - 650 кг/м^3 ; скорость движения ковшей - 2 м/с; вместимость ковша - $0,01\text{ м}^3$; расстояние между ковшами - 0,5 м; высота нории - 15 м; КПД передачи - 0,83.

Задача 8.

Выбрать 4-х полюсный электродвигатель для привода поршневого компрессора производительностью $1\text{ м}^3/\text{мин}$ и давлением 1 атм.

Задача 9.

Рассчитать мощность привода мобильного транспортного средства при тяговом сопротивлении плуга 800 Н, сопротивлении от волочения троса по почве 95Н, скорости движения 4м/с, КПД передачи 0,89 и КПД транспортного средства 0,8. Выбрать электродвигатель серии 4А и разработать схему реверсивного управления с двух мест электропривода мобильного транспортного средства с кабельным питанием от сети 380/220 В.

Задача 10.

Рассчитать мощность и выбрать электродвигатель для привода молочного насоса с подачей $60\text{ м}^3/\text{ч}$, глубиной вакуума $5,3\cdot 10^4$ Па, если КПД насоса - 0,6 и КПД передачи - 0,94.

Задача 11.

Определить значения потребной мощности вентилятора Ц4-70 № 7 при производительности $Q=5000\text{ м}^3/\text{ч}$, полном давлении $H=1275$ Па, частоте вращения $n=1456$ об/мин, КПД вентилятора 0,78 и КПД передачи 1. Выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, принимая коэффициент $K_{\text{зап}}=1,1$.

Задача 12.

Рассчитать мощность и подобрать электродвигатель шнека длиной 5 м линии загрузки комбикормов производительностью 10 кг/с , высотой подъема

4м с коэффициентом сопротивления - 2,4 и общим КПД 0,8, если ПВ=60%. Выбрать кабель для подключения шкафа управления электродвигателем шнека к распределительному шкафу.

Задача 13.

Рассчитать мощность привода скребкового транспортера длиной 18 м с расстоянием между скребками 0,5 м и КПД передачи 0,93. Материал объемом перед скребком $0,025 \text{ м}^3$ с насыпной плотностью 450 кг/м^3 движется со скоростью 0,4 м/с и коэффициентом сопротивления 2.

Задача 14.

Выбрать погружной насос, если статический уровень воды в скважине 70 м, динамический - 90 м, геодезический напор равен 85 м и потери напора в напорном трубопроводе равны 11 м.

Задача 15.

Рассчитать мощность привода шнека производительностью 15 т/ч, с коэффициентом сопротивления перемещению 1,85 при проекциях транспортера-горизонтальная 10 м, вертикальная 5 м и общем КПД 0,75.

Задача 16.

Рассчитать мощность привода при моментах сопротивлений – 47, 65 и 23 Нм, действующих соответственно в течение 10, 5 и 12 мин, и частоте вращения вала машины - 140 с^{-1} .

Задача 17.

Рассчитать мощность, необходимую на привод вентилятора, если требуемый воздухообмен составляет $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$; расчетное давление 340 Па; КПД вентилятора - 0,55; КПД передачи - 0,95. Изобразить схему 3-х ступенчатого управления электроприводом вентилятора.

Задача 18.

Рассчитать мощность электродвигателя привода подъёмника для подъема груза массой 1 т с помощью крюка массой 50 кг и скорости подъема груза 10 м/мин. КПД передачи равен 0,8, режим работы $t_p=30 \text{ с}$, $t_{\text{паузы}}=40 \text{ с}$. Определить сечение, тип и способ прокладки кабеля к электродвигателю.

Задача 19.

Найти мощность привода скребкового транспортера длиной 10 м, с расстоянием между скребками 0,5 м и КПД передачи 0,93. Объем материала перед скребком $0,025 \text{ м}^3$; насыпная плотность 450 кг/м^3 ; скорость движения 0,4 м/с; коэффициент сопротивления движению 2. Выбрать электродвигатель и автоматический выключатель для защиты электродвигателя.

Задача 20.

Определить мощность и выбрать электродвигатель привода молочного насоса с номинальной производительностью по молоку $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $2 \cdot 10^5$ Па. Известно, что КПД насоса в длительном режиме работы равен 0,7.

Задача 21.

Рассчитать мощность, необходимую на привод вентилятора, если требуемый воздухообмен составляет $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$; расчетное давление 340 Па; КПД вентилятора - 0,55; КПД передачи - 0,95.

2.3 Проверка возможности пуска и устойчивости работы электродвигателей

2.3.1 Примеры решения задач

Задача 1. Проверить двигатель на возможность пуска с номинальной нагрузкой на валу при питании от трансформатора ТМ – 63/10 с номинальной мощностью $S_{\text{н}}=63$ кВА, номинальным выходным фазным напряжением $U_{2\text{н}}=220\text{В}$, напряжением короткого замыкания $u_{\text{к}}=8,5\%$ через линию электропередач длиной 200 м, выполненную проводом АС – 16 с погонным сопротивлением $r_{\text{л}}=2,2$ Ом/км.

Характеристики электродвигателя:

Тип – 4А112М4У3

Номинальная мощность $P_{\text{н}} = 5,5$ кВт ,

Номинальное скольжение $s_{\text{н}} = 5$ % ,

Коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,86$,

Номинальный КПД $\eta_{\text{н}} = 85,5$ % ,

Кратность пускового момента $\mu_{\text{п}} = 2$,

Кратность критического момента $\mu_{\text{к}} = 2,2$,

Кратность минимального момента $\mu_{\text{мин}} = 1,6$,

Кратность пускового тока $K_{\text{i}} = 7$.

Решение:

Для проверки двигателя на возможность пуска найдем максимально допустимое падение напряжения при пуске двигателя

$$\Delta U = 1 - \sqrt{\frac{M_{\text{изб}}^0 + M_{\text{тр}}^0}{\mu_{\text{п}}}}$$

где $M_{\text{изб}}^0$ – относительный (к номинальному) избыточный момент, идущий на разгон электропривода. Обычно принимают $M_{\text{изб}}^0 = 0,25$.

$M_{\text{тр}}^0$ – относительный момент трогания – момент сопротивления на валу двигателя при пуске.

$M_{тр}^0 = 1$, т.к. запуск проводится с номинальной нагрузкой.

Выбранный двигатель имеет провал в механической характеристике и если момент сопротивления на валу при пуске будет больше минимального и меньше пускового, разгон прекратится на частоте около 20% от синхронной. Поэтому при пуске необходимо, чтобы момент на валу не превышал минимальный, а в формуле 30 использовать кратность минимального момента μ_{\min} .

$$\Delta U = 1 - \sqrt{\frac{M_{изб}^0 + M_{тр}^0}{\mu_{\min}}},$$

$$\Delta U = 1 - \sqrt{(1+0,25)/1,6} = 0,12.$$

Найдем падение напряжения на зажимах двигателя при пуске, которое будет складываться из падения напряжения в трансформаторе и падения напряжения в линии. Для расчетов потребуется пусковой ток двигателя $I_{п.дв.}$ и номинальный ток трансформатора $I_{н.тр.}$. Вычислим их.

Пусковой ток двигателя

$$I_{п.дв.} = K_I \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \eta_n \cos \varphi},$$

где K_I – кратность пускового тока двигателя,

P_n, U_n, η_n – номинальные мощность, напряжение и КПД двигателя, $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

$$I_{п.дв.} = (6 \cdot 5500) / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,83) = 72 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора

$$I_{н.тр.} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

где S_n, U_n – номинальные мощность и напряжение трансформатора.

$$I_{н.тр.} = 63000 / (1,73 \cdot 400) = 91 \text{ А.}$$

Падение напряжения в линии

$$\Delta U_{л.} = \frac{I_{п.дв.} \cdot l \cdot \sqrt{R_n^2 + X_n^2}}{U_n},$$

где l – длина линии,
 $R_{л}$ – активное погонное сопротивление линии,
 $x_{л}$ – реактивное погонное сопротивление линии, принимается 0,4 Ом/км для воздушной линии 0,4 кВ,
 $U_{н}$ – номинальное фазное напряжение питания,
 $I_{п.дв.}$ – пусковой ток двигателя.

$$\Delta U_{л} = (72 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{2,2^2 + 0,4^2}) / 220 = 0,146$$

Падение напряжения в трансформаторе

$$\Delta U_{тр} = \frac{u_{к} \% \cdot I_{п.дв.}}{100 \cdot I_{н.тр.}},$$

где $u_{к} \%$ - напряжение короткого замыкания трансформатора.

$$\Delta U_{тр} = (8,5 \cdot 72) / (91 \cdot 100) = 0,067.$$

Суммарное падение напряжения

$$\Delta U = \Delta U_{л} + \Delta U_{тр} = 0,146 + 0,067 = 0,214,$$

что больше максимально допустимого 0,12. Поэтому двигатель не запустится.

Для обеспечения пуска можно предложить следующие меры: увеличить сечение питающей линии, сократить длину линии за счет рационального расположения питающей ТП, использовать трансформатор большей мощности или трансформатор с меньшим напряжением короткого замыкания.

Для обеспечения пуска двигателя М1 можно предложить следующие меры: увеличить сечение питающей линии, сократить длину линии за счет рационального расположения питающей ТП, использовать трансформатор большей мощности или трансформатор с меньшим напряжением короткого замыкания.

Будем использовать провод большего сечения, чтобы снизить суммарные потери до максимально допустимого, т.е. на $0,214 - 0,12 = 0,094$. Пропорционально снижению потерь необходимо увеличить сечение провода не менее чем в $0,146 / (0,146 - 0,094) = 2,8$ раза.

Выбираем провод А-50 с погонным сопротивлением 0,7 Ом/км. Падение напряжения в линии составит

$$\Delta U_{л} = (72 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{0,7^2 + 0,4^2}) / 220 = 0,046,$$

а суммарное падение напряжения

$$\Delta U = \Delta U_{л} + \Delta U_{тр} = 0,046 + 0,067 = 0,114,$$

Что меньше максимально допустимого. Двигатель запустится.

Задача 2.

Проверить устойчивость работы электродвигателя М2 с номинальной нагрузкой на валу при пуске соседнего двигателя М1 по условию задачи 1.

Характеристики двигателя М1 4А90L4У3:

Номинальная мощность $P_n = 2,2$ кВт,

Номинальное скольжение $s_n = 5,4$ %,

Коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,83$,

Номинальный КПД $\eta_n = 80$ %,

Кратность пускового момента $\mu_n = 2$,

Кратность критического момента $\mu_k = 2,2$,

Кратность минимального момента $\mu_{\min} = 1,6$,

Кратность пускового тока $K_i = 6$.

Решение:

При определении устойчивости работы двигателя М2 при пуске двигателя М1, пренебрегаем относительно малым рабочим током двигателя М2 по сравнению с пусковым током двигателя М1. Поэтому используем найденное в предыдущей задаче падение напряжения.

Максимально допустимое снижение напряжения для устойчивой работы

$$\Delta U_{\text{дон}} = 1 - \sqrt{\frac{M_C^0}{\mu_k}},$$

где M_C^0 - относительный момент сопротивления на валу двигателя, т.к. он работает с номинальной нагрузкой $M_C^0 = 1$,

μ_k - кратность критического момента.

$$\Delta U_{\text{дон}} = 1 - \sqrt{\frac{1}{2,2}} = 0,28$$

Падение напряжения в линии $\Delta U = 0,214$ меньше найденного максимально допустимого, поэтому двигатель М2 будет устойчиво работать при пуске двигателя М1.

2.3.2 Контрольные задания

Задача 1.

Проверить электродвигатель на возможность пуска при питании от трансформатора через линию электропередач. Параметры двигателя указаны в таблице 2.6, в таблице 2.7 – параметры линии и трансформатора.

Таблица 2.6

Вариант	Двигатель	Параметры линии		Параметры трансформатора		
		l, км	R _л , Ом/км	X _л , Ом/км	S _н , кВА	u _к , %
1	2	3	4	5	6	7
1	АИР100L2	0,3	0,58	0,34	160	4,5
2	АИР112М2	0,4	0,64	0,45	160	4,7
3	АИР132М2	0,5	0,3	0,35	160	5,0
4	АИР 160S2	0,6	1,4	0,4	100	5,5
5	АИР100L4	0,7	0,58	0,34	160	4,5
6	АИР112М4	0,8	0,64	0,45	160	4,7
7	АИР132S4	0,9	0,3	0,35	160	5,0
8	АИР32М4	1	1,4	0,4	100	5,5
9	АИР132S6	0,5	0,58	0,34	160	4,5
10	АИР132М6	0,6	0,64	0,45	160	4,7
11	АНР160S6	0,7	0,3	0,35	160	5,0
12	АИР160М6	0,8	1,4	0,4	100	5,5

Таблица 2.7

№	Тип электродвигателя	Мощность P _н , кВт	Частота вращения n _н , об/мин	Ток статора I _н , А	КПД η _н , %	cos φ _н	I _{пуск}	M _{пуск}	M _{макс}
							I _{ном}	M _{ном}	M _{ном}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АИР100L2	5,5	2850	10,7	88,0	0,89	7,5	2,1	2,4
2	АИР112М2	7,5	2895	14,7	88,0	0,88	7,5	2,0	2,2
3	АИР132М2	11,0	2910	21,1	88,0	0,90	7,5	1,6	2,2
4	АИР 160S2	15,0	2910	28,5	90,0	0,89	7,0	1,8	2,7
5	АИР100L4	4,0	1410	8,52	85,0	0,84	6,0	2,1	2,4
6	АИР112М4	5,5	1430	11,3	86,0	0,86	6,0	2,0	2,5
7	АИР132S4	7,5	1440	15,1	87,5	0,86	7,5	2,0	2,5
8	АИР32М4	11,0	1450	22,2	88,5	0,85	7,5	2,2	3,1
9	АИР132S6	5,5	960	12,3	85,0	0,80	7,0	2,0	2,2
10	АИР132М6	7,5	960	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2
11	АНР160S6	11,0	970	22,9	88,0	0,83	6,5	2,0	2,7
12	АИР160М6	15,0	970	30,5	88,0	0,85	6,5	2,0	2,7

2.3.3 Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.

Проверить возможность прямого пуска электродвигателя 4А200L4У3 измельчителя кормов. Двигатель подключен к трансформатору ТМ160-10/0,4 (u_к=0,045) через линию электропередачи длиной 50м, выполненную проводом А-50 с удельными параметрами R_о=0,58Ом/км, X_о=0,34Ом/км.

Задача 2.

Определить напряжение на клеммах двигателя АИР225М2 при пуске от трансформатора ТМ160-10/0,4 ($u_k=5,5\%$) по линии длиной 60 м, выполненной проводом А-50 ($R_0=0,64$ Ом/км, $X_0=0,45$ Ом/км).

Задача 3.

Определить критический момент электродвигателя серии 4А с $P_n=5,5$ кВт и $n_c=1500$ мин⁻¹ привода насоса при $0,7U_n$. Сделать вывод о возможности работы электропривода, если момент сопротивления M_C равен номинальному моменту электродвигателя.

Задача 4.

Короткозамкнутый двигатель мощностью 10 кВт и напряжением 380 В запускают от трансформатора мощностью 25 кВА $u_k=8,5\%$. Двигатель соединен с трансформатором воздушной линией длиной 0,5 км, выполненной проводом АС25 с погонным сопротивлением $r_{п}=1,4$ Ом/км. Определить колебания напряжения на двигателе при его запуске.

Задача 5.

Проверить возможность пуска асинхронного двигателя 4А180М4, питающегося от трансформатора ТМ-160-10/0,4 с $u_k=0,05$ по воздушной линии электропередачи, выполненной проводом с $R_0=0,3$ Ом/км, $X_0=0,35$ Ом/км и длиной $L=90$ м.

Задача 6.

Определить напряжение на двигателе АИР225М2 ($P_{2н}=55$ кВт; $n_n=2940$ об/мин; $\eta=0,925$; $\cos\varphi=0,91$; $K_n=1,8$; $K_{min}=2,6$; $K_{max}=2,6$; $K_i=7,5$) при пуске от трансформатора ТМ160-10/0,4 с $u_k=4,7\%$ по линии длиной 60 м, выполненной проводом с $R_0=0,64$ Ом/км, $X_0=0,45$ Ом/км.

Задача 7.

Проверить устойчивость узла нагрузки, состоящего из электродвигателя 4А200Л4У3, который подключен к трансформатору ТМ-160-10/0,4 ($u_k=0,045$) через ЛЭП длиной 50 м, выполненную проводом А-50 ($R_0=0,58$ Ом/км, $X_0=0,34$ Ом/км).

Задача 8.

Проверить двигатель на возможность пуска при снижении напряжения на 30% от номинального и моментом трогания $0,9 M_n$.

Двигатель: 4А100S4У3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_n	K_T
3	220	1420	82	0,83	2,2	2	6,5

Задача 9.

Проверить двигатель на возможность пуска при снижении напряжения на 35% от номинального и моментом трогания $0,8 M_n$.

Двигатель: АИР132М4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_n	K_I
11	220	1478	87,5	0,87	2,2	2	7,5

Задача 10.

Проверить двигатель на устойчивость работы при снижении напряжения на 35% от номинального и моментом сопротивления $0,8 M_n$.

Двигатель: АИР132М4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_n	K_I
11	220	1478	87,5	0,87	2,2	2	7,5

Задача 11.

Проверить двигатель на устойчивость работы при снижении напряжения на 30% от номинального и моментом сопротивления $0,9 M_n$.

Двигатель: 4А90L2У3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_n	K_I
2	220	2875	81	0,83	2,2	2	6,5

3 Проектирование освещения

3.1 Расчет освещения

3.1.1 Электрические источники света

Электрические источники света подразделяются на тепловые, разрядные и светодиодные. Тепловые источники света представлены лампами накаливания (ЛН) и галогеновыми (ГЛН). Разрядные источники света – это лампы люминесцентные (ЛЛ), компактные люминесцентные (КЛЛ), индукционные (ИЛЛ) и разрядные лампы высокого давления (ВД): дуговые ртутные люминесцентные (ДРЛ), металлогалогенные (ДРИ), индукционные (ИнЛ) и натриевые (ДНаТ). Светодиодными источниками являются лампы (СДЛ), светодиодные ленты (СДЛн), светодиодные панели (СДП) и светодиодные светильники (СДС).

ЛН следует применять для освещения санузлов, лестниц, коридоров и помещений основного производственного назначения. В настоящее время рекомендуется замена ЛН светодиодными лампами.

ЛЛ и КЛЛ следует использовать в помещениях с напряженной зрительной работой, в общественных и административных зданиях.

Разрядные лампы ВД применяют для освещения высоких производственных помещений и для освещения открытых территорий, улиц, дорог.

Расход электроэнергии по сравнению с ЛН меньше: с ДРЛ на 40%, люминесцентными – на 55%, ДРИ – до 65%, ДНаТ – до 70%.

Значение нормированной освещенности выбирается в зависимости от характера зрительной работы, размеров объекта различия, фона и контраста объекта с фоном, вида и системы освещения, типа источника света с учётом отраслевых норм по СНиП 23-05-95.

При нормативе освещённости в помещении $E_n \leq 50$ лк для освещения используют ЛН, а свыше 50 лк – ЛЛ, КЛЛ, СДЛ. Нормы освещенности для освещения ЛЛ превышают нормы для ЛН и приведены в Приложении 2.

Снижение светового потока осветительной установки из-за загрязнения светильников и ламп и их старения в расчетах учитывают коэффициентом запаса K_3 : для ЛН - $K_3=1,15 \dots 1,7$; для газоразрядных ламп - $K_3=1,3 \dots 2,1$.

3.1.2 Выбор светильника, вида и системы освещения

Светильники выбирают по условиям соответствия степени защиты характеру окружающей среды. Для сухих отапливаемых помещений тип светильников выбирают по светотехническим характеристикам, а для помещений со сложными условиями еще и по исполнению.

По характеру светораспределения для производственных помещений обычно применяют светильники прямого или преимущественно прямого распределения с типовыми кривыми силы света (КСС) К, Г или Д. Для общественных и жилых помещений применяют светильники рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с типовыми кривыми силы света М, Л или Ш. В высоких помещениях предпочтительны светильники с концентрированными кривыми силы света Г или Д. Требуемую освещенность в вертикальной плоскости создают светильниками класса Р с кривой Л или М.

Типы светильников для объектов приведены в Приложении 3.

В производственных помещениях предусматриваются технологическое и дежурное освещение. Технологическое освещение необходимо для качественного выполнения производственных операций, обеспечивает нормированную освещенность рабочей поверхности. Дежурное освещение предназначено для ночного времени и располагается по проходам и на входе помещений.

Различают системы общего и комбинированного освещения.

Общее равномерное освещение обеспечивает равномерное распределение света по всему помещению, а общее локализованное освещение - необходимую освещенность на отдельных участках.

Комбинированное освещение характеризуется наличием местных светильников, установленных непосредственно на рабочих местах. Применение одного местного освещения внутри здания не допускается.

3.1.3 Размещение светильников

Светильники размещают в помещении равномерно или локально. При локальном размещении светильники располагают в соответствии с технологическим процессом и планом размещения освещаемых объектов.

Для равномерного размещения светильники располагают по вершинам квадратов или прямоугольников. Оптимальное расстояние между светильниками L выбирается по условиям:

$$\lambda_c \cdot h \leq L \leq \lambda_\varepsilon \cdot h. \quad (3.1)$$

где λ_c и λ_ε - относительные светотехническое и энергетическое наивыгоднейшие расстояния между светильниками;

h - расчетная высота подвеса светильника, м.

Значения λ_c и λ_ε определяются по кривой силы света в таблице.

Типовая кривая	λ_c	λ_ε
Концентрированная (К)	0,4...0,7	0,6...0,9
Глубокая (Г)	0,8...1,2	1,0...1,4
Косинусная (Д)	1,2...1,6	1,6...2,1
Полуширокая (Л)	1,4...2,0	1,8...2,3
Равномерная (М)	1,8...2,6	2,6...3,4

Расчетную высоту подвеса светильника определяют по формуле:

$$h = H - h_c - h_p \quad (3.1)$$

где H - высота помещения, м;

h_p - высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м;

h_c - высота свеса светильника, м. Для подвесных светильников $h_c=0,3-0,5$ м, а для плафонов и встроенных светильников $h_c \leq 0,2$ м. Высота свеса светильников на подвесах, не допускающих раскачивания, может превышать 0,5 м.

Расстояние от стен до крайних светильников берут равным $l=(0,3-0,5)L$. Для рабочих поверхностей, расположенных у стен, $l=0,3L$.

При определении расстояния между светильниками с газоразрядными лампами расстояние λ_ε не учитывается.

По рассчитанным значениям L и l , длине A и ширине B помещения определяют число светильников, подвешиваемых по длине помещения,

$$N_A = \frac{A - 2l}{L} + 1, \quad (3.2)$$

количество светильников, размещаемых по ширине помещения,

$$N_B = \frac{B - 2l}{L} + 1. \quad (3.3)$$

и общее количество светильников в помещении:

$$N = N_A \cdot N_B. \quad (3.4)$$

Если расчет расстояния между светильниками в ряду и между рядами производился с учетом λ_C , то полученные значения N_A и N_B округляют до меньшего целого, если с учетом $\lambda_{Э}$, то - в сторону большего значения.

Далее определяют действительные расстояния между светильниками в рядах L_A и между рядами L_B . При равномерном размещении светильников по углам прямоугольника рекомендуется пропорция $L_A \cdot L_B \leq 1,5$. В узких помещениях допустимо однородное расположение светильников.

Светильники с ЛЛ рекомендуется устанавливать рядами, преимущественно вдоль длины помещения или стены с окнами.

Светильники с четырьмя и более ЛЛ могут располагаться также, как и светильники с точечными источниками (ЛН, ГЛН, СДЛ, ИЛ, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ).

Для установок с ЛЛ светильниками рекомендуется сначала определять N_B , а значения N_A и N находить при светотехническом расчете. При этом расстояние λ_C определяется по поперечной кривой силы света светильников.

3.1.4 Светотехнический расчет

В практике расчета общего электрического освещения помещений наиболее распространены следующие методы светотехнического расчета:

- точечный метод;
- метод коэффициента использования светового потока;
- метод удельной мощности, который подразделяется, в зависимости от вида источника, на:
 - метод пространственных (ЛН, ИЛ, СДЛ, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) изолюкс;
 - метод линейных (ЛЛ, СДС) изолюкс.

Точечным методом рассчитывают общее равномерное освещение помещений и открытых пространств, а так же местное освещение плоскостей. Расчет ведется следующим образом.

На плане с размещёнными светильниками намечают контрольные точки 1, 2, ... n в центре между светильниками или в середине одной из крайних сторон (рисунок 3.1), в которых предполагается минимальная освещенность.

Если в этих точках есть рабочие места, то освещенность в них можно довести до нормы путем местного освещения или увеличения мощности ближайших источников.

Затем вычисляют условную освещенность e_n в n-ой контрольной точке (условная освещенность - это освещенность, создаваемая в точке от источника света со световым потоком в 1000 лм):

$$e_n = \sum_{i=1}^n e_i, \text{ ЛК}, \quad (3.5)$$

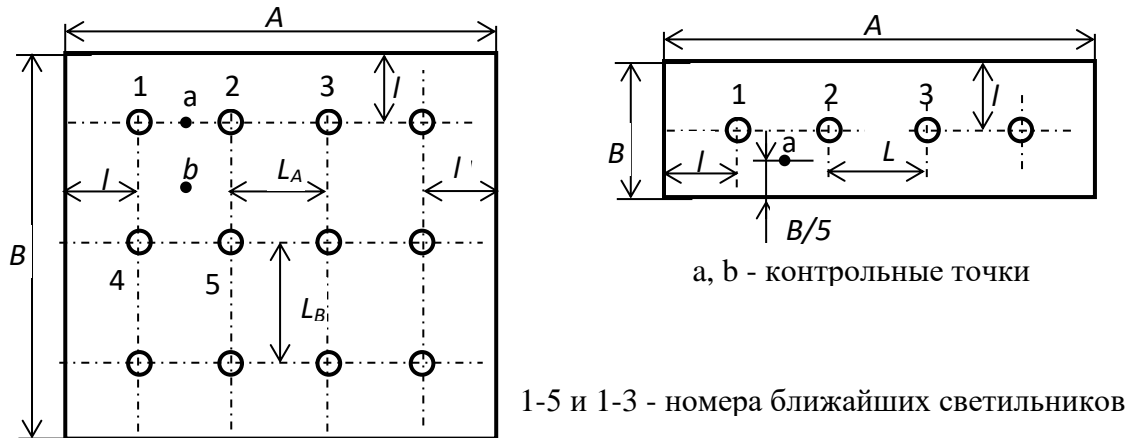


Рисунок 3.1. К выбору контрольных точек на плане помещения при размещении светильников по вершинам квадрата а) и при однорядном расположении светильников б)

где e_i - условная освещенность в контрольной точке от i -го источника, которую определяют по кривым пространственным изолукс или по формуле:

$$e_i = \frac{I_{\alpha_i}^{1000} \cdot (\cos \alpha_i)^3}{h^2}, \text{ ЛК}, \quad (3.6)$$

где α_i - угол между вертикалью и направлением силы света i -го светильника в контрольную точку, град. (рисунок 3.2);

$I_{\alpha_i}^{1000}$ - сила света i -го источника света с условной лампой, световой поток которой равен 1000 лм, в направлении расчетной точки, лк (приложение 4).

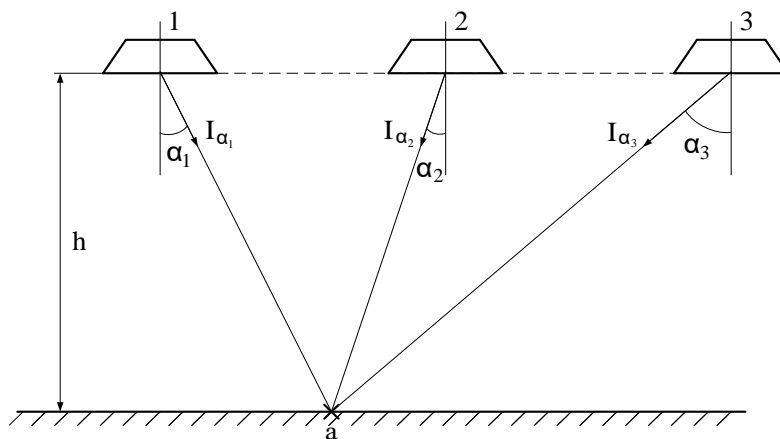


Рисунок 3.2. К расчету условной освещенности в контрольной точке

Контрольная точка с минимальной суммарной освещенностью принимается за расчетную. Световой поток источника света в каждом светильнике:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_n \cdot \kappa_3}{\mu \cdot \sum e_i}, \text{ лм}, \quad (3.7)$$

где 1000 – световой поток условной лампы, лм;
 $\mu = 1,1-1,2$ - коэффициент учёта дополнительной освещенности удаленными светильниками и отражением от ограждающих конструкций.

По вычисленному значению потока Φ и табличным данным (Приложения 5 и 7) выбирают тип лампы со световым потоком Φ_l и мощностью P_l . Рассчитывают отклонение табличного светового потока лампы от расчетного:

$$0,9\Phi \leq \Phi_l \leq 1,2\Phi. \quad (3.8)$$

Если лампу с условием (5.11) выбрать невозможно, то приходится корректировать расположение светильников и повторить расчёт. Далее определяют установленную мощность осветительной установки:

$$P_{уст} = P_l \cdot N. \quad (3.9)$$

Для линейных источников (светильников) определяют относительную условную освещенность ε , лм/м, (освещенность, создаваемая светильником с удельным потоком 1000 лм/м в точке на расстоянии $h = 1$ м напротив торца светильника в плоскости, параллельной его оси).

При определении освещенности в точке, расположенной в любом месте относительно светящего ряда, ряд светильников делят на два отрезка так, чтобы точка оказалась в торце каждого из отрезков, и относительные условные освещенности складывают (рисунок 3.3а).

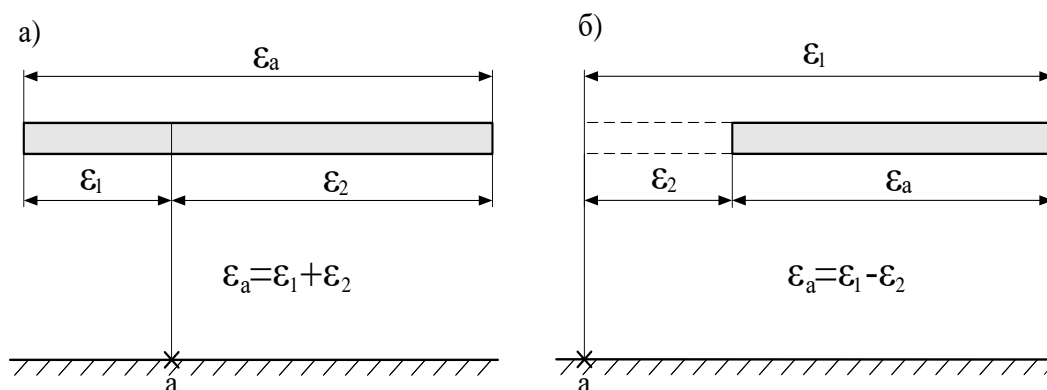


Рисунок 3.3. К расчету условной освещенности от линейного источника.

Если точка расположена вне светящего ряда, то ряд мысленно продолжают так, чтобы точка вновь оказалась против торца, и в этом случае относительную условную освещенность находят вычитанием (рисунок 3.3б).

При общем равномерном освещении линейными источниками контрольные точки выбирают посередине между рядами светильников (рисунок 3.4б).

При этом необходимо определить: являются светильники сплошной светящейся линией или точечными источниками света. Если разрыв между светильниками в ряду $l_p \leq 0,5h$, то ряд светильников считают сплошной светящейся линией, если расстояние $l_p \geq 0,5h$, то каждый светильник считается точечным и рассчитывается по отдельности (рисунок 3.4б).

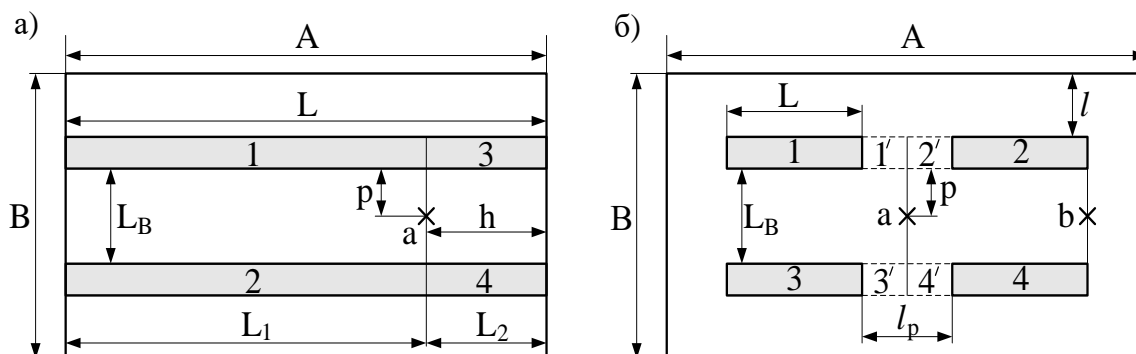


Рисунок 3.4. К выбору контрольных точек для линейных а) и точечных б) источников. 1,1',2,2',3,3',4,4' - номера светящих отрезков; L_B – расстояние между рядами светильников; p – расстояние от контрольной точки до проекции светящегося ряда или светильника на горизонтальную поверхность

Значения ε определяют по кривым линейных изолукс в зависимости от приведённой длины светильника $L' = L/h$ и удаленности точки от светящей линии $p' = p/h$ (Приложение 8).

Удельный световой поток, приходящийся на метр длины светильника:

$$\Phi' = \frac{1000 \cdot E_n \cdot \kappa_3}{\mu \cdot \sum \varepsilon}, \text{ лм/м}, \quad (3.10)$$

а полный световой поток светильника (лампы, светящей линии) равен:

$$\Phi = \Phi' \cdot L. \quad (3.11)$$

По расчётному потоку Φ светящей линии и световому потоку стандартного светильника Φ_{cv} определяют количество светильников в ряду:

$$N_A = \Phi / \Phi_{cv}. \quad (3.12)$$

Световой поток светильника с n лампами определяют по выражению

$$\Phi_{cv} = \Phi_l \cdot n, \quad (3.13)$$

где Φ_l - световой поток одной лампы в светильнике (Приложение 6).

Расчётная установленная мощность осветительной установки равна:

$$P_{уст} = P_{св} \cdot N, \quad (3.14)$$

где $P_{св}$ – мощность светильника, рассчитываемая с учётом мощности ПРА:

$$P_{св} = n(P_l + P_{ПРА}). \quad (3.15)$$

Метод коэффициента использования светового потока применяется при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещении со светлыми ограждающими поверхностями и при отсутствии крупных затеняющих предметов. Расчет выполняют в следующем порядке.

Определяют коэффициент отражения потолка $\rho_{п}$, стен $\rho_{ст}$ и рабочих поверхностей (или пола) $\rho_{р.п}$ по таблице.

Отражающие поверхности	ρ , %
Побелены стены и потолок; закрытые большими шторами окна	70
Побелены стены; не завешенные окна; светлый потолок	50
Бетонный, деревянный потолок; бетонные стены с окнами	30
Стены, потолок с темной пылью; красный кирпич не оштукатурен	10

Находят индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}. \quad (3.16)$$

Выбирают тип светильников и с учётом коэффициентам отражения и индекса помещения определяют коэффициент η_u (Приложение 9). Рассчитывают световой поток светильника с учётом площади S помещения и E_n по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot \kappa_z \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta_u}, \text{ лм}, \quad (3.17)$$

где $z = 1, 1, \dots, 1, 2$ - коэффициент неравномерности освещения.

По найденному световому потоку с учётом количества ламп в светильнике, пользуясь справочными данными, выбирают типоразмер лампы и ее мощность (приложения 4, 5 и 6). Если ближайшие лампы имеют световой поток, отличающийся от расчетного на $-10\% \dots +20\%$, то выбирают лампу с другим световым потоком и уточняют число светильников по (5.11). Затем рассчитывают мощность всей осветительной установки по (5.12) или (5.18).

Метод удельной мощности является упрощенным методом коэффициента использования светового потока и рекомендуется для расчета освещения складских помещений, кладовых, коридоров и т.д. и для предварительного определения осветительной нагрузки на начальной стадии проектирования.

Рассчитывается мощность лампы в светильнике:

$$P_p = p_{y\partial} \cdot S/N, \quad (3.18)$$

где $p_{y\partial}$ - удельная мощность общего равномерного освещения, Вт/м², которое выбираются из справочников или таблиц Приложений 10 и 11. При отличии коэффициентов отражения от табличных допускается при более светлых поверхностях уменьшать, и более темных увеличивать $p_{y\partial}$ на 10%.

По расчетной мощности лампы P_p и каталожным данным выбирают типоразмер лампы и ее номинальную мощность P_n так, чтобы выполнялось условие:

$$0,9P_p \leq P_n \leq 1,2P_p. \quad (3.19)$$

Светотехнический раздел заканчивается составлением светотехнической ведомости (Приложение 12).

3.1.5 Электротехническая часть

Источниками питания осветительных электроустановок чаще всего служат потребительские ТП 10/0,4 кВ.

Для освещения в помещениях без повышенной опасности применяют напряжение 220 В, при повышенной опасности и в ручных светильниках – до 42 В, а в особо неблагоприятных условиях – не более 12 В.

Светильники напряжением 220 В допускается устанавливать на высоте менее 2,5 м; в опасных и особо опасных помещениях - не менее 2,5 м и доступ к лампам только со специальным инструментом.

Ввод электроэнергии в помещение осуществляют наружной магистральной линией, воздушной (ВЛ) или кабельной (КЛ) напряжением 380/220 В.

На рисунке 3.5 даны схемы питания осветительной сети от ТП 10(6)/0,4 кВ через осветительный щит (ОЩ) а) и через ОЩ от силового щита (СЩ) б).

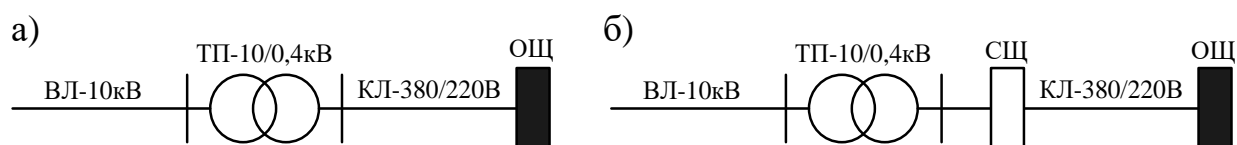


Рисунок 3.5. Схемы питания осветительной сети через осветительный и силовой щиты

Для сокращения длины внутренней сети групповые щитки располагают вблизи центров электрических нагрузок с учётом удобства обслуживания.

Компоновку сети начинают с вычерчивания в масштабе плана объекта, отмечают расположение светильников, выключателей, розеток и т. п., а так же СЩ и ОЩ. Затем все светильники делят на группы по числу фаз питающей сети), а затем нагрузку каждой фазы делят на группы с учетом рекомендаций:

1. Однофазные группы светильников следует применять для небольших помещений с малым числом светильников небольшой мощности. В остальных случаях общее освещение выполняют трехфазным с однофазными ответвлениями к отдельным группам светильников.

2. В однофазной группе должно быть не более 20 ЛН, ДРЛ, ДРИ, ДнаТ и розеток, или не более 75 ЛЛ мощностью до 40 Вт или 60 ламп - до 80 Вт.

3. Длина 4-х проводной группы, как правило, не должна превышать 80 м, 3-х проводной – 60 м и 2-х проводной – 35 м.

4. Групповые линии сетей внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями (автоматическими выключателями) на рабочий ток ≤ 25 А.

5. Штепсельные розетки в жилых помещениях устанавливают по одной на каждые 6 м² жилой площади и на 10 м² площади коридоров, а также до трех розеток на кухню. Мощность розеток принимают равной 500 Вт.

Заканчивают компоновку составлением расчетной схемы, на которой указывают все осветительные щиты и группы, число проводов и длину групп, мощность источников света и розеток, а также места ответвлений.

Марки проводов осветительной сети выбирают по условиям окружающей среды, назначению помещения, электро- и пожароопасности, удобству монтажа и эстетическими требованиями по таблицам (Приложение 13).

Способ прокладки проводов должен обеспечить надежность, долговечность, пожарную безопасность, экономичность и замену проводов. Скрытые электропроводки прокладывают в стенах, полах, плинтусах, фундаментах, перекрытиях, а открытые - по поверхности стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий, сооружений, на опорах. В общественных, административных, бытовых, лабораторных помещениях используют скрытые проводки. В производственных помещениях следует применять открытую проводку на тросах, кабелями и изолированными проводами на изоляторах, в лотках, коробах, трубах, где исключена возможность механических повреждений.

Сечение провода (жилы кабеля) s , мм² на рассматриваемом участке линии при допустимой потере напряжения, $\Delta u_{\text{дон}} \leq 2,5\%$ определяют по формуле

$$s = \frac{\sum M + \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot m_k}{C \cdot \Delta u_{\text{дон}} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.20)$$

где $\cos \varphi$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки;

$\sum M$ - сумма электрических моментов рассчитываемого и последующих участков с числом проводов, что и на рассчитываемом участке, кВт·м. Момент M определяют по мощности светильника P и расстоянию l до ОЩ или точки разветвления $M = P \cdot l$;

$\sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot m_k$ - сумма моментов на n участках с числом проводов, отличным от рассчитываемого участка, умноженные на коэффициент приведения α , кВт·м;
 α – коэффициент приведения моментов;

Линия	Ответвление	α
Трёхфазная с нулем	Однофазное	1,85
Трёхфазная с нулем	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33

C – характеристический коэффициент сети.

Сеть, В	Система	Для проводов	
		медных	алюминиевых
380/220	Трёхфазная с нулем	72	46
380/220	Двухфазная с нулем	32	10
220	однофазная	12	7,7

Найденные значения сечения провода округляют до ближайшего большего по стандарту ($s_{ст}$, мм²) и находят фактическую потерю напряжения на участке:

$$\Delta u_p = M / (C \cdot s_{ст}), \%, \%. \quad (3.21)$$

Последующие участки рассчитывают аналогично на оставшуюся потерю напряжения. Сечение провода проверяют на нагрев расчетным током I_p осветительной нагрузки P_p , Вт на участке m -фазной сети напряжением U_ϕ , В, в сравнении с длительно допустимым током $I_{дон}$, А (Приложение 14) по условию:

$$I_{дон} \geq I_p = P_p / (m \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi). \quad (3.22)$$

На механическую прочность сечение провода проверяют по условию

$$s_{ст} \geq s_{доп}, \quad (3.23)$$

где $s_{доп}$ - сечение ПУЭ, допустимое по механической прочности, мм², которое зависит от способа прокладки и материала: внутренней проводки алюминиевых $\geq 2,5$ мм² и медных - ≥ 1 мм² - для, а при прокладке на изоляторах – соответственно ≥ 4 мм² и $\geq 1,5$ мм².

Сечение провода, не проходящее по одному из условий, увеличивают.

Рассмотрим пример расчета проводов в расчётной схеме на рисунке 3.6.

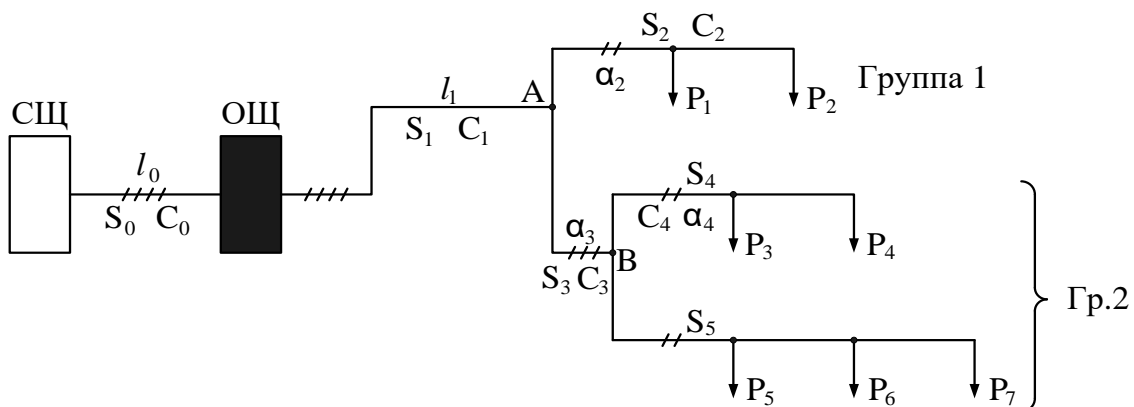


Рисунок 3.6. Расчётная схема осветительной сети. l_0, l_1 - длины участков 0 и 1, м; P_1, \dots, P_7 – мощности светильников №№1...7, кВт; А и В - точки разветвления

По (3.22) определяем сечение провода головного участка, схему коэффициенты α и C и определим моменты участков:

$$M_0 = l_0 \sum_{i=1}^7 P_i, \text{ кВт}\cdot\text{м}; \quad M_{\text{Гр1}} = P_1 \cdot l_{\text{AP1}} + P_2 \cdot l_{\text{AP2}}, \text{ кВт}\cdot\text{м}; \quad M_1 = l_1 \sum_{i=1}^7 P_i, \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{зр.2}} = l_{\text{AB}} \cdot \sum_{i=3}^7 P_i + \alpha_4 (P_3 \cdot l_{\text{BP3}} + P_4 \cdot l_{\text{BP4}}) + \alpha_4 (P_5 \cdot l_{\text{BP5}} + P_6 \cdot l_{\text{BP6}} + P_7 \cdot l_{\text{BP7}}), \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Сечение провода головного участка

$$s_0 = \frac{M_0 + M_1 + \alpha_2 \cdot M_{\text{зр.1}} + \alpha_3 \cdot M_{\text{зр.2}}}{C_0 \cdot \Delta U \cdot \cos \varphi}, \text{ мм}^2$$

округляем до ближайшего большего стандартного сечения s_m . Затем находим фактическую потерю напряжения на головном участке по формуле (3.24).

Последующие участки рассчитываем на оставшуюся потерю напряжения

$$\Delta u_1' = 2,5 - \Delta u_0, \%$$

Сечение провода головного участка проверяем по условиям

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad \text{и} \quad s_0 \geq s_{\text{доп}}.$$

и находим фактическую потерю напряжения по каждой группе сети.

Далее выбирают щиты с предохранителями или автоматическими выключателями, токи уставок которых определяют из условий

$$I_{\text{у.ав}} = 1,4 \cdot I_p; \quad I_{\text{вс}} = 1,2 \cdot I_p. \quad (3.24)$$

Раздел заканчивают составлением расчетно-монтажной схемой осветительной сети (Приложение 15).

3.2 Контрольное задание

Спроектировать расположение светильников и рассчитать общее равномерное освещение помещения ремонтной мастерской при помощи люминисцентных ламп методом коэффициента использования светового потока. Рассчитать осветительную сеть помещения.

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1

Исходные данные

Вариант	Длина помещения А, м	Ширина помещения В, м	Высота Н, м	Коэффициенты отражения $\rho_{\text{п}}$ $\rho_{\text{с}}$ $\rho_{\text{р}}$,
1	6	3	3.5	70 50 30
2	8	6	3.8	70 50 10
3	6	4	4.0	50 30 10
4	10	8	3.8	30 10 10

Продолжение таблицы 3.1

5	12	8	4.0	70 50 30
6	9	5	4.0	70 50 10
7	7	6	3.8	50 30 10
8	11	7	4.2	30 10 10
9	12	7	3.8	70 50 30
10	7	5	3.6	70 50 10
11	20	20	5.6	50 30 10
12	20	10	4.0	30 10 10
13	15	7	3.5	70 50 30
14	14	8	3.4	70 50 10
15	25	15	4.2	50 30 10
16	30	15	4.0	30 10 10
17	13	7	3.5	70 50 30
18	18	9	3.8	70 50 10
19	6	3	3.5	50 30 10
20	8	6	3.8	30 10 10

4 Эксплуатация электрооборудования

4.1 Краткие теоретические сведения

При выполнении раздела необходимо описать операции технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) с перечислением контролируемых параметров, приборов, приспособлений и схем измерения. Перечисленные данные оформляют в виде таблицы.

Годовые плановые трудозатраты на выполнение ТО, ТР и капитального (КР) ремонта электрооборудования (ЭО) определяются по формуле:

$$T_{год}' = \sum_{i=1}^n (m_{ТОi} \cdot t_{ТОi} + m_{ТРi} \cdot t_{ТРi}) + T_{КР}, \quad (4.1)$$

где $m_{ТОi}$ и $m_{ТРi}$ - годовая программа ТО и ТР i -го вида ЭО ($i = 1, 2, \dots, n$);
 $t_{ТОi}$ и $t_{ТРi}$ - трудоёмкость ТО и ТР i -го вида ЭО соответственно, часов;
 $T_{КР}$ - трудоёмкость КР ЭО.

Программа ТО, ТР и КР ЭО определяется периодичностью выполнения работ по ТО $n_{ТО}$, ТР $n_{ТР}$ и КР $n_{КР}$ и определяется формулами:

$$m_{ТО} = 12/n_{ТО}; \quad m_{ТР} = 12/n_{ТР}; \quad m_{КР} = 12/n_{КР}. \quad (4.2)$$

С учётом затрат времени T_{Σ} на ТО, ТР, КР и на внеплановые работы, численность электромонтеров предприятия:

$$N_{Эм} = T_{\Sigma} / \Phi_{год} = 1,15 \cdot k \cdot T_{год}', \quad (4.3)$$

где $1,15$ - коэффициент затрат времени на оперативное обслуживание;
 $k = 1,14 \dots 1,32$ - коэффициент, учитывающий времени на разъезды при расстояниях от объекта до пункта ТО: 5 км - $k=1,14$; 10 км - $k=1,23$; 15 км - $k=1,32$;
 $\Phi_{год}$ - годовой фонд времени рабочего времени одного электромонтёра.

Годовой объем эксплуатационных работ в условных единицах эксплуатации (УЕЭ) определяется делением трудоемкости T_{Σ} на коэффициент 18,6, соответствующий одной УЕЭ:

$$Q = T_{\Sigma}/18,6 \text{ УЕЭ.} \quad (4.4)$$

Численность инженерно-технических работников (ИТР) и структура должностей энергетической службы (ЭТС) определяются трудоемкостью Q :

- при $Q \geq 2500 \text{ УЕЭ}$ - ЭТС должен возглавлять главный энергетик;
- при $Q = 800...2500 \text{ УЕЭ}$ - в ЭТС предусматривают инженера-энергетика и штат электромонтеров для проведения ТО и ТР на своей технической базе (хозяйственная форма организации ЭТС);
- при $Q < 800 \text{ УЕЭ}$ к выполнению ТР привлекаются специализированные организации, а ТО выполняется ЭТС предприятия;
- при $Q < 300 \text{ УЕЭ}$ ТО, ТР целесообразно передать сторонней организации (комплексное обслуживание).

В заключении с учётом технологии ТР выбирают оборудование, для ремонта, изображают план пункта ТО и ТР с размещением этого оборудования. Затем необходимо выполнить расчёт необходимой площади F_B базы ЭТС, которую приближённо находят по объёму выполняемых работ Q :

$$F_B = f \times Q, \quad (4.5)$$

где f - удельная площадь, необходимая для выполнения единицы УЕЭ ($f=0,1 \text{ м}^2$, при $Q < 1000 \text{ УЕЭ}$; $f=0,1... 0,075 \text{ м}^2$ при $Q > 1000 \text{ УЕЭ}$).

Полученное значение F_B рекомендуется распределить на участки:

- разборки и очистки ЭО - 10%;
- ремонта электродвигателей - 30%;
- ремонта пусковой и защитной аппаратуры - 15%;
- пропитки и сушки обмоток электродвигателей и трансформаторов - 10%;
- складские помещения - 15%;
- помещения для персонала - 20%.

Таблица 4.1

Степень защиты электрооборудования по МЭК - IP $\times\times$

1-я цифра	Вид защиты	2-я цифра	Вид защиты
0	Защита отсутствует	0	Защита отсутствует
1	От тел размером более 50 мм	1	От вертикальных капель воды
2	От тел размером более 12 мм	2	От капель воды под углом $\leq 15^0$
3	От тел размером более 2,5 мм	3	От дождя под углом $\leq 60^0$
4	От тел размером более 1 мм	4	От брызг с любого направления

Продолжение таблицы 4.1

5	От пыли, нарушающей работу	5	От водяных струй из наконечника
6	Пыль не проникает через оболочку	6	От падающих волн воды
		7	От погружения в воду
		8	Вода не проникает через оболочку

Таблица 4.2

Климатические исполнения электрооборудования

Обозначение	Эксплуатация в зоне климата
У	Умеренного климата: $T_{\text{ср.год.макс.}}^{\text{воздуха}} \leq +40^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ср.год.мин.}}^{\text{воздуха}} \geq -45^{\circ}\text{C}$
ХЛ	Холодного климата: $T_{\text{ср.год.мин.}}^{\text{воздуха}} \leq -45^{\circ}\text{C}$
УХЛ	Умеренно холодного: $T_{\text{ср.год.макс.}}^{\text{воздух}} \leq +40^{\circ}\text{C}$, а $T_{\text{ср.год.мин.}}^{\text{воздух}} \leq -45^{\circ}\text{C}$
ТВ	Влажного тропического: $T_{\text{В}} \geq 20^{\circ}\text{C}$ и $\epsilon_{\text{В}} \geq 80\% \geq 12$ ч/сут. 2-12 месяц.
ТС	Сухого тропического климата: $T_{\text{ср.год.макс.}}^{\text{воздуха}} = +40^{\circ}\text{C}$

Примечания:

1. Устройства, используемые одновременно в У, ХЛ и УХЛ, обозначают символом "0", а в районах с сухим и влажным тропическим климатом - символом "Т".
2. Исполнение ТВ, ТС и Т могут быть обозначены термином "тропическое исполнение".

Таблица 4.3

Категории размещения электрооборудования

Категории размещения	Для работы (области применения)
1	на открытом воздухе
2	в помещениях со сравнительно свободным доступом наружного воздуха, с $\text{var}T_{\text{ВП}} \approx \text{var}T_{\text{ВН}}$ и $\text{var}\epsilon_{\text{ВП}} \approx \text{var}\epsilon_{\text{ВН}}$
3	в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без регулируемого микроклимата, $\text{var}T_{\text{ВП}} \ll \text{var}T_{\text{ВН}}$, $\text{var}\epsilon_{\text{ВП}} \ll \text{var}\epsilon_{\text{ВН}}$ и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на воздухе
4	в помещениях с искусственным микроклиматом, например, в закрытых отапливаемых (охлаждаемых) и вентилируемых
5	в помещениях с повышенной влажностью

Таблица 4.4

Трудоемкость ТО и ТР асинхронных электродвигателей (АД)

АД с ротором	n _c , об/мин	Вид работ	Трудоемкость, чел×ч, при мощности электродвигателя, кВт					
			≤ 1,1	≤ 3	≤ 5,5	≤ 11	≤ 25	≤ 40
коротко-замкнутым фазным	750-3000	ТО	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7
		ТО	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
коротко-замкнутым	750	ТР	4,1	4,6	5,1	5,8	6,6	8,1

Продолжение таблицы 4.4

	1000	ТР	4	4,4	5	5,6	6,3	7,7
	1500	ТР	3,9	4,3	4,8	5,4	6	7,4
	3000	ТР	3,7	4,1	4,5	5,1	5,6	7
фазным	750	ТР	-	5,5	6,1	7,1	8,0	10
	1000	ТР	-	5,2	5,8	6,7	7,6	9,4
	1500	ТР	-	5	5,5	6,4	7,1	8,9
	3000	ТР	-	4,7	5,2	5,9	6,6	8,9

Примечание:

Трудоемкость ТО и ТР АД, установленных в труднодоступных местах, увеличивается в 1,2 раза.

Таблица 4.5

Трудоемкость ТР и ТО светотехнического оборудования

Светильники с лампами	Помещения	Трудоемкость, чел·ч	
		ТО	ТР
накаливания	Сухие и влажные	0,10	0,25
	Сырые, особо сырые, с химически активной средой	0,15	0,40
газоразрядными	Сухие и влажные	0,13	0,30
	Сырые, особо сырые, с химически активной средой	0,20	0,50

Таблица 4.6

Трудоемкости ТО, ТР и КР 1 км электропроводки

Вид электропроводки	Сечение, мм ²	Монтаж	Трудоемкость, чел·ч		
			ТО	ТР	КР
Кабели АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	2,5	На скобах	13	195	812
	6		14	210	875
	10		14,4	216	900
Кабели АВРГ, АНРГ, АВВГ АПВГ	2,5	Тросовая	4,2	66	262
	6		4,6	69	278
	10		5	75	312
Провод тросовый АВТВ, АРТ	16		4,5	45	187
Провода одножильные или многожильные в общей оплетке	2,5	В стальной трубе	1,2	18	75
	6		1,4	21	87
	10...16		1,8	27	112
	35		2,6	29	162
Провода одножильные	2,5	2 линии в стальной трубе	1,7	25,6	106
	6		2	30	125
	10 ... 16		3,2	48	200
	35		3,8	57	237
	2,5	3 линии в стальной трубе	2,2	33	137
	6		2,6	39	162
	10 16		3,8	57	237
	35		4,8	72	300

Продолжение таблицы 4.6

Провода осветительной сети АППВ, АПВ, АПН	2,5	Открытая	4,8	72	300
	6		5,2	78	325
	2,5	Скрытая	3,6	54	225
	6		4	60	250

Таблица 4.7

Периодичность ТО и ТР ЭО при $T_{и}=8...16$ ч/сутки

Электро- оборудование	Размещение ЭО в помещениях	Т, мес.	
		ТО	ТР
Электродви- гатели серии 4А	Помещения МТФ, кроме доильных и молочных	3	24
	Доильные и молочные МТФ	2	18
	На воздухе, под навесом	1,5	24
Пуско- защитная аппаратура	Сухие и влажные помещения	1,5	24
	Сырые и пыльные помещения	2	18
	Особо сырые, химически активная среда, воздух, под навесом	1	12
Светильники	Сухие и влажные помещения	6	24
	Сырые, особо сырые химически активная среда	3	12
СЩ и ЩО	Сухие, влажные, пыльные и сырые	3	24
	Особо сырые химически активная среда	1,5	12

Примечания к таблице 5.12:

1. Для электродвигателей с ФР Т следует уменьшить на 30%.

2. Для электродвигателей при $T_{и}<8$ ч/сутки Т следует $\times 1,7$; при $T_{и}>16$ ч/сутки $\times 0,75$.

Таблица 4.8

Периодичность ТО, ТР и КР электропроводок

Характеристика электропроводки	Характер помещений	Периодичность, мес.		
		ТО	ТР	КР
Электропроводка, выполнен- ная кабелем в трубах, коро- бах, лотках по стенам, фермам	Сухие и влажные	6	24	180
	Сырые и пыльные	6	24	120
	Особо сырые, с химически активной средой	4	18	96
Электропроводка изолирован- ными проводами в трубах, ко- робах, лотках по стенам, фер- мам	Сухие и влажные	4	18	96
	Сырые и пыльные	4	18	60
	Особо сырые, с химически ак- тивной средой	3	12	42
Скрытая проводка освещения	Все виды помещений	6	24	120

Таблица 4.9

Трудоемкость ТО и ТР ПЗА, СЦ и ЩО

Электрооборудование		Трудоёмкость, чел.·ч	
		ТО	ТР
СЦ с рубильником и числом групп	4...8	0,36...0,6	5,4...9,0
	10	0,7	10,5
	12	0,8	12
ЩО с числом групп	2...10	0,2...0,52	3...7,8
	12...16	0,6...0,76	9...11,4
Автоматические выключатели 3-полюсные с номинальным током, А	≤50	0,25	1,75
	100	0,3	2
	200	0,35	2,5
	600	0,35	2,5
Магнитные пускатели с номинальным током, А	≤ 3	0,21	1,36
	≤ 10	0,26	1,51
	16	3	4
	25	0,28	1,58
	50	0,3	1,81
	100	0,3	2,1
	150	0,35	2,1
Контакторы		0,4	2,5
Тепловые реле однополюсные		0,18	0,5
Тепловые реле двухполюсные		0,2	0,65
Тепловые реле трехполюсные		0,25	0,85
Тепловые реле 1-полюсные с проверкой настройки		0,85	1,2
Тепловые реле 2-полюсные с проверкой настройки		1,1	1,65
Тепловые реле 3-полюсные с проверкой настройки		1,4	1,9

Примечание. Если нет специальных оговорок, то проверка настройки тепловых реле при ТО не осуществляется, а осуществляется эта операция только при ТР.

4.2 Задачи для самостоятельного решения

1. Рассчитать прибыль хозяйства от технического обслуживания (ТО) электрооборудования сторонней организации объемом $Q_{ТО}=100$ УЕЭ при себестоимости работ $S_{ТО}=12$ руб./УЕЭ, если по договору организация платит $C_{ТО}=15$ руб./УЕЭ. Рабочий фонд электромонтера составляет 1760 часов, а удельное время $t_{ТО} = 6$ ч/УЕЭ.
2. Определить годовые издержки на потери электроэнергии в линии 0,38 кВ длиной 500 м, выполненной проводами А-25, при реактивном токе $I_p=27$ А, если время потерь составляет $\tau=2000$ ч, а удельные затраты - $C_d=0,25$ руб./кВт·ч.

3. Определить численность электромонтеров по группам, затраты труда в которых составляют: на техническое обслуживание электрооборудования - 5100 чел·ч, текущий ремонт - 6900 чел·ч и капитальный ремонт - 5100 чел·ч, а объем электрооборудования в хозяйстве составляет 1200 УЕЭ.
4. Определить прибыль от реализации договора со сторонней организацией на проведение текущего ремонта (ТР) электрооборудования с объемом работ $Q_{ТР}=500\text{УЕЭ}$. Себестоимость работ составляет $S_{ТР}=45$ руб./УЕЭ, а организация платит по договору $C_{ТР}=54$ руб./УЕЭ. Рабочий фонд времени электромонтера составляет $t_p=1760$ ч. Длительность выполнения единицы текущего ремонта $t_{ТР}=8,2$ ч/УЕЭ.
5. Вычислить количество электромонтеров, необходимых для технического обслуживания (ТО) 600УЕЭ электрооборудования, если фонд времени электромонтера составляет $T_p=1770\text{ч}$, а время ТО одной УЕЭ - в среднем 6,1ч.
6. Найти среднее время ожидания заявок в очереди на техническое обслуживание электротехнической службой, если время ожидания одной заявки в очереди $t_{оч}=500\text{ч}$, а всего поступило $m=100$ заявок.
7. Определить годовые трудозатраты на техническое обслуживание 100 электродвигателей мощностью 5,5 кВт, работающих в пыльных помещениях до 8 часов в сутки, если годовое число обслуживаний составляет $n_{ТО}=7$.
8. Определить недостающие в таблице показатели электромонтажного предприятия за год работы. Здесь c_0 – удельная себестоимость работы; $ц$ – цена; $Д$ – доход; $П_в$ – прибыль валовая; $П_ч$ – прибыль чистая; $Н$ – ставка налогообложения, приведенная к прибыли; $У_p$ – уровень рентабельности.

c_0 , руб./ед. продук- ции	$ц$, руб./ ед. продук- ции	$М$, ед. продук- ции	$Д$, тыс. руб.	$П_в$, тыс. руб.	$П_ч$, тыс. руб.	$Н$, %	$У_p$, %
5	8	100000	800	300		42	

9. Определить убытки от очереди заявок, если длина очереди $n \leq 3$, а средняя длительность интервала времени между заявками $T_a=2\text{ч}$. Среднее время ожидания заявки в очереди $t_{оч}=7\text{ч}$, убытки клиента составляют $q=100$ руб./ч.
10. Обосновать площадь базы по ремонту электрооборудования с объёмом 1400 УЕЭ.
11. Определить численность персонала электротехнической службы птицефабрики, если затраты труда на техническое обслуживание равны 5440 чел·ч, текущего ремонта - 7550 чел·ч, капитального ремонта - 2300 чел·ч. Объем электрооборудования составляет 930 УЕЭ.

12. Определить годовые трудозатраты на техническое обслуживание 100 электродвигателей мощностью 5,5 кВт, работающих в пыльных помещениях до 8 часов в сутки, если годовое число обслуживаний составляет $n_{ТО} = 7$.
13. Составить структуру электротехнической службы хозяйства при затратах труда 4700 чел·ч на техническое обслуживание, 8600 чел·ч на текущий ремонт и 3700 чел·ч на капитальный ремонт. Объем электрооборудования составляет 915 УЕЭ.
14. Выбрать штат ИТР и определить численность электромонтеров по группам. Известно, что затраты труда на проведение технического обслуживание электрооборудования составляют 5100 чел·ч, на проведение технического ремонта - 6900 чел·ч, на капитальный ремонт - 5100 чел·ч. Объем электрооборудования составляет 1200 УЕЭ.
15. Хозяйство заключило договор со сторонней организацией на проведение текущего ремонта (ТР) электрооборудования объемом $Q = 500$ УЕЭ. Необходимо определить прибыль от реализации этой услуги при себестоимости $S_{ТР} = 45$ руб./УЕЭ, если по договору организация оплачивает $C_{ТР} = 54$ руб./УЕЭ. Рабочий фонд времени электромонтера составляет 1760 часов. Время выполнения одной УЕЭ равно $t_{ТР} = 8,2$ часа.
16. Определить количество электромонтеров для технического обслуживания электрооборудования объемом 600 УЕЭ, если рабочий фонд времени электромонтера $T_p = 1770$ часов, а техническое обслуживание одной УЕЭ составляет в среднем 6 часов.
17. Рассчитать прибыль хозяйства от технического обслуживания (ТО) электрооборудования сторонней организации объемом $Q_{ТО} = 100$ УЕЭ при себестоимости работ $S_{ТО} = 12$ руб./УЕЭ, если по договору организация платит $C_{ТО} = 15$ руб./УЕЭ. Рабочий фонд электромонтера составляет 1760 часов, а удельное время $t_{ТО} = 6$ ч/УЕЭ.
18. Выбрать штат ИТР и определить численность электромонтеров по группам. Известно, что затраты труда на проведение технического обслуживание электрооборудования составляют 5100 чел·ч, на проведение технического ремонта - 6900 чел·ч, на капитальный ремонт - 5100 чел·ч. Объем электрооборудования составляет 1200 УЕЭ.
19. Определить гарантированное число электромонтеров, обеспечивающих выполнение максимально возможного объема работ при наихудших условиях, если в результате обследования $\tau_{max} = 14$ ч, $\tau_{min} = 12$ ч, $f_{max} = 10$ ч, $f_{min} = 8$ ч и рассчитанное число электромонтеров $N = 10$.

20. Рассчитать прибыль хозяйства от технического обслуживания (ТО) электрооборудования сторонней организации объемом $Q_{ТО}=100$ УЕЭ при себестоимости работ $S_{ТО}=12$ руб./УЕЭ, если по договору организация платит $C_{ТО}=15$ руб./УЕЭ. Рабочий фонд электромонтера составляет 1760 часов, а удельное время $t_{ТО} = 6$ ч/УЕЭ.
21. Вычислить количество электромонтеров, необходимых для технического обслуживания (ТО) 600УЕЭ электрооборудования, если фонд времени электромонтера составляет $T_p=1770$ ч, а время ТО одной УЕЭ - в среднем 6,1ч.
22. Вычислить количество электромонтеров, необходимых для технического обслуживания (ТО) 600УЕЭ электрооборудования, если фонд времени электромонтера составляет $T_p=1770$ ч, а время ТО одной УЕЭ - в среднем 6,1ч.
23. Определить количество электромонтеров для технического обслуживания электрооборудования объемом 600 УЕЭ, если рабочий фонд времени электромонтера $T_p=1770$ часов, а техническое обслуживание одной УЕЭ составляет в среднем 6 часов.

5 Проектирование нагревательных установок

5.1 Краткие теоретические сведения

Расчёт ЭНУ – это анализ процессов нагрева вещества и плавления. Мощность нагрева установок периодического и непрерывного действия

$$P_{НАГРЕВ.П} = \frac{mc(T_2 - T_1)}{t}; \quad P_{НАГРЕВ.Н} = m_t \cdot c(T_2 - T_1), \quad (5.1)$$

где m - масса, кг; c - удельная теплоемкость, кДж/кг·К; T_1 и T_2 - начальная и конечная температура, К; t - время нагрева, с; m_t - производительность, кг/с.

Тепловая мощность плавления (или испарения) для ЭНУ

$$P_{\phi.П} = \frac{m(c(T_2 - T_1) + g)}{t}; \quad P_{\phi.Н} = m_t \cdot (c(T_2 - T_1) + g), \quad (5.2)$$

где g – удельная теплота изменения фазового состояния материала, кДж/кг.

Расчетная мощность ЭНУ учитывает потери тепловым КПД:

$$P_{РАСЧ} = \frac{P_{НАГРЕВ} + P_{\phi}}{\eta_T} = \frac{P_{ТЕПЛ}}{\eta_T}, \quad (5.3)$$

а электрическая мощность - потери в трансформаторе (преобразователе)

$$P_{ЭЛ} = \frac{P_{РАСЧ}}{\eta_{Э}} = \frac{\eta_{Э} \cdot P_{ТЕПЛ}}{\eta}, \quad (5.4)$$

где $\eta = \eta_{Э} \cdot \eta_{Т}$ – КПД электротермической установки.

С учётом коэффициента запаса $K_{зап} = 1,1 \dots 1,3$ установленная мощность

$$P_{УСТ} = K_{зап} \cdot P_{ЭЛ} = \frac{K_{зап} \cdot P_{ТЕПЛ}}{\eta_{Т} \cdot \eta_{Э}}. \quad (5.5)$$

Установленную мощность ЭНУ можно определить также по удельному расходу электроэнергии $A_{уд}$ на нагрев, кВт·ч/т, и производительности M , т/ч

$$P_{УСТ} = M \cdot A_{уд}. \quad (5.6)$$

Тепловой и электрический КПД определяют выражениями:

$$\eta_{Т} = \frac{P_{ТЕПЛ}}{P_{РАСЧ.ТЕПЛ}} = \frac{P_{РАСЧ.ТЕПЛ} - \Delta P_{ТЕПЛ}}{P_{РАСЧ.ТЕПЛ}}; \quad \eta_{Э} = \frac{P_{РАСЧ.ТЕПЛ}}{P_{ЭЛ}} = \frac{P_{ЭЛ} - \Delta P_{ЭЛ}}{P_{ЭЛ}}, \quad (5.7)$$

где $\Delta P_{ТЕПЛ}$ и $\Delta P_{ЭЛ}$ – тепловые и электрические потери, кВт.

При питании непосредственно от сети $\eta_{Э} = 1$, тогда для ЭНУ непрерывного действия $\eta = 0,95 \dots 0,98$ и периодического действия – $\eta = 0,7 \dots 0,95$.

Электроконтактный нагрев

Электроконтактный нагрев используется для точечной, шовной, стыковой сварки и наплавки изношенных поверхностей деталей машин.

Для электроконтактного ЭНУ определяют мощность понижающего трансформатора и корректируют её с учётом ПВ:

$$S_{Тр} = \frac{K_{зап} \cdot P_{ТЕПЛ}}{\eta \cdot \cos \varphi}; \quad S_{Тр}' = S_{Тр} \sqrt{ПВ}, \quad (5.8)$$

$\cos \varphi = 0,82 \dots 0,85$. Далее рассчитывают рабочее напряжение

$$U = \frac{70,7 \cdot l}{\sqrt{\tau \cdot \eta}}, \quad B \quad (5.9)$$

где l – длина нагреваемой заготовки, м; τ – время нагрева, с; η – КПД ЭНУ.

В ЭНУ сопротивления проводником является нагреваемый материал. Прямой нагрев, Джоулевым теплом, подразделяют на два вида:

- электроконтактный (нагрев металлов, сплавов, графита, т.е. проводников первого рода);
- электродный, используемый для нагрева воды, молока, сочных и влажных кормов, т.е. проводников второго рода и полупроводников.

Мощность, выделяемая в проводнике от протекающего электрического тока при температуре T , (Вт):

$$P_{мс}(T) = I(T)^2 R(T) = U^2 / R(T) \quad (5.10)$$

где $I(T)$ - сила тока, А; U - напряжение источника, В; $R(T)$ - сопротивление, зависящее от температуры.

Электродный нагрев

Мощность, выделяемая в жидком проводнике, заключенном между двумя электродами шириной b с расстоянием l между ними, с учетом высоты электродов h и геометрического коэффициента $k = l/b$ равна

$$P_{жид}(T) = U^2 \cdot \gamma_0 \cdot h / k, \quad (5.11)$$

где γ_0 - удельная проводимость воды при температуре T , $\text{м} \cdot \text{м}^{-1}$.

Последовательность расчета электродной ЭНУ.

1. Выбирают электродную систему.
2. Задаются b (плоских) или диаметром d цилиндрических электродов.
3. Находят расстояние l при допустимой напряженности электрического поля (для воды $(125 \dots 150) \cdot 10^4$ В/м)

$$l = U / E_{дон}. \quad (5.12)$$

4. Определяют высоту электродов при средней удельной электропроводности жидкости, $\gamma_{ср}$, $\text{см} \cdot \text{м}^{-1}$

$$h = \frac{m_t \cdot c \cdot k(T_2 - T_1)}{U^2 \cdot \gamma_{ср} \cdot \eta}, \quad (5.13)$$

Площадь сечения электродов проверяют по допустимой плотности тока

$$s \geq K_H \cdot I_{Тмакс} / \delta_{дон}, \quad (5.14)$$

где $K_H = 1, 1 \dots 1, 4$ - коэффициент неравномерности тока по поверхности электродов; $I_{Тмакс}$ - ток при температуре $T_{макс}$, А; $\delta_{дон}$ - допустимая плотность тока (для воды $(0,5-2) \cdot 10^4$ А/м²).

При **косвенном электронагреве** теплота образуется в электронагревателях и теплопроводностью, конвекцией или излучением передается нагреваемому материалу. Мощность нагревателя длиной l (м) и поперечным сечением F (м²)

$$P_{НАГРЕВ} = \frac{U^2 \cdot F}{\rho_T \cdot l}, \quad (5.14)$$

где ρ_T - удельное сопротивление проводника

$$\rho_T = \rho_{20}(1 + \alpha(T-20)), \quad (5.15)$$

где α - температурный коэффициент сопротивления, °С.

Для нагревателей по исполнению открытых, закрытых и герметичных выбирают напряжение питания, способ регулирования мощности, определяют размеры нагревателя. Питание ЭНУ осуществляется от сети 380/220В, а в особо сырых помещениях - 12, 24, 36 В. Мощность регулируют напряжением (автотрансформаторами, усилителями), сопротивлением нагревателей, введением диэлектрического экрана между электродами, а также числом секций в трехфазных ЭНУ. Геометрические размеры нагревателей определяют последовательным приближением или экспериментально.

Трубчатые нагреватели (ТЭН) выбирают по расчетной поверхности

$$A_{расч} = P_{ЭНУ}/p_{дон} = K_{зан} \cdot P_{ТЕПЛ}/(\eta \cdot p_{дон}), \quad (5.15)$$

где $P_{ЭНУ}$ - расчетная мощность ЭНУ, кВт; $p_{дон}$ - допустимая удельная мощность поверхности трубки нагревателя, Вт/м²; $K_{зан}$ - коэффициент запаса, 1,1...1,3; η – КПД установки. По $A_{расч}$ выбирают каталожный ТЭН, находят $A_{акт}$ и определяют число нагревателей

$$n = A_{расч}/A_{акт}, \quad (5.16)$$

которое в зависимости от расчетной мощности ЭНУ и мощности одного ТЭН, должно быть кратно трем при использовании в трехфазной системе.

Электродуговой нагрев в сельском хозяйстве применяется для электросварки. Сварочный ток для электродов диаметром $d_{эл}$, мм

$$I_{св} \approx (20 + 5d_{эл}) \cdot d_{эл}. \quad (5.17)$$

При выборе параметров источников питания для электродуговой сварки (U_{xx} , внешняя характеристика, способ регулирования тока сварки) учитывается обеспечение устойчивого горения дуги, стабильность режимов сварки и безопасность эксплуатации.

Индукционный нагрев, основанный на поглощении электромагнитной энергии металлическими телами в быстропеременном поле, используется при ремонте сельскохозяйственной техники. В сельскохозяйственном производстве индукционные ЭНУ применяют также для ремонта техники, нагрева воды, обогрева полов и почвы.

Частота поверхностного нагрева на глубину (закалка), Гц или глубина нагрева x_k , мм определяются формулами:

$$f = 0,66/x_k^2; \quad x_k = 50/\sqrt{f}. \quad (5.18)$$

При сквозном нагреве изделия цилиндрического диаметром d (м) или плоского толщиной b (м) с относительной магнитной проницаемостью μ и удельным сопротивлением ρ , Ом·м необходима частота от 50 до 200 кГц:

$$\frac{1 \cdot 10^4 \cdot \rho}{\mu \cdot b^2} \leq f \leq \frac{6 \cdot 10^6 \cdot \rho}{\mu \cdot b^2}, \quad (5.19)$$

Установленная мощность индукционного генератора

$$P_{уст} = \frac{P_G}{\eta_G} = \frac{P_{тепл}}{\eta_{инд} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_G}, \quad (5.20)$$

где P_G - мощность генератора, кВт; η_G , $\eta_{инд}$ и $\eta_{тр}$ - КПД генератора (0,7...0,9), индуктора (0,9-0,95) и трансформатора (0,75...0,96).

Для питания индукционных ЭНУ применяются машинные и тиристорные преобразователи (0,5...10 кГц) и ламповые генераторы от 60 кГц и выше мощностью от 60 до 500 кВт.

Диэлектрический нагрев частотой 2...200 МГц используют для диэлектриков, полупроводников и проводников второго рода. Вещество в конденсаторе поляризуется, появляется ток проводимости и оно нагревается. В сельском хозяйстве диэлектрическими ЭНУ сушат семена, зерно, пастеризуют и стерилизуют молоко, консервную продукцию, губят сорняки.

Объемная активная мощность нагрева диэлектрика (Вт/м³)

$$P_V = 0,555 \cdot 10^{10} \cdot f \cdot E^2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (5.21)$$

где ε - относительная диэлектрическая проницаемость; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь. Далее определяют мощность генератора

$$P_G = \frac{P_V \cdot V}{\eta_t \cdot \eta_K \cdot \eta_L}, \quad (5.22)$$

где V - объем материала, м³; η_t , η_K и η_L - термический КПД (потери в конденсаторе контура), контура и линии, соединяющей выводы генераторной лампы с контуром. Находят допустимую напряженность $E_{дон}$ (В/м) исходя из электрической прочности вещества

$$E_{дон} = \frac{E_{дэ}}{1,5...2}. \quad (5.23)$$

Определяют частоту тока в диапазоне, с учетом нужной скорости нагрева $\Delta T/\Delta t$ материала ($f_{мин}$) и резонанса колебательного контура ($f_{макс}$):

$$f_{\min} = \frac{1,8 \cdot 10^{10} \cdot \gamma \cdot c \cdot \Delta T}{E_{\text{доп}} \cdot \varepsilon \cdot t g}; \quad f_{\max} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{\min} C_{\min}}}, \quad (5.24)$$

где γ - плотность материала, кг/м³; c - удельная теплоемкость материала, Дж/кг·°С; ΔT - разность температур, К; t - время нагрева, ч; L_{\min} , C_{\min} - минимальные индуктивность и емкость колебательного контура, Гн, мкФ.

Водонагреватели и паробразователи снижают единичную мощность в системах отопления и горячего водоснабжения, вентиляции, технологических процессах, снижают затраты на обслуживание, сокращают длину тепловых сетей. Различают по технологическому назначению водонагревательные и парогенераторные, по виду нагрева элементные, электродные и индукционные ЭНУ, по характеру действия проточные и аккумуляционные ЭНУ.

Мощность проточного, аккумуляционного водонагревателя с учётом максимальной, суточной потребности в теплоте Q_{\max} , Дж/ч; $Q_{\text{сут}}$, Дж

$$P_{\text{РАСЧ.прот}} = \frac{Q_{\max}}{3600 \cdot \eta_{\text{ЭНУ}} \cdot \eta_{\text{ТС}}}, \quad P_{\text{РАСЧ.акк.}} = \frac{K_{\text{зап}} \cdot Q_{\text{сут}}}{t \cdot \eta_{\text{ЭНУ}} \cdot \eta_{\text{ТС}}}, \quad (5.25)$$

где $\eta_{\text{ЭНУ}}$, $\eta_{\text{ТС}}$ - КПД ЭНУ, тепловых сетей; $K_{\text{зап}}=1,2...1,3$ - коэффициент запаса; t - время работы ЭНУ в течение суток, с.

Далее находят потребность в технологической теплоте:

$$Q_{\text{ТВ}} = q_{\text{В.Г}} \cdot c(T_2 - T_x), \text{ Дж}, \quad Q_{\text{ТП}} = q_{\text{П.Г}}(h_{\text{Г}} - h_x), \text{ Дж}, \quad (5.26)$$

где $q_{\text{В.Г}}$ и $q_{\text{П.Г}}$ - расход горячей воды и пара, кг; c - удельная теплоемкость воды, Дж/кг·°С; T_2 и T_x , °С; $h_{\text{Г}}$ и h_x - энтальпия пара и конденсата, Дж/кг.

Далее находят объем резервуара для горячей воды

$$V_{\text{АК}} = \frac{Q_{\text{АК}}}{c \cdot \rho(T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}})}, \quad (6.27)$$

где ρ - плотность воды, кг/м³; $T_{\text{вых}}$ и $T_{\text{вх}}$ - температура на выходе и входе резервуара, °С. Максимальная температура воды составляет 90...95°С.

Отопительные ЭНУ - электрокалориферные, электропечные, электрокотельные, элементные, комбинированные и служат для общего отопления. Электрообогреваемые полы и панели, лучистые, инфракрасные ЭНУ применяют для местного отопления.

Оптимизация микроклимата увеличивает прирост живой массы скота до 25%, надой молока на 20%, снижает потери продукции при хранении до 20%.

Тепловая мощность электрокалорифера (калориферной ЭНУ)

$$P = \frac{K_{\text{зап}} \cdot V_{\text{возд}} \cdot \rho \cdot c(T_2 - T_1)}{\eta}, \quad (5.28)$$

где $K_{зан}$ - коэффициент запаса (1,1...1,2);; $\rho_{возд}$ и $c_{возд}$ – плотность и удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг·°С; $V_{возд}$ - подача воздуха, м³/с.

При отличии условий эксплуатации калориферной ЭНУ от паспортных выполняют проверку температур выходящего воздуха $T_2 \leq 50^\circ\text{C}$ и поверхности ТЭН $T_{пов.ТЭН} \leq 180...190^\circ\text{C}$. Превышение этих норм уменьшает срок службы нагревателей.

Температура воздуха на выходе калориферной установки

$$T_2 = \frac{P}{\rho \cdot c \cdot V}. \quad (5.29)$$

Электрические печи позволяют аккумулировать тепло, т.к. работают по принципу заряд - нагрев до 500...7000°С и разряд - запасенная теплота распределяется продуванием воздуха.

Мощность, Вт, нагревательного устройства определяется формулой:

$$P_{ЭНУ} = K_{зан} \cdot P_{расч} \cdot t_p / t_z, \quad (5.30)$$

где $K_{зан}$ - коэффициент, учитывающий запас мощности и потери тепла; $P_{расч}$ - расчетная мощность отопления, Вт; t_p и t_z - время разряда и заряда, с.

Содержание разных возрастных групп животных в помещениях требует различных условий микроклимата. Поэтому наряду с системой общего отопления используют местный обогрев, повышающий продуктивность животных на 10...15%, сохранность молодняка в 3...4 раза и позволяет сберегать электроэнергию.

Мощность нагревательных проводов, Вт электрообогреваемых полов

$$P = \Phi \cdot F / \eta, \quad (5.31)$$

где $\Phi = \alpha(T_n - T_e)$ - тепловой поток, направленный от поверхности пола, Вт/м²; α - коэффициент теплоотдачи, 10...12 Вт/м²·°С; T_n и T_e - температуры поверхности пола и воздуха, °С; F - площадь обогреваемого пола, м²; $\eta = (0,7...0,85)$ - КПД обогревателя. Длину нагревательного провода с шагом укладки β , м

$$L = F / \beta \quad (5.32)$$

проверяют по допустимой удельной мощности, $p_{уд.дон.}$ (Вт/м)

$$L = p / p_{уд.дон.}, \quad (5.33)$$

где p – погонная плотность мощности нагревательного провода, Вт/м.

Число параллельных проводов в фазе

$$m = \frac{P}{U \sqrt{r_0 / P_{yo}}}, \quad (5.34)$$

где U - фазное напряжение, В; r_0 - удельное сопротивление провода, Ом/м.

Длина провода, подключаемого к фазе, м

$$l_{\phi} = L/m. \quad (5.35)$$

В теплицах, эксплуатируемых круглый год, наиболее экономичен по затратам электроэнергии и агротехническим показателям почвенно-воздушный обогрев. Воздушный обогрев применяют в теплицах весной, летом и осенью, почвенный обогрев - для выращивания рассады в парниках. В основном используют элементный обогрев почвы и электрокалориферный - воздуха.

Мощность электроустановок для обогрева объектов защищенного грунта следует определять по уравнению теплового баланса. Однако на практике пользуются приближенной формулой

$$P = K_T \cdot F_{ост} (T_{Вн} - T_{Нар}), \text{ Вт} \quad (5.36)$$

где K_T - приведенный коэффициент теплопередачи через остекление теплиц и парников (4...12 Вт/м²°С при скорости ветра до 10 м/с); $F_{ост}$ - площадь остекления, м²; $T_{Вн}$ и $T_{Нар}$ - температуры внутри и снаружи, °С.

Для парников удельная поверхностная мощность составляет 150...200 Вт/м², для весенних теплиц 100...160 Вт/м². Мощность почвенного нагревателя в среднем составляет от 33 до 66% расчетной мощности.

Электротермическое оборудование для хранения картофеля, овощей, фруктов, мясомолочной продукции выбирают из уравнения теплового баланса по мощности, необходимой для подогрева воздуха. При хранении картофеля температура должна составлять 2...5°С, корнеплодов - 0,5...1°С, лука - 0...3°С; влажность воздуха в хранилищах с картофелем и овощами - 80...95%, лука - 60...70%. Для поддержания заданного температурно-влажностного режима в хранилищах производят активное вентилирование продукции, подогрев и охлаждение воздуха, используя вентиляторы, электрокалориферы, холодильные агрегаты, увлажнительные установки и кондиционеры.

При температуре наружного воздуха ниже - 20°С воздух в хранилищах подогревают, подача воздуха при этом составляет 70 м³/т картофеля и корнеплодов, 150 м³/т капусты и лука. Расчет мощности электроподогревателей воздуха производится на основе материального и теплового баланса сушильной установки. Масса испаряемой влаги, кг

$$M_{Вл} = \frac{M(V_1 - V_2)}{100 - V_2}, \quad (5.37)$$

где M - масса сырого материала, кг; V_1, V_2 - начальная и конечная влажность материала, %. Подача вентилятора должна при плотности воздуха ρ , кг/м³

$$Q = \frac{M_{Вл} \cdot 10^3}{\rho \cdot t_c (\mu_2 - \mu_1)}, \quad (5.38)$$

где μ_2, μ_1 - содержание влаги в воздухе входящего и выходящего, г/кг; t_c - время сушки, с.

Влагосодержание μ_1 определяют при температуре $T_1, ^\circ\text{C}$ и относительной влажности φ_1 , % наружного воздуха, а μ_2 при температуре T_2 и относительной влажности φ_2 выходящего воздуха. На практике принимают, что $T_2 = T_1 - (3..4)^\circ\text{C}$ и $\varphi_2 = 80\%$. Тогда мощность калорифера, Вт;

$$P = \frac{Q \cdot \rho (h_1 - h_2)}{K_n \cdot \eta}, \quad (5.39)$$

где h_1 и h_2 - энтальпия воздуха после и до прохождения через калорифер, Дж/кг; $K_n = 08..09$ - коэффициент потерь воздуха в сушилке; $\eta = 0,9..0,95$ - КПД калорифера. Влагосодержание и энтальпии определяют из специальной литературы или по диаграмме $h(\mu)$.

5.2 Задачи для самостоятельного решения

1. Обосновать выбор электрокалориферов для отопления подогретым приточным воздухом помещения фермы с удельным объемом $V_{уд} = 7 \text{ м}^3/\text{гол}$ и удаления избыточной влаги при $T_{нар.воздух} = -22^\circ\text{C}$, если удельные потери тепловой энергии равны $w_{уд} = 3,8 \text{ кДж}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.
2. Выбрать электродный паровой котел для запаривания 10 кг грубых и 3 кг сочных кормов на голову в сутки, если расход пара составляет 0,5 кг/кг грубых и 0,15 кг/кг сочных кормов, а запаривание осуществляется по 2,5 часа два раза в сутки.
3. Выбрать ТЭНы для секционного регулирования мощности в соотношении 0,33:0,66:1 электрокалорифера, который должен обеспечивать подогрев приточного воздуха до $+5^\circ\text{C}$ с подачей $22500 \text{ м}^3/\text{ч}$ в хранилище. Изобразить силовую часть схемы переключения мощности электрокалориферной установки в указанном соотношении.
4. Определить мощность электрического обогрева теплицы, если для климатической зоны средней полосы требуемая удельная поверхностная мощность $r_F = 145 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Площадь теплицы составляет 320 м^2 . Температура в теплице $+16^\circ\text{C}$ при наружной температуре равной -10°C .
5. Вычислить длину провода однофазного нагревателя из нихрома (допустимая плотность мощности нагрева $r_{доп} = 6 \cdot 10^4 \text{ Вт}/\text{м}^2$, удельное сопротивление $\rho_t = 1,1 \cdot 10^{-6} (1 + 1,5 \cdot 10^{-4} t) \text{ Ом} \cdot \text{м}$) для нагрева 50 кг воды с начальной температу-

- рой $+5^{\circ}\text{C}$ до $+70^{\circ}\text{C}$ за время 40 минут. Потребляемая мощность нагревателя $P=12$ кВт при напряжении сети $U_c=220\text{В}$, тепловой КПД нагревателя $\eta_t=0,9$.
6. Рассчитать длину оцинкованного провода с $r_{уд}=0,02\text{Ом/м}$ и $p_{доп}=20\text{Вт/м}$ для элемента с $U_p\leq 36$ В нагревателя из 21 элемента, включенных «звездой» в сеть 380/220 В. Составить электрическую принципиальную схему управления нагревателем. Определить сопротивление одного метра оцинкованной проволоки при повышении ее температуры до 150°C , если при температуре 20°C ее сопротивление составляет $0,02$ Ом/м., температурный коэффициент изменения сопротивления стали равен $0,015$.
 7. Выбрать из электрокалориферов СФОА100 и СФО60 нужные для отопления помещения фермы с $V_{уд}=7$ м³/гол подогретым приточным воздухом и удаления избыточной влаги при $T_{нар.воздух} = -22^{\circ}\text{C}$ и удельных тепловых потерях $3,8$ кДж/(ч·м³·°C). Выбрать автоматический выключатель для защиты электродвигателей вентиляторов выбранных установок. Фермы на 200 голов крупного рогатого скота
 8. Выбрать ТЭНы для подогрева воды в проточном режиме от $+9,5^{\circ}\text{C}$ до $+14,5^{\circ}\text{C}$ в системе поения, если одно животное потребляет 15 л воды в сутки. Составить схему управления и защиты водонагревателя. Определить суточный расход электроэнергии на подогрев воды. Откормочной фермы на 1000 голов крупного рогатого скота
 9. Выбрать электродный паровой котел для запаривания 10 кг грубых и 3 кг сочных кормов в сутки на голову, если расход пара составляет 0,5 кг/кг грубых и 0,15 кг/кг сочных кормов, а запаривание осуществляется два раза в сутки по 2,5 часа. Определить суточный расход электроэнергии на запаривание кормов. Ферма на 200 голов.
 10. Обосновать выбор электрокалориферов для отопления подогретым приточным воздухом помещения фермы с удельным объемом $V_{уд}=4$ м³/гол и удаления избыточной влаги при $T_{нар.воздух} = -22^{\circ}\text{C}$, если удельные потери тепловой энергии равны $w_{уд} = 3,8$ кДж/(ч·м³·°C). Телятник на 400 голов
 11. Выбрать электродный паровой котел для запаривания 10 кг грубых и 3 кг сочных кормов на голову в сутки, если расход пара составляет 0,5 кг/кг грубых и 0,15 кг/кг сочных кормов, а запаривание осуществляется по 2,5 часа два раза в сутки. Телятник на 400 голов
 12. Определить мощность электрического обогрева теплицы, если площадь одинарного остекления стеклом толщиной 3 мм с коэффициентом теплопроводности $0,745\text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ составляет 320м^2 , коэффициент внутреннего тепловосприятия - $10\text{Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, коэффициент теплоотдачи наружу - $25\text{Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$, а потери через грунт составляют 10% от потерь через остекление. Температура в теплице $+16^{\circ}\text{C}$ при наружной температуре равной -10°C .
 13. Выбрать ТЭНы для подогрева воды в проточном режиме от $+9,5^{\circ}\text{C}$ до $+14,5^{\circ}\text{C}$ в системе поения, если одно животное потребляет 1,5 л воды в сутки. Составить схему управления и защиты водонагревателя. Определить суточный расход электроэнергии на подогрев воды. Птичник на 20000 кур-несушек.

14. Вычислить длину провода однофазного нагревателя из нихрома (допустимая плотность мощности нагрева $p_{\text{доп}}=6 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$, удельное сопротивление $\rho_t=1,1 \cdot 10^{-6}(1+1,5 \cdot 10^{-4}t) \text{ Ом}\cdot\text{м}$) для нагрева 50кг воды с начальной температурой $+5^{\circ}\text{C}$ до $+70^{\circ}\text{C}$ за время 40 минут. Потребляемая мощность нагревателя $P=12 \text{ кВт}$ при напряжении сети $U_c=220\text{В}$, тепловой КПД нагревателя $\eta_t=0,9$.

Литература

1. Шашлов А.Б. Основы светотехники: учебник. М.: Логос, 2011. 256 с.
2. Лысаков А.А. Электротехнология. Курс лекций: учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский ГАУ, 2013. 124 с.
3. Оранский Ю.Г., Ли Н.И., Резванова Э.А. Основы светотехники: учебное пособие. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. 84 с.
4. Шашлов А.Б. Основы светотехники: учебник для вузов. М.: Логос, 2016. 256 с.
5. Зарандия Ж.А., Иванов Е.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования: учебное пособие. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 128 с.
6. Суворин А.В. Монтаж и эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения: учебное пособие. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. 400 с.
7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей в вопросах и ответах: пособие для изучения и подготовки к проверке знаний. М.: ЭНАС, 2014. 136 с.
8. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 174 с.
9. Стрельников Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 100 с.
10. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2015. 120 с.
11. Белоусов А.В. Сапрыка А.В. Электроснабжение: учебное пособие. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2016. 155 с.
12. Электроснабжение предприятий: учебное пособие / Б.Н. Абрамович и др. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. 297 с.
13. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: учебник. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. 363 с.
14. Епифанов А.П., Гущинский А.Г., Малайчук Л.М. Электропривод в сельском хозяйстве: учебное пособие. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2020. 224 с.
15. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Регулируемый асинхронный электропривод: учебное пособие. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2018. 464 с.
16. Муконин А.К., Романов А.В., Трубецкой В.А. Электрический привод: учебное пособие. Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. 87 с.
17. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Проектирование электропривода промышленных механизмов: учебное пособие. СПб.: Лань, 2014. 448 с.

18. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2013. 224 с.
19. Кузнецов А.Ю. Электрический привод и электрооборудование в АПК: практикум. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2016. 73 с.

Приложения

Приложение 1

Нормы освещенности зданий и сооружений

<u>Помещение</u>	<u>Рабочая поверхность, для которой нормируется освещенность</u>	<u>Освещенность, лк</u>	
		<u>При газоразрядных лампах</u>	<u>При лампах накаливания</u>
<u>Коровник</u>	<u>Пол, зона расположения кормушек</u>	<u>75</u>	<u>30</u>
<u>Телятник</u>	<u>Пол</u>	<u>100</u>	<u>50</u>
<u>Свинарник-маточник</u>	<u>Пол</u>	<u>75</u>	<u>30</u>
<u>Птичник</u>	<u>Кормушки, поилки</u>	<u>75</u>	<u>30</u>
<u>Гараж</u>	<u>0,8м от пола</u>	<u>200</u>	<u>150</u>
<u>Ремонтная мастерская</u>	<u>0,8м от пола</u>	<u>300</u>	<u>200</u>
<u>Кузница</u>	<u>0,8м от пола</u>	<u>200</u>	<u>150</u>
<u>Свинарник откорма</u>	<u>Пол</u>	<u>50</u>	<u>20</u>
<u>Кормоцех</u>	<u>0,8м от пола</u>	<u>100</u>	<u>50</u>
<u>Овощехранилище</u>	<u>Пол, проезды, проходы</u>	-	<u>20</u>
<u>Помещение для персонала</u>	<u>0,8м от пола</u>	<u>300</u>	<u>150</u>
<u>Коридоры, санузлы</u>	<u>Пол</u>	<u>75</u>	<u>30</u>
<u>Лаборатории</u>	<u>0,8м от пола</u>	<u>300</u>	<u>150</u>
<u>Венткамеры</u>	<u>Пол</u>	<u>150</u>	<u>75</u>
<u>Инвентарные</u>	<u>Пол</u>	-	<u>20</u>
<u>Тамбуры</u>	<u>Пол</u>	-	<u>10</u>
<u>Весовые</u>	<u>Пол</u>	<u>150</u>	<u>100</u>
<u>Моечные</u>	<u>Пол</u>	<u>150</u>	<u>100</u>
<u>Сортировочные</u>	<u>Зона работы</u>	<u>200</u>	<u>150</u>

Светильники, рекомендуемые в сельском хозяйстве

<u>Помещения</u>	<u>Наименования се- рии, тип</u>	<u>Мощность лампы, Вт</u>	<u>Количество ламп, шт</u>	<u>Защита</u>	<u>Тип кривых силы света</u>
<i>а) с лампами накаливания</i>					
<u>Сухие</u>	<u>НСП 01, НСП21</u>	<u>100, 200</u>	<u>1</u>	<u>IP 20</u>	<u>Д-2</u>
	<u>НСО 02</u>	<u>100, 150</u>	<u>1</u>	<u>IP 20</u>	<u>Д-2</u>
<u>Влажные</u>	<u>НСП 21</u>	<u>200</u>	<u>1</u>	<u>IP 53</u>	<u>Г-2</u>
	<u>НПО 18</u>	<u>40, 60</u>	<u>2</u>	<u>2'0</u>	<u>Д-1</u>
<u>Сырые с хими- чески агрессив- ной средой</u>	<u>НСП 02</u>	<u>60, 100, 200</u>	<u>1</u>	<u>IP 54</u>	<u>М</u>
	<u>ПСХ</u>	<u>60</u>	<u>1</u>	<u>IP 54</u>	<u>Д-1</u>
	<u>НСП 03</u>	<u>60</u>	<u>1</u>	<u>IP 54</u>	<u>М</u>
	<u>НПП 03</u>	<u>100</u>	<u>1</u>	<u>IP 54</u>	<u>Д-1</u>
<i>б) с люминесцентными лампами</i>					
<u>Сухие</u>	<u>ЛСП 02, ЛСП 06</u>	<u>40, 80</u>	<u>2</u>	<u>IP 20</u>	<u>Д-2</u>
	<u>ПВЛМ</u>	<u>40, 80</u>	<u>2</u>	<u>5'0</u>	<u>Г-1</u>
<u>Влажные</u>	<u>ЛПО 30</u>	<u>20, 40, 65</u>	<u>1, 2</u>	<u>IP 20</u>	<u>Д-2</u>
	<u>ЛСП 14</u>	<u>40</u>	<u>2</u>	<u>IP 54</u>	<u>Д-1</u>
	<u>ЛПО 16</u>	<u>20, 40</u>	<u>1</u>	<u>2'0</u>	<u>Д-1</u>
<u>Сырые с химиче- ски агрессивной средой</u>	<u>ЛСП 18</u>	<u>40, 65</u>	<u>2</u>	<u>5'4</u>	<u>Д-1</u>
	<u>ЛСП 21</u>	<u>40</u>	<u>2</u>	<u>5'4</u>	<u>Д-2</u>
	<u>ЛПО 03</u>	<u>20, 40</u>	<u>1</u>	<u>2'0</u>	<u>Д-1</u>
<i>в) с газоразрядными лампами высокого давления</i>					
<u>Сухие</u>	<u>РСП 08</u>	<u>125, 250</u>	<u>1</u>	<u>IP 20</u>	<u>Г-1</u>
	<u>ГСП 05</u>	<u>400, 700</u>	<u>1</u>	<u>IP 20</u>	<u>Г-1</u>
	<u>РСП 17</u>	<u>400, 700</u>	<u>1</u>	<u>IP 20</u>	<u>Г-1</u>
<u>Влажные</u>	<u>РСП 05</u>	<u>250, 400, 700</u>	<u>1</u>	<u>IP 23</u>	<u>Г-1</u>
	<u>РСП 13</u>	<u>400, 700</u>	<u>1</u>	<u>5'4</u>	<u>К-1</u>
<u>Сырые с химиче- ски агрессивной средой</u>	<u>ГСП 15</u>	<u>250, 400</u>	<u>1</u>	<u>IP 54</u>	<u>Г-2</u>
	<u>РСП 20</u>	<u>250</u>	<u>1</u>	<u>IP 63</u>	<u>Г-1</u>

Значение силы света (I^{1000} , кд) для светильников с типовыми КСС

<u>α, град</u>	<u>М</u>	<u>Л</u>	<u>Д-1</u>	<u>Д-2</u>	<u>Г-1</u>	<u>Г-2</u>	<u>К-1</u>
<u>0</u>	<u>159,2</u>	<u>154,8</u>	<u>233,4</u>	<u>333,5</u>	<u>337,3</u>	<u>503,0</u>	<u>1192</u>
<u>5</u>	<u>159,2</u>	<u>155,5</u>	<u>232,9</u>	<u>332,0</u>	<u>375,5</u>	<u>499,8</u>	<u>1173</u>
<u>10</u>	<u>159,2</u>	<u>158,2</u>	<u>229,2</u>	<u>228,2</u>	<u>370,3</u>	<u>490,2</u>	<u>1118</u>
<u>15</u>	<u>159,2</u>	<u>146,6</u>	<u>228,5</u>	<u>321,2</u>	<u>361,6</u>	<u>474,4</u>	<u>1026</u>
<u>20</u>	<u>159,2</u>	<u>175,5</u>	<u>224,7</u>	<u>311,8</u>	<u>349,8</u>	<u>452,7</u>	<u>902</u>
<u>25</u>	<u>159,2</u>	<u>190,7</u>	<u>220,0</u>	<u>300,0</u>	<u>334,3</u>	<u>425,1</u>	<u>750</u>
<u>30</u>	<u>159,2</u>	<u>210,8</u>	<u>214,1</u>	<u>285,5</u>	<u>316,0</u>	<u>392,1</u>	<u>574</u>
<u>35</u>	<u>159,2</u>	<u>235,1</u>	<u>207,1</u>	<u>268,8</u>	<u>294,7</u>	<u>354,1</u>	<u>380</u>
<u>40</u>	<u>159,2</u>	<u>261,8</u>	<u>199,3</u>	<u>249,8</u>	<u>270,7</u>	<u>311,7</u>	<u>174</u>
<u>45</u>	<u>159,2</u>	<u>281,6</u>	<u>190,6</u>	<u>228,9</u>	<u>244,2</u>	<u>265,3</u>	<u>0</u>
<u>50</u>	<u>159,2</u>	<u>282,3</u>	<u>180,0</u>	<u>206,0</u>	<u>215,4</u>	<u>215,5</u>	
<u>55</u>	<u>159,2</u>	<u>257,2</u>	<u>170,5</u>	<u>181,7</u>	<u>184,6</u>	<u>162,9</u>	
<u>60</u>	<u>159,2</u>	<u>212,9</u>	<u>159,2</u>	<u>155,4</u>	<u>152,0</u>	<u>108,3</u>	
<u>65</u>	<u>159,2</u>	<u>161,7</u>	<u>147,1</u>	<u>128,1</u>	<u>118,2</u>	<u>52,6</u>	
<u>70</u>	<u>159,2</u>	<u>113,6</u>	<u>134,3</u>	<u>99,8</u>	<u>83,1</u>	<u>0</u>	
<u>75</u>	<u>159,2</u>	<u>75,5</u>	<u>121,0</u>	<u>70,6</u>	<u>47,4</u>		
<u>80</u>	<u>159,2</u>	<u>35,8</u>	<u>106,9</u>	<u>40,8</u>	<u>11,1</u>		
<u>85</u>	<u>159,2</u>	<u>10,0</u>	<u>92,5</u>	<u>10,8</u>	-		
<u>90</u>	<u>159,2</u>	<u>0</u>	<u>77,5</u>	-	-		

Основные параметры ламп накаливания

<u>Тип лампы</u>	<u>Расчетное напряжение, В</u>	<u>Мощ- ность, Вт</u>	<u>Световой поток, лм</u>	<u>Средняя темпера- тура нити, К</u>	<u>Условная площадь, см²</u>
<u>Б220-230-40</u>	<u>225</u>	<u>40</u>	<u>415</u>	<u>2630</u>	<u>0,368</u>
<u>БК220-230-40</u>			<u>460</u>	<u>2680</u>	<u>0,367</u>
<u>Б230-240-40</u>	<u>235</u>	<u>40</u>	<u>410</u>	<u>2620</u>	<u>0,420</u>
<u>БК230-240-40</u>			<u>415</u>	<u>2670</u>	<u>0,390</u>
<u>Б220-230-60</u>	<u>225</u>	<u>60</u>	<u>715</u>	<u>2630</u>	<u>0,565</u>
<u>БК220-230-60</u>			<u>790</u>	<u>2700</u>	<u>0,540</u>
<u>Б230-240-60</u>	<u>235</u>	<u>60</u>	<u>705</u>	<u>2610</u>	<u>0,580</u>
<u>БК230-240-60</u>			<u>775</u>	<u>2700</u>	<u>0,540</u>
<u>Б220-230-75</u>	<u>235</u>	<u>75</u>	<u>950</u>	<u>2630</u>	<u>0,720</u>
<u>Б230-240-75</u>			<u>935</u>	<u>2630</u>	<u>0,720</u>
<u>Б215-225-100</u>	<u>220</u>	<u>100</u>	<u>1350</u>	<u>2680</u>	<u>0,895</u>
<u>БК215-225-100</u>			<u>1450</u>	<u>2710</u>	<u>0,900</u>
<u>Б220-230-100</u>	<u>225</u>	<u>100</u>	<u>1350</u>	<u>2650</u>	<u>0,950</u>
<u>БК220-230-100</u>			<u>1450</u>	<u>2680</u>	<u>0,935</u>
<u>Б230-240-100</u>	<u>235</u>	<u>100</u>	<u>1335</u>	<u>2630</u>	<u>0,980</u>
<u>БК230-240-100</u>			<u>1440</u>	<u>2700</u>	<u>0,916</u>
<u>Б235-245-100</u>	<u>240</u>	<u>100</u>	<u>1330</u>	<u>2625</u>	<u>0,985</u>
<u>Г215-225-150</u>	<u>220</u>	<u>150</u>	<u>2090</u>	<u>2730</u>	<u>1,190</u>
<u>Г220-230-150</u>	<u>225</u>		<u>2090</u>	<u>2730</u>	<u>1,190</u>
<u>Г230-240-150</u>	<u>235</u>	<u>150</u>	<u>2065</u>	<u>2720</u>	<u>1,200</u>
<u>Г235-245-150</u>	<u>240</u>		<u>2060</u>	<u>2715</u>	<u>1,210</u>
<u>Б215-225-200</u>	<u>220</u>	<u>200</u>	<u>2920</u>	<u>2730</u>	<u>1,640</u>
<u>Г215-225-200</u>			<u>2920</u>	<u>2730</u>	<u>1,580</u>
<u>Г220-230-200</u>	<u>225</u>	<u>200</u>	<u>2920</u>	<u>2730</u>	<u>1,640</u>
<u>Г230-240-200</u>	<u>235</u>		<u>2890</u>	<u>2730</u>	<u>1,640</u>
<u>Г215-225-300</u>	<u>220</u>	<u>300</u>	<u>4610</u>	<u>2740</u>	<u>2,690</u>
<u>Г225-235-300</u>	<u>230</u>		<u>4600</u>	<u>2730</u>	<u>2,710</u>

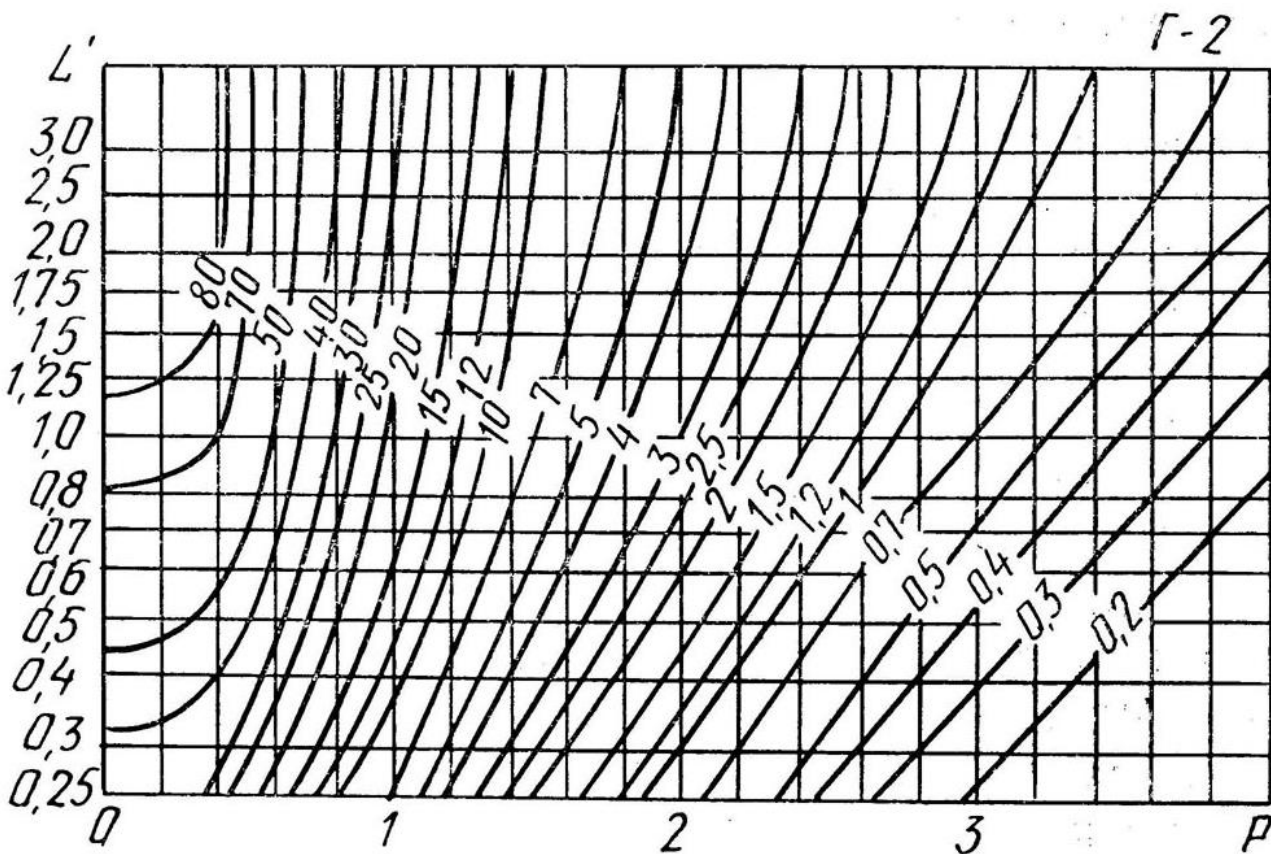
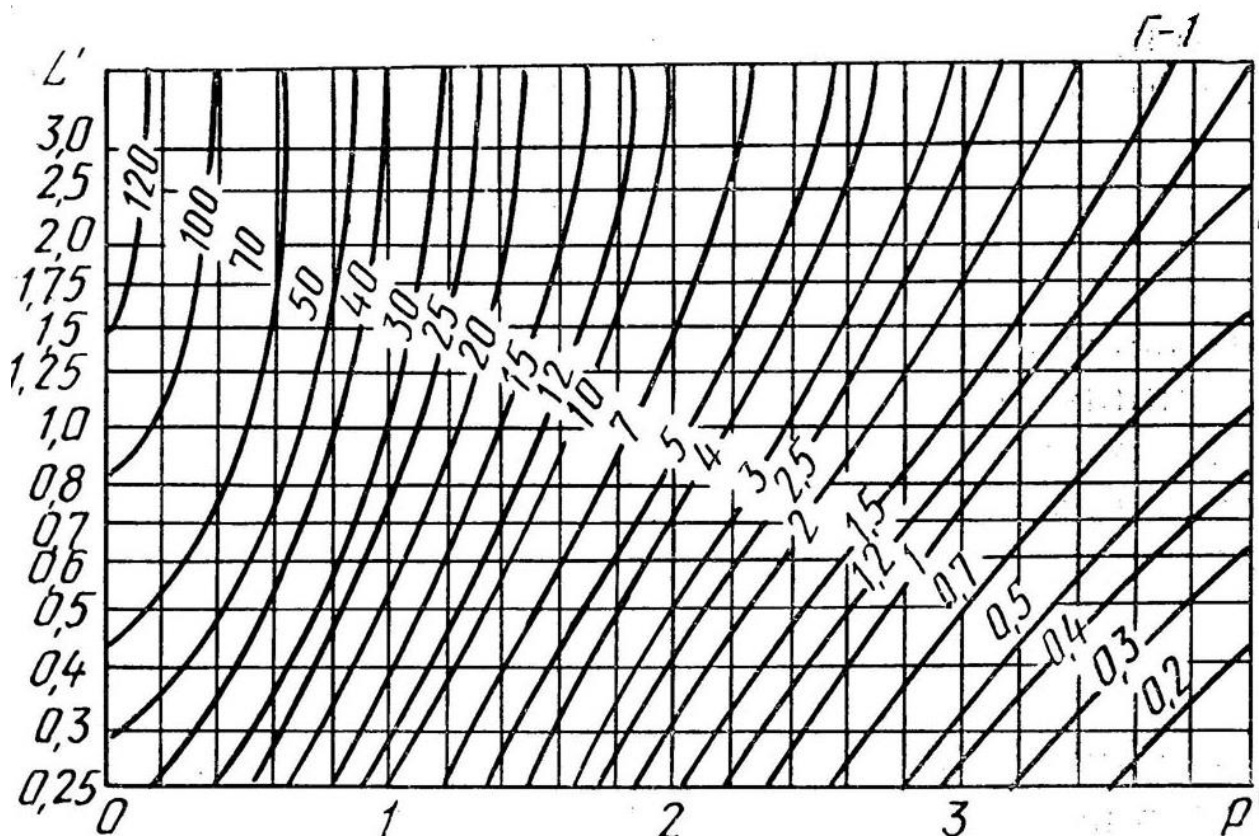
Основные параметры люминесцентных ламп низкого давления

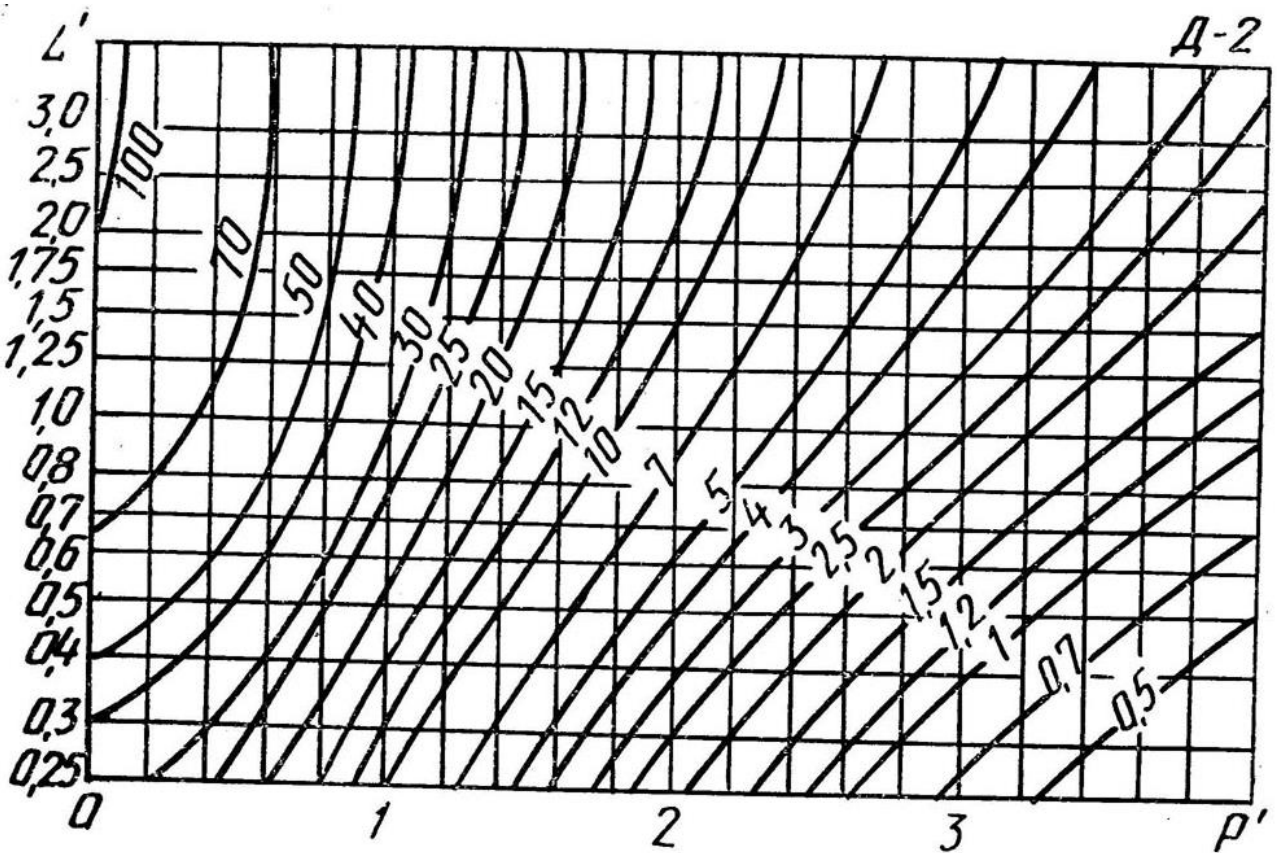
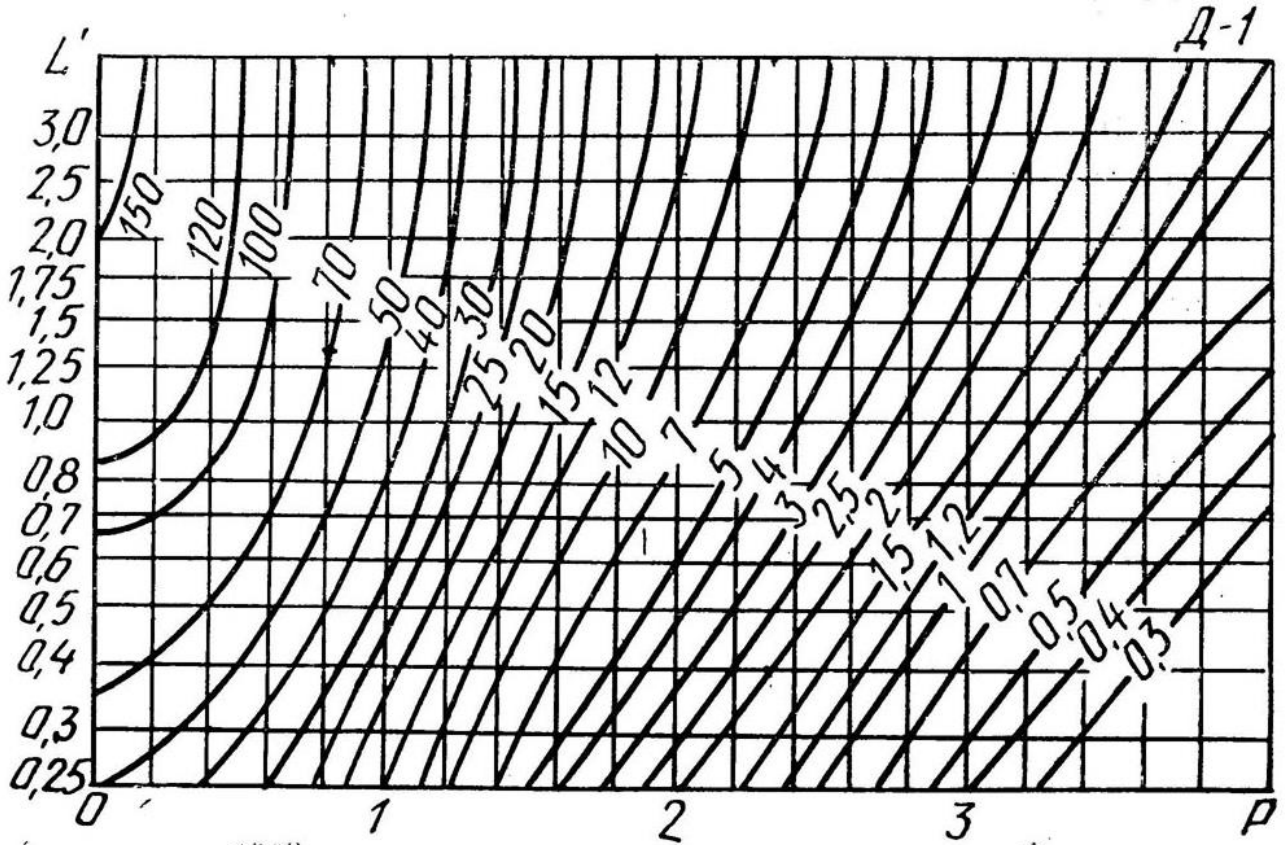
<u>Тип лампы</u>	<u>Мощность лампы, Вт</u>	<u>Напряжение на лампе, В</u>	<u>Ток лампы, А</u>	<u>Номин. световой поток, лм</u>	<u>Длина лампы, мм</u>	<u>Срок службы, т</u>
<u>ЛБ 20</u>				<u>1180</u>		
<u>ЛД 20</u>	<u>20</u>	<u>57</u>	<u>0,37</u>	<u>920</u>	<u>604</u>	
<u>ЛДЦ 20</u>				<u>820</u>		
<u>ЛБ 30</u>				<u>2100</u>		
<u>ЛД 30</u>	<u>30</u>	<u>104</u>	<u>0,36</u>	<u>1640</u>	<u>909</u>	
<u>ЛДЦ 30</u>				<u>1450</u>		
<u>ЛБ 40</u>				<u>3000</u>		
<u>ЛД 40</u>	<u>40</u>	<u>103</u>	<u>0,43</u>	<u>2340</u>	<u>1214</u>	<u>12000</u>
<u>ЛДЦ 40</u>				<u>2100</u>		
<u>ЛБ 65</u>				<u>4550</u>		
<u>ЛД 65</u>	<u>65</u>	<u>110</u>	<u>0,65</u>	<u>3570</u>	<u>1514</u>	
<u>ЛДЦ 65</u>				<u>3050</u>		
<u>ЛБ 80</u>				<u>5220</u>		
<u>ЛД 80</u>	<u>80</u>	<u>102</u>	<u>0,865</u>	<u>4070</u>	<u>1514</u>	
<u>ЛДЦ 80</u>				<u>3740</u>		

Технические характеристики газоразрядных ламп высокого давления

<u>Тип лампы</u>	<u>Мощность лампы, Вт</u>	<u>Напряжение на лампе, В</u>	<u>Ток лампы, А</u>	<u>Номин. световой поток, лм</u>	<u>Габариты, мм</u>		<u>Тип цоколя</u>
					<u>диаметр</u>	<u>длина</u>	
<u>ДРЛ 80</u>	<u>80</u>	<u>220</u>	<u>0,8</u>	<u>3400</u>	<u>81</u>	<u>165</u>	<u>E 27</u>
<u>ДРЛ 125</u>	<u>125</u>	<u>220</u>	<u>1,15</u>	<u>6000</u>	<u>91</u>	<u>184</u>	<u>E 27</u>
<u>ДРЛ 250</u>	<u>250</u>	<u>220</u>	<u>2,15</u>	<u>13000</u>	<u>91</u>	<u>227</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРЛ 400</u>	<u>400</u>	<u>220</u>	<u>3,25</u>	<u>23000</u>	<u>122</u>	<u>292</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРЛ 700</u>	<u>700</u>	<u>220</u>	<u>5,4</u>	<u>40000</u>	<u>152</u>	<u>368</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРЛ 1000</u>	<u>1000</u>	<u>220</u>	<u>7,5</u>	<u>58500</u>	<u>181</u>	<u>410</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРЛ 2000</u>	<u>2000</u>	<u>380</u>	<u>8,0</u>	<u>120000</u>	<u>187</u>	<u>445</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРИ 250</u>	<u>250</u>	<u>220</u>	<u>2,15</u>	<u>1900</u>	<u>91</u>	<u>227</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРИ 400</u>	<u>400</u>	<u>220</u>	<u>3,3</u>	<u>3500</u>	<u>122</u>	<u>290</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРИ 700</u>	<u>700</u>	<u>220</u>	<u>6,0</u>	<u>60000</u>	<u>152</u>	<u>370</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРИ 1000</u>	<u>1000</u>	<u>380</u>	<u>4,7</u>	<u>90000</u>	<u>176</u>	<u>390</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРИ 2000</u>	<u>2000</u>	<u>380</u>	<u>9,2</u>	<u>190000</u>	<u>100</u>	<u>430</u>	<u>E 40</u>
<u>ДРИ 3500</u>	<u>3500</u>	<u>380</u>	<u>18,0</u>	<u>350000</u>	<u>100</u>	<u>430</u>	<u>E 40</u>
<u>ДНаТ 250</u>	<u>250</u>	<u>220</u>	<u>3,1</u>	<u>25000</u>	<u>58</u>	<u>240</u>	<u>E 40</u>
<u>ДНаТ 400</u>	<u>400</u>	<u>220</u>	<u>4,6</u>	<u>47000</u>	<u>122</u>	<u>292</u>	<u>E 40</u>
<u>ДНаТ 700</u>	<u>700</u>	<u>380</u>	<u>4,7</u>	<u>84000</u>	-	-	-
<u>ДНаТ 1000</u>	<u>1000</u>	<u>380</u>	<u>5,3</u>	<u>125000</u>	-	-	-

Кривые линейных изолюкс





Коэффициенты использования светового потока осветительных установок со светильниками (люминесцентными лампами, лампами накаливания, ДРЛ).

Коэффициент отражения, %	<u>НСП 01, НСП 21, НСП22</u>				<u>НСП 02, НСП 03, НСП 20</u>				<u>НСП 11, НСХ, НПО 18, НСР 09</u>				<u>НПП 03, НПП04, ВЧА 60</u>				<u>НСО 02</u>				<u>ПЛК</u>								
	$\rho_{\text{П}}$	70	70	50	30	00	70	70	50	30	00	70	70	50	30	00	70	70	50	50	00	70	70	50	50	00			
$\rho_{\text{С}}$	50	50	30	10	00	50	50	30	10	00	50	50	30	10	00	50	50	50	30	00	50	50	50	30	00				
$\rho_{\text{Р}}$	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00				
Индекс помещения	<u>Коэффициент использования, %</u>																												
0,5	24	22	20	17	16	12	10	07	05	--	19	18	13	09	07	19	18	14	10	08	24	23	20	17	11	16	15	14	13
0,6	34	32	26	23	21	16	15	10	07	--	24	23	16	12	10	23	22	17	14	13	30	28	25	20	14	33	31	28	25
0,8	46	44	38	34	33	23	21	16	12	11	30	26	21	16	13	30	28	23	20	19	40	38	34	30	22	46	42	38	36
1,0	51	49	43	39	37	28	26	20	17	15	35	33	25	20	16	35	31	26	23	22	44	42	38	34	24	50	48	45	43
1,25	57	52	47	43	41	31	28	23	19	17	40	37	28	23	19	39	35	30	26	24	50	46	41	37	26	53	50	46	44
4,5	60	55	50	46	44	35	31	25	21	19	43	40	31	25	21	42	37	32	29	26	53	49	44	39	27	56	52	48	46
2	66	60	55	51	49	39	35	29	23	20	49	44	36	30	25	46	41	36	37	29	59	54	48	44	30	57	52	49	46
3	72	66	62	58	56	48	43	35	29	24	56	50	42	35	30	52	46	41	37	34	67	60	53	50	35	62	56	52	50
4	78	70	66	62	60	53	47	39	32	26	61	53	46	40	34	55	49	44	40	38	72	63	57	55	38	64	58	54	52
5	81	73	69	64	62	57	50	42	35	29	63	55	48	42	36	58	51	46	42	39	74	65	58	56	39	67	59	56	54

Коэффициент отражения, %	<u>РСП 08</u>				<u>ЛСП 02, ЛСП 06, ПВЛМ</u>				<u>ПВЛМ, ЛСП 14, ЛСП 18, ЛПО 03, ЛПО 16, ЛПО 30</u>				<u>ЛСП 15, ЛСП 21</u>				<u>ЛСО 05</u>													
	$\rho_{\text{П}}$	70	70	50	30	00	70	70	50	30	00	70	70	50	30	00	70	70	50	30	00	70	70	50	50	00				
$\rho_{\text{С}}$	50	50	30	10	00	50	50	30	10	00	50	50	30	10	00	50	50	30	10	00	50	50	50	30	00					
$\rho_{\text{Р}}$	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00	30	10	10	10	00					
Индекс помещения	<u>Коэффициент использования, %</u>																													
0,5	23	22	18	12	12	28	27	21	18	16	22	18	13	11	09	28	27	20	13	11	23	22	16	14	10	29	28	21	18	12
0,6	30	30	22	18	16	33	32	25	22	20	25	23	17	14	12	33	32	22	17	14	37	35	27	24	16	41	41	32	29	19
0,8	40	38	30	25	23	42	39	30	29	28	31	29	23	15	17	42	40	30	23	20	51	47	37	29	25	41	41	32	29	19
1,0	47	40	37	31	29	49	45	40	35	34	37	34	28	23	21	51	47	37	29	25	51	47	37	29	25	41	41	32	29	19
1,25	53	50	42	37	34	55	50	45	40	39	42	38	32	27	25	57	53	42	34	29	57	53	42	34	29	49	46	37	34	22
1,5	58	54	46	41	38	60	54	49	45	44	46	42	36	30	28	62	57	47	38	33	62	57	47	38	33	54	50	40	37	24
2	66	60	54	48	44	65	59	55	51	49	51	46	40	35	32	70	63	53	44	38	70	63	53	44	38	60	55	45	42	27
2,5	70	64	58	52	47	70	63	58	55	54	55	50	43	39	35	76	68	57	49	42	76	68	57	49	42	65	59	48	45	29
4	74	67	60	56	50	73	65	61	58	56	58	52	45	41	37	80	71	60	50	44	80	71	60	50	44	68	61	50	48	30
4,5	79	71	63	59	53	77	68	64	61	59	61	54	48	44	40	85	75	64	56	48	85	75	64	56	48	73	65	54	52	32
5	82	72	65	63	55	80	70	67	65	62	65	57	51	48	43	90	79	69	61	52	90	79	69	61	52	76	67	56	53	34

<u>Коэффициент отра-</u> <u>жения, %</u>	<u>ПКР-300</u>	<u>НПЛ-03, ВЧА-60</u>	<u>РСП 05, РСП 08, РСП</u> <u>13, РСП 17</u>	<u>РСП 15, РСП 08, РСП</u> <u>13, РСП 17, РСП 20</u>	<u>РСП 05, РСП 08, РСП</u> <u>13, ГСП 13</u>
<u>ρ_П</u>	<u>70 70 50 50 00</u>	<u>70 70 50 30 00</u>	<u>70 70 50 30 00</u>	<u>70 70 50 30 00</u>	<u>70 70 50 30 00</u>
<u>ρ_С</u>	<u>50 50 50 30 00</u>	<u>50 50 30 10 00</u>	<u>50 50 30 10 00</u>	<u>50 50 30 10 00</u>	<u>50 50 30 10 00</u>
<u>ρ_Р</u>	<u>30 10 10 10 00</u>	<u>30 10 10 10 00</u>	<u>30 10 10 10 00</u>	<u>30 10 10 10 00</u>	<u>30 10 10 10 00</u>
<u>Индекс помещения</u>	<u>Коэффициент использования, %</u>				
<u>0,5</u>	<u>18 17 10 09 03</u>	<u>19 18 14 10 08</u>	<u>49 46 42 40 32</u>	<u>30 30 23 20 18</u>	<u>51 49 45 42 41</u>
<u>0,6</u>	<u>23 21 16 13 05</u>	<u>23 22 17 14 13</u>	<u>55 50 46 44 42</u>	<u>37 36 30 27 26</u>	<u>56 54 49 46 45</u>
<u>0,8</u>	<u>30 28 21 19 08</u>	<u>30 28 23 20 19</u>	<u>61 57 53 51 50</u>	<u>45 43 37 34 33</u>	<u>63 60 56 53 53</u>
<u>1,0</u>	<u>33 31 24 22 09</u>	<u>35 31 26 23 22</u>	<u>67 61 58 55 54</u>	<u>49 47 41 40 38</u>	<u>68 65 61 59 57</u>
<u>1,25</u>	<u>39 37 28 25 10</u>	<u>39 35 30 26 24</u>	<u>71 65 62 59 58</u>	<u>55 53 47 44 42</u>	<u>73 68 64 62 61</u>
<u>1,5</u>	<u>42 39 30 27 10</u>	<u>42 37 32 29 26</u>	<u>74 68 65 62 61</u>	<u>59 56 50 48 45</u>	<u>78 71 68 65 64</u>
<u>2</u>	<u>49 44 34 31 12</u>	<u>46 41 36 32 29</u>	<u>78 71 69 66 65</u>	<u>67 60 56 53 51</u>	<u>82 74 72 69 67</u>
<u>2,5</u>	<u>53 47 36 34 13</u>	<u>49 44 39 36 32</u>	<u>80 74 71 68 67</u>	<u>71 63 59 57 53</u>	<u>85 76 73 71 69</u>
<u>3</u>	<u>56 50 39 36 14</u>	<u>52 46 41 37 34</u>	<u>82 75 72 70 68</u>	<u>73 66 60 58 56</u>	<u>86 78 74 73 70</u>
<u>4</u>	<u>60 53 42 39 15</u>	<u>55 49 44 40 38</u>	<u>85 76 73 71 70</u>	<u>77 69 63 61 58</u>	<u>89 79 76 74 72</u>
<u>5</u>	<u>63 55 43 42 16</u>	<u>58 51 46 42 39</u>	<u>88 76 74 73 71</u>	<u>79 70 66 63 60</u>	<u>91 80 78 76 73</u>

Удельная мощность общего равномерного освещения при освещенности 100 лк.

(КПД=100%; $\rho_{п}=0,5$; $\rho_{р}=0,1$; $K_3=1,3$; $Z=1,5$)

<i>h, м</i>	<i>S, м²</i>	<i>Удельная мощность (Вт/м²) светильников с ЛН мощностью 60Вт с КСС</i>					
		<i>Д-1</i>	<i>Д-2</i>	<i>Д-3</i>	<i>Г-1</i>	<i>Г-2</i>	<i>Г-3</i>
<i>1,5 – 2</i>	<i>10 – 15</i>	<i>26,4</i>	<i>23,5</i>	<i>23,0</i>	<i>17,4</i>	<i>17,4</i>	<i>16,9</i>
	<i>15 – 25</i>	<i>23,9</i>	<i>21,5</i>	<i>20,1</i>	<i>17,6</i>	<i>15,8</i>	<i>15,6</i>
	<i>25 – 50</i>	<i>21,1</i>	<i>19,2</i>	<i>17,6</i>	<i>15,8</i>	<i>14,7</i>	<i>14,4</i>
	<i>50 – 150</i>	<i>17,8</i>	<i>16,2</i>	<i>15,3</i>	<i>14,1</i>	<i>13,3</i>	<i>13,2</i>
	<i>150 – 300</i>	<i>16,2</i>	<i>15,1</i>	<i>14,4</i>	<i>13,6</i>	<i>13,1</i>	<i>13,1</i>
	<i>свыше 300</i>	<i>15,4</i>	<i>14,4</i>	<i>13,6</i>	<i>13,2</i>	<i>12,8</i>	<i>12,8</i>
<i>2 – 3</i>	<i>10 – 15</i>	<i>34,2</i>	<i>30,2</i>	<i>28,8</i>	<i>23,9</i>	<i>20,8</i>	<i>20,1</i>
	<i>15 – 25</i>	<i>27,5</i>	<i>24,4</i>	<i>24,4</i>	<i>20,8</i>	<i>18,1</i>	<i>17,6</i>
	<i>25 – 50</i>	<i>24,4</i>	<i>21,8</i>	<i>20,8</i>	<i>18,1</i>	<i>16,2</i>	<i>15,2</i>
	<i>50 – 150</i>	<i>20,1</i>	<i>18,1</i>	<i>16,4</i>	<i>15,1</i>	<i>14,2</i>	<i>13,9</i>
	<i>150 – 300</i>	<i>17,6</i>	<i>16,0</i>	<i>15,3</i>	<i>13,9</i>	<i>13,3</i>	<i>13,3</i>
	<i>свыше 300</i>	<i>15,4</i>	<i>14,4</i>	<i>13,6</i>	<i>13,2</i>	<i>12,8</i>	<i>12,8</i>
<i>3 – 4</i>	<i>10 – 15</i>	<i>60,3</i>	<i>48,7</i>	<i>39,6</i>	<i>31,7</i>	<i>26,4</i>	<i>25,3</i>
	<i>15 – 20</i>	<i>45,2</i>	<i>38,4</i>	<i>33,3</i>	<i>26,9</i>	<i>22,6</i>	<i>22,2</i>
	<i>20 – 30</i>	<i>34,2</i>	<i>30,2</i>	<i>28,8</i>	<i>23,9</i>	<i>20,4</i>	<i>20,1</i>
	<i>30 – 50</i>	<i>27,5</i>	<i>24,4</i>	<i>24,4</i>	<i>20,8</i>	<i>18,1</i>	<i>17,7</i>
	<i>50 – 120</i>	<i>23,5</i>	<i>21,1</i>	<i>19,8</i>	<i>17,3</i>	<i>15,6</i>	<i>15,4</i>
	<i>12 – 300</i>	<i>20,1</i>	<i>17,8</i>	<i>16,4</i>	<i>14,9</i>	<i>14,1</i>	<i>14,1</i>
	<i>свыше 300</i>	<i>16,0</i>	<i>15,1</i>	<i>14,4</i>	<i>13,5</i>	<i>13,1</i>	<i>13,1</i>
<i>h, м</i>	<i>S, м²</i>	<i>Удельная мощность (Вт/м²) светильников с ЛН мощностью 100-200 Вт с КСС</i>					
		<i>Д-1</i>	<i>Д-2</i>	<i>Д-3</i>	<i>Г-1</i>	<i>Г-2</i>	<i>Г-3</i>
<i>1,5 – 2</i>	<i>10 – 15</i>	<i>28,8</i>	<i>25,4</i>	<i>24,3</i>	<i>20,1</i>	<i>17,5</i>	<i>16,9</i>
	<i>15 – 25</i>	<i>23,2</i>	<i>20,5</i>	<i>20,5</i>	<i>17,5</i>	<i>15,2</i>	<i>14,8</i>
	<i>25 – 50</i>	<i>20,5</i>	<i>18,4</i>	<i>17,5</i>	<i>15,2</i>	<i>13,7</i>	<i>13,3</i>
	<i>50 – 150</i>	<i>16,9</i>	<i>15,2</i>	<i>13,9</i>	<i>12,7</i>	<i>12,0</i>	<i>11,7</i>
	<i>150 – 300</i>	<i>14,8</i>	<i>13,2</i>	<i>12,9</i>	<i>11,7</i>	<i>11,2</i>	<i>11,2</i>
	<i>свыше 300</i>	<i>13,0</i>	<i>12,1</i>	<i>11,5</i>	<i>11,1</i>	<i>10,8</i>	<i>10,8</i>
<i>2 – 3</i>	<i>10 – 15</i>	<i>50,8</i>	<i>41,1</i>	<i>33,4</i>	<i>26,7</i>	<i>22,2</i>	<i>21,3</i>
	<i>15 – 30</i>	<i>30,1</i>	<i>32,3</i>	<i>28,1</i>	<i>22,7</i>	<i>19,1</i>	<i>18,7</i>
	<i>30 – 50</i>	<i>23,2</i>	<i>20,5</i>	<i>20,5</i>	<i>17,5</i>	<i>15,2</i>	<i>14,9</i>
	<i>50 – 120</i>	<i>19,8</i>	<i>17,8</i>	<i>16,7</i>	<i>14,6</i>	<i>13,2</i>	<i>13,0</i>
	<i>120 – 300</i>	<i>16,9</i>	<i>15,0</i>	<i>13,9</i>	<i>12,6</i>	<i>11,9</i>	<i>11,9</i>
	<i>свыше 300</i>	<i>13,5</i>	<i>12,7</i>	<i>12,1</i>	<i>11,4</i>	<i>11,0</i>	<i>11,0</i>
<i>3 – 4</i>	<i>10 – 17</i>	<i>97,1</i>	<i>62,7</i>	<i>53,4</i>	<i>36,8</i>	<i>28,1</i>	<i>28,8</i>
	<i>17 – 25</i>	<i>59,3</i>	<i>46,4</i>	<i>38,1</i>	<i>28,8</i>	<i>23,7</i>	<i>23,7</i>
	<i>25 – 35</i>	<i>42,7</i>	<i>38,1</i>	<i>30,5</i>	<i>24,3</i>	<i>20,5</i>	<i>20,9</i>
	<i>35 – 50</i>	<i>33,3</i>	<i>28,8</i>	<i>26,0</i>	<i>21,3</i>	<i>18,4</i>	<i>18,1</i>
	<i>50 – 80</i>	<i>24,3</i>	<i>22,2</i>	<i>22,2</i>	<i>18,7</i>	<i>16,2</i>	<i>15,7</i>
	<i>80 – 150</i>	<i>21,8</i>	<i>19,4</i>	<i>18,7</i>	<i>16,2</i>	<i>14,4</i>	<i>14,0</i>
	<i>150 – 400</i>	<i>18,4</i>	<i>16,4</i>	<i>15,2</i>	<i>13,7</i>	<i>12,6</i>	<i>12,3</i>
	<i>свыше 400</i>	<i>14,4</i>	<i>13,3</i>	<i>12,7</i>	<i>11,7</i>	<i>11,4</i>	<i>11,1</i>

Удельная мощность общего равномерного освещения при освещенности 100 лк. Светильники с ЛЛ типа ЛБ 40 (условный КПД=100%; $K_3=1,5$, $Z=1,1$)

<i>h, м</i>	<i>Площадь помещения, м²</i>	<i>Удельная мощность, Вт/м², светильников с КСС</i>							
		<i>Д-1</i>		<i>Д-2</i>		<i>Д-3</i>		<i>Г-1</i>	
		<i>при ρ_n, ρ_c, ρ_p</i>							
		<i>0,7; 0,5; 0,1</i>	<i>0,5; 0,3; 0,1</i>	<i>0,7; 0,5; 0,1</i>	<i>0,5; 0,3; 0,1</i>	<i>0,7; 0,5; 0,1</i>	<i>0,5; 0,3; 0,1</i>	<i>0,7; 0,5; 0,1</i>	<i>0,5; 0,3; 0,1</i>
<u>2 – 3</u>	<u>10 – 15</u>	<u>4,9</u>	<u>6,1</u>	<u>4,4</u>	<u>5,2</u>	<u>4,3</u>	<u>5,0</u>	<u>3,7</u>	<u>4,1</u>
	<u>15 – 25</u>	<u>4,0</u>	<u>4,8</u>	<u>3,7</u>	<u>4,2</u>	<u>3,7</u>	<u>4,2</u>	<u>3,3</u>	<u>3,6</u>
	<u>25 – 50</u>	<u>3,6</u>	<u>4,2</u>	<u>3,3</u>	<u>3,8</u>	<u>3,2</u>	<u>3,6</u>	<u>2,9</u>	<u>3,1</u>
	<u>50 – 150</u>	<u>3,1</u>	<u>3,5</u>	<u>2,8</u>	<u>3,1</u>	<u>2,7</u>	<u>2,9</u>	<u>2,5</u>	<u>2,6</u>
	<u>150 – 300</u>	<u>2,7</u>	<u>3,0</u>	<u>2,6</u>	<u>2,8</u>	<u>2,5</u>	<u>2,6</u>	<u>2,4</u>	<u>2,5</u>
	<u>свыше 300</u>	<u>2,5</u>	<u>2,7</u>	<u>2,4</u>	<u>2,5</u>	<u>2,3</u>	<u>2,5</u>	<u>2,2</u>	<u>2,3</u>
<u>3 – 4</u>	<u>10 – 15</u>	<u>7,6</u>	<u>10,5</u>	<u>6,7</u>	<u>8,5</u>	<u>5,6</u>	<u>6,9</u>	<u>4,9</u>	<u>5,5</u>
	<u>15 – 20</u>	<u>6,1</u>	<u>7,8</u>	<u>5,4</u>	<u>6,7</u>	<u>4,9</u>	<u>5,8</u>	<u>4,2</u>	<u>4,7</u>
	<u>20 – 30</u>	<u>4,9</u>	<u>5,9</u>	<u>4,4</u>	<u>5,2</u>	<u>4,2</u>	<u>5,0</u>	<u>3,7</u>	<u>4,2</u>
	<u>30 – 50</u>	<u>4,0</u>	<u>4,8</u>	<u>3,7</u>	<u>4,6</u>	<u>3,7</u>	<u>4,2</u>	<u>3,2</u>	<u>3,6</u>
	<u>50 – 120</u>	<u>3,5</u>	<u>4,1</u>	<u>3,2</u>	<u>3,7</u>	<u>3,1</u>	<u>3,4</u>	<u>2,8</u>	<u>3,0</u>
	<u>120 – 300</u>	<u>3,0</u>	<u>3,5</u>	<u>2,8</u>	<u>3,1</u>	<u>2,7</u>	<u>2,9</u>	<u>2,5</u>	<u>2,6</u>
<u>4 – 6</u>	<u>свыше 300</u>	<u>2,6</u>	<u>2,8</u>	<u>2,5</u>	<u>2,6</u>	<u>2,4</u>	<u>2,3</u>	<u>2,2</u>	<u>2,3</u>
	<u>10 – 17</u>	<u>10,5</u>	<u>20,0</u>	<u>9,6</u>	<u>12,9</u>	<u>8,1</u>	<u>11,0</u>	<u>6,3</u>	<u>7,6</u>
	<u>17 – 25</u>	<u>8,5</u>	<u>12,2</u>	<u>7,1</u>	<u>9,6</u>	<u>6,5</u>	<u>7,8</u>	<u>5,1</u>	<u>5,9</u>
	<u>25 – 35</u>	<u>7,1</u>	<u>8,8</u>	<u>5,9</u>	<u>7,8</u>	<u>5,1</u>	<u>6,3</u>	<u>4,4</u>	<u>5,0</u>
	<u>35 – 50</u>	<u>5,5</u>	<u>6,9</u>	<u>4,9</u>	<u>5,9</u>	<u>4,5</u>	<u>5,4</u>	<u>3,8</u>	<u>4,4</u>
	<u>50 – 80</u>	<u>4,2</u>	<u>5,0</u>	<u>3,8</u>	<u>4,6</u>	<u>4,0</u>	<u>4,6</u>	<u>3,4</u>	<u>3,8</u>
	<u>80 – 150</u>	<u>3,8</u>	<u>4,5</u>	<u>3,4</u>	<u>4,0</u>	<u>3,4</u>	<u>3,8</u>	<u>3,1</u>	<u>3,3</u>
	<u>150 – 400</u>	<u>3,3</u>	<u>3,5</u>	<u>3,1</u>	<u>3,4</u>	<u>2,9</u>	<u>3,1</u>	<u>2,6</u>	<u>2,8</u>
	<u>свыше 400</u>	<u>2,7</u>	<u>3,0</u>	<u>2,6</u>	<u>2,8</u>	<u>2,5</u>	<u>2,6</u>	<u>2,3</u>	<u>2,4</u>

Форма светотехнической ведомости

Характеристика помещений

- № по плану
- Наименование
- Площадь, м²
- Высота, м

Коэффициент отражения, %

- Потолок
- Стен
- Пола

Нормированная освещенность, лк

Коэффициент запаса

Светильник

- Тип
- Количество

Лампа

- Тип
- Мощность, Вт

Установленная мощность прибора, Вт

Удельная мощность, Вт/м²

Форма расчетно-монтажной схемы осветительной сети

Провод к ЩО

- Марка и сечение провода, мм²
- Расчетный ток, А
- Способ прокладки
- Тип ЩО

Щиток освещения

- Тип аппарата на вводе
- Тип автомата или предохранителя
- Ток расцепителя или плавкой вставки, А
- Установленная мощность группы, Вт

Расчетный ток группы, А

Осветительная сеть

- Марка и сечение провода, мм²
- Потери напряжения, %
- Способ прокладки
- К какой фазе подключается

Вид освещения

Рекомендуемые провода и кабели для сельскохозяйственных осветительных сетей

<u>Проводка</u>	<u>Марка провода, кабеля</u>	<u>Способ прокладки</u>	<u>Характеристика помещения</u>
<u>Открытая в несгораемых конструкциях</u>	<u>АПВ, АПР, ПВ, ПР</u>	<u>на роликах</u>	<u>нормальная среда</u>
<u>То же</u>	<u>То же</u>	<u>на изоляторах</u>	<u>влажные, сырые</u>
<u>То же</u>	<u>АВВГ, АВРГ, ВВГ, ВРГ</u>	<u>на скобах</u>	<u>во всех помещениях</u>
<u>То же</u>	<u>АПР, АПРТО, АПВ, ПР, ПРТО, ПВ</u>	<u>в трубах</u>	<u>во всех помещениях</u>
<u>Тросовая</u>	<u>АПВ, АПРТО, ПВ, ПРТО</u>	<u>с несущим стальным тросом</u>	<u>в животноводческих помещениях</u>
<u>Скрытая и открытая</u>	<u>АПВ, АПРТО, ПВ, ПРТО</u>	<u>в стальных трубах</u>	<u>в пожароопасных помещениях</u>
<u>Скрытая в несгораемых конструкциях</u>	<u>АППВ, АПВ, ППВ, ПВ</u>	<u>в трубах под штукатуркой</u>	<u>во всех помещениях</u>
<u>Вне помещения</u>	<u>АВВБ, ААГ, ААБ, ВВБ, АГ, АБ</u>	<u>по стенам, в траншеях, в трубах</u>	<u>=</u>

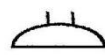
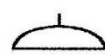
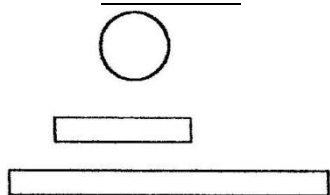
Длительно допустимый ток для проводников и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами с резиновой, пластмассовой и бумажной изоляцией при окружающей температуре воздуха 25°С и земли 15°С

Вид Марка	Провода			Кабель с резин. и пластмассовой изоляцией			Кабель с бумажной пропитанной изоляцией						Голые				
	АПР, АПРТО, АПРН, АПВ			АВРГ, АНРГ, АВВГ, АВ-ВБГ, АПРФ			АНРБ, АВВБ			ААГ, АСГ, ААБГ, АСБГ			ААБ, АСБ			А	
Прокладка Сечение, мм ²	Открыто I _д , А	В стальных трубах I _д , А, при числе проводов			В воздухе			В земле I _д , А, при числе жил одножильных проводов						Открыто			
		2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
2,5	24	20	19	19	21	19	17	34	29	26	23	22	-	35	31	-	-
4	32	28	28	23	29	27	24	42	38	35	31	29	27	46	42	38	-
6	39	36	32	30	38	32	29	55	46	42	42	35	35	60	55	46	-
10	60	50	47	39	55	42	38	80	70	63	55	46	45	80	75	65	-
16	60	50	47	55	70	60	54	105	90	81	75	60	60	110	90	90	105/75
25	105	85	80	70	90	75	68	135	115	104	100	80	75	140	125	115	135/105
35	130	100	95	85	105	90	81	160	140	126	115	95	95	175	145	135	170/130
50	165	140	130	120	135	110	100	205	175	158	140	120	110	210	180	165	215/165
70	210	175	165	140	165	140	126	245	210	190	175	155	140	250	220	200	265/210
95	225	215	200	175	200	170	153	295	255	230	210	190	165	290	260	240	320/255
120	295	245	220	200	230	200	190	340	295	226	245	220	200	335	300	270	275/300
150	340	275	225	-	270	235	212	390	335	302	290	255	230	385	335	305	440/355
185	390	-	-	-	310	270	343	440	385	347	-	290	260	-	380	345	500/410

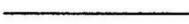
ПРИМЕЧАНИЕ. Для аналогичных проводов и кабелей с медной жилой допустимые токовые нагрузки больше в 1,3 раза.

Условные обозначения и надписи на планах освещения

Графическое обозначение



300 лк



$\frac{N - P - I}{l - m - n \times s - c}$

30 – ЛПО $\frac{2 \times 40}{3,5}$

Светильник с лампой накаливания

Светильник с люминесцентной лампой

Линия светильников с люминесцентными лампами

Светильник с лампой ДРЛ

Щиток силовой

Щиток рабочего освещения

Щиток аварийного освещения

Трансформатор понижающий

Выключатель однополюсный

Выключатель двухполюсный

Выключатель однополюсный со степенью защиты IP44/IP55

Розетка двухполюсная

Розетка двухполюсная сдвоенная

Розетка двухполюсная со степенью защиты IP44/IP55

Нормируемая освещенность от общего освещения

Линия рабочего освещения

Линия аварийного освещения

Линия пониженного освещения

Надписи на линии питающей сети:

N – номер линии; P – расчетная нагрузка, кВт; I – расчетный ток, А; l – длина участка, м; M – марка провода; n x s – число x сечение; C – способ прокладки.

Сведения о светильнике:

количество – тип $\frac{\text{количество} _ \text{лампы} \times \text{мощность, Вт}}{\text{высота} _ \text{установки, м}}$

Учебное издание

Безик Валерий Александрович

Проектирование систем электрификации

Учебно-методическое пособие по выполнению практических работ
для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
35.03.06 Агроинженерия, профиль Электрооборудование и электротехнологии

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 27.01.2021 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 6,27. Тираж 25 экз. Изд. № 6838.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ