

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Экология и БЖД»

**ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Методические указания к выполнению
практических работ для студентов направления
090303.65, 140400.62, 150700.62, 151900.62, 190100.62, 190109.65,
190110.65, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62, 222000.62,
231000.62, 280700.62

Курган 2013

Кафедра: «Экология и безопасность жизнедеятельности»

Дисциплины: «Безопасность и экологичность производственных процессов»

(направление 280700.62);

«Безопасность жизнедеятельности»

(направления 090303.65, 140400.62, 150700.62, 151900.62, 190100.62, 190109.65, 190110.65, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62, 222000.62, 231000.62, 280700.62)

Составили: канд. техн. наук, доц. А.И. Микуров;
канд. биол. наук, доц. В. А. Кривобокова;
канд. техн. наук, доц. С.К. Белякин;
ст. преподаватель Н.Г. Евтушенко;
ст. преподаватель С.Б. Попадчук.

Работа выполнена при равноценном участии авторов.

Утверждены на заседании кафедры от 20 декабря 2012 г.

Рекомендованы методическим советом университета « 28 » декабря 2012 г.

Содержание

Общие методические указания	3
Задача 1 Расчет защитного заземления	4
Задача 2 Оценка теплоощущений человека при изменении микроклимата в помещении	14
Задача 3 Расчет наружного прожекторного освещения	20
Список литературы	30
Приложения	32

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель выполнения практических работ – овладеть методиками оценки и расчета эффективности работы коллективных средств защиты персонала предприятия от опасных и вредных производственных факторов.

Опасность – негативное свойство живой и неживой материи, способное причинить ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям. Оценить опасность возможно по уровню опасного и вредного производственного фактора (ОВПФ) [4].

Оценка безопасности процессов заключается в проверке соответствия требованиям безопасности отдельных составляющих безопасности рабочего места.

В рассмотренных задачах рассматриваются вопросы эффективности применения средств защиты работающих и обеспечение нормальных условий труда на рабочем месте.

В первой задаче рассматривается уменьшение напряжения прикосновения и шаговое напряжение с помощью контура защитного заземления (заземляющего устройства) для электроустановок выше 1000 В.

При выполнении второй задачи проводится оценка теплоощущений человека при работах разной тяжести и определяется соответствие параметров микроклимата допустимым значениям.

Третья задача связана с определением условий для создания заданных условий для выполнения зрительной работы на открытом пространстве за счет применения прожекторного освещения.

При выполнении заданий студентом дается оценка соответствия ОВПФ нормативным требованиям по безопасности труда.

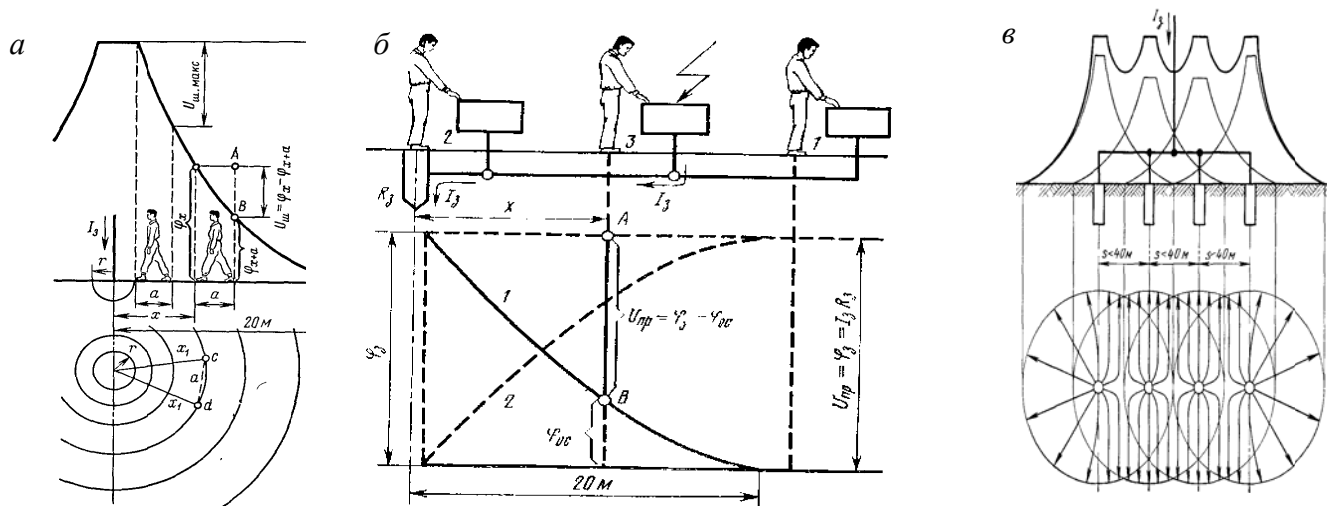
Отчет о решении задач выполняется на отдельных листах с оформлением титульного листа, на котором обязательно указывается название работы и данные студента.

В завершении задачи определяется, достигнута или нет цель практической работы, а также эффективность используемых средств для достижения нормальных условий труда.

Задача 1 Расчет защитного заземления

Нормирование значений электрического тока при воздействии на человека и обустройство защитного заземляющего устройства подстанции

На территории электрической подстанции возможно поражение электротехнического персонала при аварийном режиме электрической сети (при замыкании фазного провода на землю). При этом возникает ток утечки и создается разность потенциалов на поверхности земли (рисунок 1).



a – вокруг полушарового заземлителя, *б* – напряжение прикосновения ($U_{пр}$) при одиночном заземлителе, *1* – потенциальная кривая; *2* – кривая, характеризующая изменение напряжения прикосновения при изменении расстояния от заземлителя x *в* – потенциальная кривая группового заземлителя и поле растекания тока при расстоянии между электродами $S < 40$ м

Рисунок 1 – Распределение потенциала при соприкосновении фазного провода с землей

Напряжение шага или шаговое напряжение $U_{ш}$ (В) есть разность потенциалов φ_x и φ_{x+a} двух точек на поверхности земли в зоне растекания тока, которые находятся одна от другой на расстоянии шага a и на которых одновременно стоит человек. При этом длина шага принимается равной 0,8 м (1 м – ПУЭ [9]). Таким образом, на человека действует шаговое напряжение

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a} \quad (1)$$

Опасность для человека создает также *напряжение прикосновения* $U_{пр}$ (В) – разность потенциалов двух точек электрической цепи, которых одновременно касается человек, или, иначе говоря, падение напряжения на сопротивлении тела человека – R_h (Ом):

$$U_{пр} = I_h * R_h, \quad (2)$$

где I_h – ток, проходящий через человека по пути рука – ноги, А (рисунок 1 б).

В области защитных заземлений, занулений и т.п. одна из этих точек имеет потенциал заземлителя $\varphi_з$, а другая – потенциал основания в том месте, где

стоит человек, φ_{oc} .

В этом случае напряжение прикосновения:

$$U_{пр} = \varphi_3 \alpha, \quad (3)$$

где α — коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\alpha = \left(1 - \frac{\varphi_{oc}}{\varphi_3}\right) \leq 1. \quad (4)$$

Возможен также случай прикосновения человека к корпусу оборудования, на которое случайно или в результате аварии было подано напряжение. Рассмотрим напряжение прикосновения при наличии одиночного заземлителя. Предположим, мы имеем оборудование, корпуса которых заземлены с помощью одиночного заземлителя (рисунок 1б). При замыкании на корпус одного из этих двигателей (показано на рисунке молниеобразной стрелкой) на шине заземлителя и всех присоединенных к ней металлических частях появится потенциал φ_3 . Поверхность земли вокруг заземлителя также будет иметь потенциал, уменьшающийся в направлении от заземлителя.

Напряжение прикосновения характеризуется отрезком AB и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком, прикасающимся к заземленному оборудованию, и заземлителем: чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше $U_{пр}$, и наоборот.

Так, при наибольшем расстоянии, т. е. при $x = \infty$, а практически при x равном 20 м (точка 1 на рисунке 1 б) напряжение прикосновения имеет наибольшее значение: $U_{пр} = \varphi_3$; при этом $\alpha = 1$. Это наиболее опасный случай прикосновения.

При наименьшем значении x , когда человек стоит непосредственно на заземлителе (точка 2), $U_{пр} = 0$ и $\alpha = 0$. Это безопасный случай — человек не подвергается воздействию напряжения, хотя он и находится под потенциалом φ_3 .

При других значениях x в пределах от 0 до 20 м (точка 3) $U_{пр}$ плавно возрастает от 0 до φ_3 , а α — от 0 до 1.

При *групповом* заземлителе, когда все точки поверхности земли на участке между электродами имеют потенциалы, отличные от нуля, в любом месте этого участка $U_{пр} < \varphi_3$ и $\alpha < 1$ (рисунок 1 в). Данный заземлитель применяют на территории открытого распределительного устройства (ОРУ) подстанции в виде горизонтально проложенных продольных и поперечных стальных полос, образующих сетку на территории ОРУ.

Заземляющие устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения, а также с соблюдением требований к конструктивному выполнению и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве [9].

Электроустановки от 110 до 750 кВ должны иметь защитное заземление сопротивлением не более 0,5 Ом, а на территории, занятой оборудованием, должно быть выполнено выравнивание потенциалов.

Напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю не должно, как правило, превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается на заземляющих устройствах, с которых исключен вынос потенциалов за пределы зданий и внешних ограждений электроустановок. При напряжении на заземляющем устройстве более 5 кВ должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы электроустановки.

Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей.

В целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования к заземлителю на территории, занятой оборудованием, следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители и объединять их между собой в заземляющую сетку.

Продольные заземлители должны быть проложены вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5 - 0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8- 1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены друг к другу, а расстояние между основаниями или фундаментами двух рядов не превышает 3,0 м.

Поперечные заземлители следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5- 0,7 м от поверхности земли. Расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей силовых трансформаторов и короткозамыкателей к заземляющему устройству, не должны превышать 6х6 м.

Горизонтальные заземлители следует прокладывать по периметру территории, занимаемой заземляющим устройством, так, чтобы они в совокупности образовывали замкнутый контур.

В задаче применяем метод расчета по допустимому напряжению прикосновения (таблица 1) с проверкой по предельному сопротивлению заземляющего устройства (таблица 2).

Таблица 1 – Допустимое напряжение прикосновения при аварийном режиме работы сети

Время воздействия на человека, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1	От 1 до 3
$U_{пр. доп.}, В$	500	400	200	130	100	65

В случае превышения расчетного напряжения прикосновения над допустимым нужно принять дополнительные меры: выполнить заземлитель в виде

сетки, близкой к сплошной плите или применить засыпку территории подстанции гравием ($\rho_{в.с} = 6000-8000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при толщине слоя 15–20 см).

Таблица 2 – Допустимые сопротивления заземляющего устройства в электроустановках выше 1000 В [9]

Наибольшие допустимые значения R_3 , Ом	Характеристика электроустановок
$R_3 < 0,5$	Для электроустановок напряжением выше 1000 В в сетях с эффективно заземленной нейтралью
$R_3 = 250/I_3 \quad (R_3 \leq 10)$	Для электроустановок напряжением выше 1000 В в сетях с изолированной нейтралью

Исходные данные. Рассчитать заземляющее устройство для ОРУ пониженной трансформаторной подстанции 110/10 кВ, выполненное по схеме две системы сборных шин с обходной. Размеры территории открытого распределительного устройства подстанции 90х60 м. Время срабатывания релейной защиты $t_{рз} = 0,03 \text{ с}$, время срабатывания выключателя при аварийном режиме сети $\tau_{ов} = 0,1 \text{ с}$. Начальное значение периодической составляющей тока при трехфазном коротком замыкании на ОРУ 10 кА.

Исходные данные для расчета по вариантам приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные к решению задачи №1

№ вар.	U, кВ	Контур заземлителя		Re, Ом	$l_{кл}$, м	$l_{вл}$, м	l_e , м	d, мм	t_0 , м	ρ_1 , Ом·м	ρ_2 , Ом·м	$\tau_{ов}$, сек
		длина, м	ширина, м									
1	110	150	150	16	75	70	3,0	16	0,5	120	176	0,55
2	220	200	100	17	80	75	5,0	16	0,8	120	176	0,45
3	110	120	900	18	85	80	3,0	16	0,5	120	176	0,35
4	220	125	80	19	90	85	5,0	16	0,8	120	176	0,85
5	110	150	75	20	95	90	3,0	16	0,5	120	176	0,65
6	220	180	100	21	100	95	5,0	16	0,8	120	176	0,55
7	110	145	125	22	105	100	3,0	16	0,5	120	176	0,75
8	220	220	115	23	110	105	5,0	16	0,8	120	176	0,25
9	110	90	80	24	115	110	3,0	16	0,5	120	176	0,35
10	220	225	120	25	120	115	5,0	16	0,8	120	176	0,15
11	110	140	90	10	150	140	3,0	16	0,8	140	180	0,65
12	110	120	900	18	85	80	3,0	16	0,5	120	176	0,35
13	220	125	80	19	90	85	5,0	16	0,8	120	176	0,85
14	110	150	75	20	95	90	3,0	16	0,5	120	176	0,65
15	220	180	100	21	100	95	5,0	16	0,8	120	176	0,55
16	220	225	120	25	120	115	5,0	16	0,8	120	176	0,15
17	110	140	90	10	150	140	3,0	16	0,8	140	180	0,65
18	110	120	900	18	85	80	3,0	16	0,5	120	176	0,35
19	220	125	80	19	90	85	5,0	16	0,8	120	176	0,85
20	110	150	75	20	95	90	3,0	16	0,5	120	176	0,65

Решение

Расчет заземляющих устройств в установках 110 кВ и выше производится по допустимому сопротивлению заземления ($R_3=0,5 \text{ Ом}$) и предельно допустимому напряжению прикосновения ($U_{\text{пр.доп}}$), причем определяющей является величина $U_{\text{пр.доп}}$.

В состав понижающей подстанции входит открытое распределительное устройство, где установлено высоковольтное оборудование и силовой трансформатор, и распределительное устройство, располагаемое в отдельном кирпичном здании. Схема работы нейтрали трансформатора - эффективно заземленная нейтраль на высокой стороне и глухозаземленная нейтраль на низкой стороне (0,4 кВ). Предполагаемый контур искусственного заземлителя вокруг здания имеет форму прямоугольника, горизонтальные заземлители которого расположены внутри ограждения подстанции. Для исключения электрической связи внешней ограды с заземляющим устройством расстояние от ограды до элементов заземляющего устройства, расположенных вдоль нее, принимаем равным 2 м (должно быть не менее 2 м).

Намечается схема заземляющего устройства (рисунок 2), в которой контур заземления должен отступать от ограждения электроустановки на 2 м. Размеры заземляющего устройства: длина 86 м, ширина 56 м.

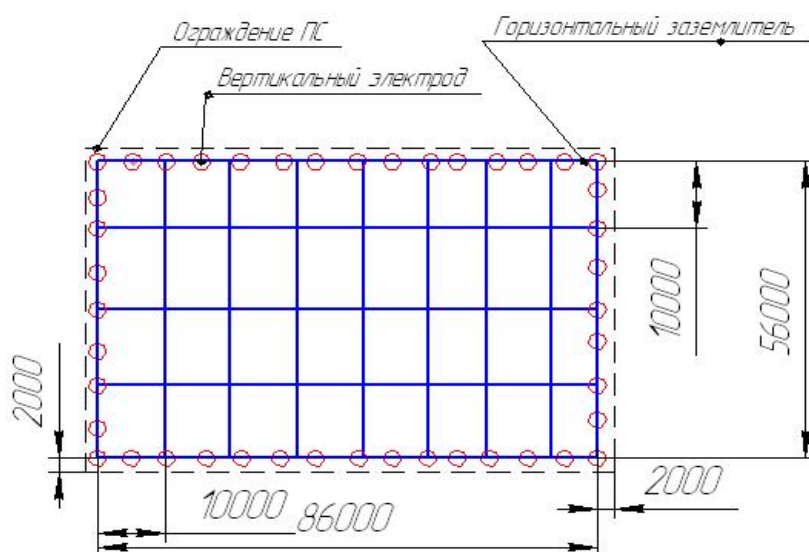


Рисунок 2 – Предварительная схема заземляющего устройства

Заземляющее устройство для установок с эффективно заземленной нейтралью (110 кВ и выше) выполняется из вертикальных электродов, располагаемых по периметру защищаемой площадки, соединенных между собой горизонтальным стальным профилем, к которому присоединены сваркой продольные и поперечные проводники в виде горизонтальной сетки из стальных полос, уложенных в земле на глубине $t = 0,6 \text{ м}$. Расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей

силовых трансформаторов и короткозамыкателей к заземляющему устройству, не должны превышать 6х6 м. Продольные и поперечные внутренние проводники образуют квадратные (прямоугольные) ячейки, сторона которой не должна превышать 30 м. В учебных расчетах принимаем размер ячейки 10,0 м, а длину вертикальных электродов $l_B = 5,0$ м. Для вертикальных электродов заземления используем стальной прут $\varnothing 16$ мм, для горизонтальных – стальную полосу 4х20 мм.

Определяем времени выключения аварийного режима сети τ_B , (с):

$$\tau_B = t_{P3} + t_{OB}, \quad (5)$$

где t_{P3} – время действия релейной защиты, принято из расчета релейной защиты $t_{P3} = 0,03$ с (принимаем для всех вариантов одинаковое время);

t_{OB} – полное время отключения выключателя (таблица 3).

Из условий задачи (таблица 3) по времени выключения аварийного режима сети τ_B (с) находится допустимое напряжение прикосновения (таблица 2):

$$\tau_B = 0,1 + 0,03 = 0,13 \text{ с.}$$

Времени $\tau_B = 0,13$ с соответствует допустимое напряжение прикосновения $U_{пр,доп} = 400$ В.

Из таблицы 3 выбираем удельное сопротивление верхнего (ρ_1 , Ом·м) и нижнего (ρ_2 , Ом·м) слоя, по таблице 4 определить тип грунта верхнего и нижнего слоя земли. Задавшись климатической зоной, по таблице 5 определить толщину верхнего слоя ($h_1 = h_C$, м).

Таблица 4 – Удельные сопротивления грунтов

Грунт	ρ Ом · м	Грунт	ρ Ом · м
Песок	400÷1000	Торф	20
Супесок	150÷400	Чернозем	10÷50
Суглинок	40÷150	Мергель, известняк	1000÷2000
Глина	8÷70	Скалистый грунт	2000÷4000
Садовая земля	40	Щебень сухой	5000

По таблице 4 принимаем в качестве верхнего слоя супесок ($\rho_1 = 250$ Ом·м), в качестве нижнего слоя суглинок ($\rho_2 = 100$ Ом·м). Пусть подстанция находится во второй климатической зоне, тогда по таблице 2 $h_1 = 2$ м.

Таблица 5 – Мощность верхнего слоя земли h_C

Климатическая зона	I	II	III	IV
Толщина слоя сезонных изменений h_C , м	2,2	2,0	1,8	1,6

Примечание:

1 зона: Архангельская, Кировская, Омская, Иркутская области, Коми, Урал;

2 зона: Ленинградская и Вологодская области, центральная часть России, центральные области Казахстана, южная часть Карелии.

3 зона: Латвия, Эстония, Литва, Беларусь, южные области Казахстана; Псковская, Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская и Ростовская области.

4 зона: Азербайджан, Грузия, Армения, Узбекистан, Таджикистан, Киргизия, Туркмения (кроме горных районов), Ставропольский край, Молдова.

Курганская область относится к 1-й климатической зоне.

Задаемся глубиной заложения t_0 (таблица 3), размером и числом электродов и условно (в масштабе) размещаем их на площадке ОРУ (рисунок 2). Вертикальные проводники устанавливаем по периметру сетки, расстояние между ними в решении принимаем l_B (может быть $l_B, 2l_B, 4l_B$).

По плану подстанции намечаем расположение элементов заземляющего устройства и определяем количество (n_B) и полную длину вертикальных электродов ($L_B = l_B \cdot n_B$, м), среднее расстояние между вертикальными проводниками.

Заземляющее устройство преобразуется в расчетную модель квадратной формы, площадь которой и суммарная длина горизонтальных заземлителей такие же, как в реальной модели (рисунок 3).

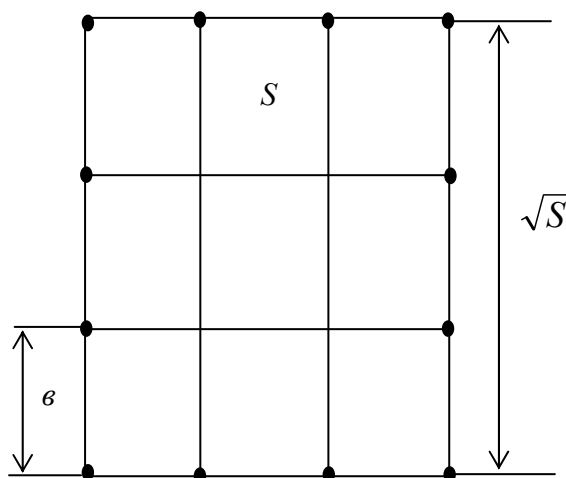


Рисунок 3 – Расчетная модель заземляющего устройства

Сторона квадратной модели $\sqrt{S} = 56 \cdot 86 = 69,4$ м.

Число ячеек по стороне модели (принимаются ближайшее целое)

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2\sqrt{S}} - 1, \quad (6)$$

где L_{Γ} – суммарная длина горизонтальных заземлителей, $L_{\Gamma} = 86 \cdot 5 + 56 \cdot 9 = 934$ м;

$$m = \frac{934}{3 \cdot \sqrt{56 \cdot 86}} - 1 = 6.$$

Длина стороны ячейки $a = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{\sqrt{56 \cdot 86}}{6} = 11,56$ м.

Число вертикальных заземлителей по периметру контура при условии равенства расстояния между ними их длине ($a = l_B$):

$$n_B = \frac{4\sqrt{S}}{a}, \quad (7)$$

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{56 \cdot 86}}{5} = 56,8 \text{ шт.}$$

Для удобства размещения вертикальных электродов принимаем их количество $n_B = 58$ шт.

Полная длина вертикальных электродов $L_B = l_B \cdot n_B = 5 \cdot 58 = 290$ м.

Зная наибольшее допустимое напряжение прикосновения $U_{\text{пр.доп}}$, определяем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{K_{\Pi}} \quad , \quad (8)$$

где K_{Π} – коэффициент прикосновения

$$K_{\Pi} = \frac{M_1 \cdot \beta}{\left(\frac{\ell_B \cdot L_B}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}} \quad , \quad (9)$$

M_1 – параметр, зависящий от ρ_1/ρ_2 (таблица 6);

Таблица 6 – Значения параметра М

ρ_1/ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
М	0,36	0,50	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{250}{100} = 2,5, \text{ следовательно, } M_1 = 0,69;$$

β – коэффициент, учитывающий сопротивление стекания тока со ступней на землю,

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot \rho_1} \quad ; \quad (10)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 250} = 0,73$$

L_B – суммарная длина вертикальных электродов, $L_B = 5 \cdot 58 = 290$ м.

Расстояние a принимаем равным ℓ_B .

S – площадь заземляющего устройства, $S = 86 \cdot 56 = 4816 \text{ м}^2$,

Тогда коэффициент прикосновения равен

$$K_{\Pi} = \frac{0,69 \cdot 0,73}{\left(\frac{5 \cdot 290}{4,89 \cdot \sqrt{4816}} \right)^{0,45}} = 0,15.$$

Определим напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{K_{\Pi}} \quad . \quad (11)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,15} = 2666,7 \text{ В}$$

Определяем сопротивление искусственного заземлителя:

$$R = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_\Gamma + L_B}, \text{ Ом}, \quad (12)$$

$$\text{где } A = 0,44 - 0,84 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \text{ при } 0 \leq \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} < 0,1; \quad (13a)$$

$$A = 0,38 - 0,25 \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} \text{ при } 0,1 \leq \frac{l_B + t}{\sqrt{S}} < 0,5. \quad (13b)$$

$$\text{В нашем случае } \frac{l_B + t_0}{\sqrt{S}} = \frac{5+0,6}{\sqrt{4816}} = 0,08 < 0,1.$$

$$A = 0,44 - 0,84 \cdot \frac{l_B + t_0}{\sqrt{S}} = 0,44 - 0,88 \cdot 0,08 = 0,37.$$

В задаче реальную многослойную схему приводим к эквивалентной двух-слойной. Определяем относительное эквивалентное удельное сопротивление грунта расчетной модели, Ом·м:

$$\rho_3 = \rho_2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^\alpha. \quad (14)$$

$$\alpha = 0,19 \left(1 + \lg \frac{4,8h_1}{l_B} \right) \text{ при } 0,1 \leq \frac{\rho_1}{\rho_2} < 1,0. \quad (15a)$$

$$\alpha = 0,43 \frac{h_1 - t}{l_B} + 0,27 \lg \frac{a}{l_B} + 0,04 \text{ при } 1 \leq \frac{\rho_1}{\rho_2} \leq 10. \quad (15b)$$

$$\alpha = 0,43 \frac{2-0,6}{5} + 0,27 \lg \frac{4,89}{5} + 0,04 = 0,38.$$

$$\rho_3 = 100 \left(\frac{250}{100} \right)^{0,38} = 141,65.$$

Определяем сопротивление заземляющего устройства:

$$R = 0,37 \frac{141,65}{30,56} + \frac{141,65}{934 + 290} = 1,83 \text{ Ом}.$$

Сопротивление заземляющего устройства, включая естественные заземлители:

$$R_3 = \frac{R \cdot R_e}{R + R_e}, \quad (16)$$

где R_e – сопротивление естественных заземлителей.

Поскольку на сопротивление естественных заземлителей влияют многие факторы, то его величину определяют непосредственно измерением. В учебных расчетах принимаем $R_e = 1,5 \text{ Ом}$.

$$R_3 = \frac{1,83 \cdot 1,5}{1,83 + 1,5} = 0,82$$

Напряжение, прикосновения

$$U_{\text{ч}} = I^{(1)} \cdot R_3 \cdot \alpha \cdot \beta, \quad (17)$$

где $I^{(1)}$ – значение периодической составляющей тока при трехфазном коротком замыкании на ОРУ.

$$I^{(1)} = 10000 \text{ А}$$

где α – коэффициент распределения потенциала по поверхности земли

$$\alpha = M \left(\frac{a\sqrt{S}}{l_B \cdot L_\Gamma} \right)^{0,45} \quad (18)$$

Значения M , a , S , l_B , L_Γ определены в предыдущих расчетах.

$$\alpha = 0,69 \cdot \left(\frac{4,89 \cdot \sqrt{4816}}{5 \cdot 934} \right)^{0,45} = 0,69 \cdot 0,307 = 0,21$$

β – коэффициент, учитывающий сопротивление стекания тока со ступней на землю (посчитан по формуле 8).

$$U_\text{ч} = 10000 \cdot 0,82 \cdot 0,21 \cdot 0,73 = 1257,06.$$

Это значение больше допустимого значения 400 В.

Необходимо принять меры для снижения напряжения прикосновения путем расширения заземляющего устройства, путем использования естественных заземлителей или применением подсыпки рабочих мест слоем сухого гравия толщиной 0,2 м. Удельное сопротивление верхнего слоя (гравия) в этом случае будет $\rho_1 = 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, тогда:

$$\beta' = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 5000} = 0,117.$$

Откуда коэффициент прикосновения по формуле:

$$K_n = \frac{0,69 \cdot 0,117}{\left(\frac{5 \cdot 934}{4,89 \cdot \sqrt{4816}} \right)^{0,45}} = 0,11$$

Подсыпка гравием не влияет на растекание тока с заземляющего устройства, так как глубина заложения заземлителей 0,7 м больше толщины слоя гравия, поэтому соотношение ρ_1 / ρ_2 и значение M остаются неизменными.

$$U'_3 = \frac{400}{0,042} = 9523 \text{ В}; U' = \frac{400}{0,025} = 16000$$

$$R'_{з, \text{доп}} = \frac{9523}{7280} = R'_{з, \text{доп}} = \frac{16000}{10000} = 1,6 \text{ Ом}.$$

Таким образом $R_3 = 0,82 \text{ Ом} < R_{з, \text{доп}} = 1,6 \text{ Ом}$.

Напряжение прикосновения $U'_{\text{пр}} = 10000 \cdot 0,82 \cdot 0,21 \cdot 0,117 = 201,5 \text{ В}$, что меньше допустимых 400 В. Из расчета видно, как эффективна подсыпка гравием

Итак, окончательная схема контурного группового заземлителя состоит из 58 вертикальных стержневых электродов длиной 5 м, диаметром 16 мм с расстоянием между ними, равным 5 м, и горизонтального электрода в виде сетки из стальных полос сечением 4x40 мм с расстоянием между полосами 11,56 м (общей длиной полос 934 м), заглубленных в землю на 0,8 м (из них 0,2 м – подсыпка гравием).

Вопросы для защиты работы

- 1 Определение нейтрали трансформатора.
- 2 Режимы работы нейтрали в электрических сетях.
- 3 Нормированные сопротивления заземляющего устройства для напряжения выше 1 кВ.
- 4 Факторы, определяющие размеры вертикальных и горизонтальных заземлителей.
- 5 Алгоритм метода «по напряжению прикосновения» для расчета заземляющего устройства.
- 6 Факторы, определяющие сопротивление заземляющего устройства при расчете «по напряжению прикосновения».

Задача 2 Оценка теплоощущений человека при изменении микроклимата в помещении

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Количество её зависит от степени физического напряжения и составляет от 85 (в состоянии покоя) до 500 Вт (при тяжелой работе). Для нормального протекания физиологических процессов выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду.

Способность человеческого организма к поддержанию постоянной температуры носит название терморегуляции. Терморегуляция достигается отводом излишнего тепла в процессе жизнедеятельности от организма в окружающее пространство.

Пути такой теплоотдачи являются: теплопроводность через одежду, конвекция тела, излучение на окружающие поверхности, испарение влаги с поверхности кожи, а также за счет нагрева выдыхаемого воздуха. Вклад перечисленных составляющих передачи тепла непостоянен и зависит от параметров микроклимата в помещении, от температуры стен, потолка, оборудования.

Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма и, как следствие, к потере трудоспособности, быстрому утомлению, потере сознания и тепловой смерти. Одним из важных интегральных показателей теплового состояния организма является средняя температура тела около 36,5°C. Она зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжелой при высокой температуре воздуха она может повышаться от нескольких десятых градуса до 1...2°C. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет 43°C, минимальная – 25°C.

Температурный режим кожи играет основную роль в теплоотдаче. Ее температура меняется в довольно значительных пределах и под одеждой составляет 30...34°C. При неблагоприятных метеорологических условиях на отдельных участках тела температура может понижаться ниже 20°C.

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение Q_m человека полностью воспринимается окружающей средой O_{to} , т.е. когда имеет место тепловой баланс $Q_m = O_{to}$.

В этом случае температура внутренних органов остается постоянной.

Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде ($Q_m > O_{to}$), происходит рост температуры внутренних органов, и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «жарко».

Если окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем ее воспроизводит человек ($Q_m < O_{to}$), то происходит охлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «холодно».

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией Q_k в результате омывания тела воздухом, излучением на окружающие поверхности Q_p и в процессе тепломассообмена Q_{tm} при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами и при дыхании.

Количество теплоты, отдаваемое организмом человека различными путями, зависит от параметров микроклимата.

Так, величина и направление конвективного теплообмена человека с окружающей средой определяется в основном температурой окружающей среды, атмосферным давлением, подвижностью и влагосодержанием воздуха.

Излучение теплоты происходит в направлении окружающих человека поверхностей, имеющих более низкую температуру, чем температура поверхности одежды и открытых частей тела человека.

При высоких температурах окружающих поверхностей (свыше 30°C) теплоотдача излучением полностью прекращается, а при более высоких температурах теплоотдача излучением идет в обратном направлении – от горячих поверхностей к человеку.

Отдача теплоты при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами, зависит от температуры воздуха, интенсивности работы, выполняемой человеком, от скорости движения окружающего воздуха и его относительной влажности.

Температура, скорость, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха получили название «параметры микроклимата».

Температура окружающих предметов и интенсивность физической нагрузки организма характеризуют конкретную производственную обстановку.

Одной из наиболее адекватных, хотя и сравнительно сложных методик гигиенической оценки микроклимата является непосредственный расчет прямого показателя тепловой нагрузки на организм по основному уравнению теплового баланса.

В основном уравнении теплового баланса учтены главные факторы, оказывающие влияние на изменение содержания тепла в организме человека:

$$Q = M + C + R + E, \quad (19)$$

где Q – тепловая нагрузка на организм (накопление или дефицит тепла);

M – теплопродукция (метаболическое тепло, составляющее 67–75% от энергозатрат);

С – конвекционный обмен организма и окружающего воздуха;
R – радиационный теплообмен организма с окружающей средой;
E – отдача тепла организма испарением.

В данной формуле величины R и С могут быть отрицательными, если теплоотдача происходит путем радиации и конвекции, или положительными, если в результате теплообмена организм получает тепло этими путями, что определяется различием между температурой кожи и температурой окружающих поверхностей (для R) или температурой кожи и температурой воздуха (для С).

При температуре воздуха и окружающих поверхностей 32-35°C теплоотдача путем конвекции и излучения резко сокращается, при этом ведущее место в теплоотдаче занимает испарение (преимущественно пота).

При дальнейшем повышении температуры воздуха и окружающих поверхностей организм начинает получать дополнительное тепло за счет конвекции и радиации, при этом потоотделение еще более возрастает.

В комфортных условиях на теплоотдачу путем конвекции и радиации приходится 65- 80% всей теплоотдачи организма. При низких температурах теплоотдача путем конвекции и радиации значительно возрастает.

Тепловой баланс может быть нулевым, положительным, отрицательным.

Нулевое значение Q связано с сохранением теплового равновесия между теплопродукцией и теплоотдачей. При положительной или отрицательной тепловой нагрузке (накопление или дефицит тепла) говорят о напряжении процессов терморегуляции, а при величинах, превышающих допустимые, – о возможности развития перегрева или переохлаждения.

Исходные данные. Определить зависимость теплового баланса человека от определяющих метеорологических параметров воздуха (температуры воздуха, радиационной температуры, парциального давления водяных паров), тяжести выполняемых работ и термического сопротивления одежды. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 7.

Оценка теплоощущений человека при изменении микроклимата в помещении производится по методике уравнения теплового баланса человека, предложенной О.Фагнером [15]:

$$\Delta q = \frac{M}{F_T} (1 - \eta) - q_d - q_{и} - q_{яд} - q_{с.д} - q_k - q_p, \quad (20)$$

где Δq – избыточная (недостаточная) теплота человека, которая может быть либо положительной, либо отрицательной, т.е. тело человека либо накапливает теплоту, либо отдает больше, чем получает, Вт/м²;

M – метаболическая теплота (теплопродукция, энергозатраты) человека, величина которой зависит от тяжести выполняемых работ, Вт;

F_T – расчетная площадь поверхности взрослого человека, принимается равной 1,75 м²;

η – тепловой коэффициент потерь метаболической теплоты;

q_д – скрытая теплота диффузии пара через поры кожи, Вт/м²;

q_и – скрытая теплота испарения с поверхности кожи вследствие потоотделения, Вт/м²;

$q_{я,д}$ – явная теплота, отдаваемая с выдыхаемым воздухом, Вт/м²;
 $q_{с,д}$ – скрытая теплота, отдаваемая с выдыхаемым воздухом, Вт/м²;
 q_k – теплоотдача конвекцией, Вт/м²;
 q_p – теплоотдача излучением, Вт/м².

Таблица 7 – Исходные данные к решению задачи

№ вари- анта	Вид деятельности человека	Темпе- ратура в помеще- нии, °С	Подвиж- ность возду- ха в поме- щении, м/с	Тип одежды работающего
1	2	3	4	5
1	Состояние покоя	17	0,2	Теплая зимняя европейская одежда
2	Легкие работы I-а	18	0,3	Теплая традиционная евро- пейская одежда
3	Легкие работы I-б	19	0,4	Деловой костюм
4	Средней тяжести II-а	20	0,5	Теплая зимняя европейская одежда
5	Средней тяжести II-б	21	0,6	Легкая летняя одежда
6	Тяжелые работы III	22	0,6	Легкая специальная одежда
7	Состояние покоя	23	0,5	Деловой костюм
8	Легкие работы I-а	24	0,4	Легкая специальная одежда
9	Легкие работы I-б	25	0,3	Легкая летняя одежда
10	Средней тяжести II-а	26	0,2	Легкая специальная одежда
11	Состояние покоя	20	0,3	Деловой костюм
12	Легкие работы I-а	22	0,5	Легкая летняя одежда
13	Легкие работы I-б	21	0,2	Легкая специальная одежда
14	Средней тяжести II-а	17	0,3	Теплая традиционная евро- пейская одежда
15	Средней тяжести II-б	25	0,4	Легкая специальная одежда
16	Тяжелые работы III	18	0,2	Теплая зимняя европейская одежда
17	Состояние покоя	26	0,4	Шорты и рубашка
18	Легкие работы I-а	23	0,3	Легкая специальная одежда
19	Легкие работы I-б	20	0,4	Деловой костюм
20	Средней тяжести II-а	16	0,3	Теплая зимняя европейская одежда

Энергозатраты человека зависят от вида деятельности человека (тяжести выполняемых работ). Они могут быть определены по таблице А1 приложения.

а) Расчет скрытой теплоты диффузии пара через поры кожи – q_d

Для определения теплоотдачи через кожу путем диффузии используется формула Дальтона

$$q_d = r \cdot m \cdot (P_T - P_B), \quad (21)$$

где r – теплота испарения влаги при температуре тела 35°C принимается равной $2,4 \cdot 10^3$ Дж/кг;

m – постоянная кожи при тепловом комфорте, равная $2,26 \cdot 10^{-9}$ кг/(с·м²·кПа);

P_B – парциальное давление водяных паров в воздухе, кПа, которое может быть принято 2,2-2,3 кПа.

Для определения парциального давления водяных паров, кПа, при влаговыделениях через поры используют эмпирическую формулу Банхиди

$$P_T = 14,4 \cdot t_T - 190, \quad (22)$$

где t_T – средняя температура тела человека, $^\circ\text{C}$, которая определяется по формуле О. Фангера:

$$t_T = 35,7 - 0,032 \cdot \frac{M}{F_T} (1 - \eta). \quad (23)$$

Подставляя вышеприведенные уравнения (3, 4) в уравнения 2, получим

$$q_D = 5,42 \cdot 10^{-3} \left(324 - 0,461 \frac{M}{F_T} (1 - \eta) - P_B \right). \quad (24)$$

б) Расчет скрытой теплоты испарения с поверхности кожи вследствие потоотделения - $q_{и}$

Теплоту, отдаваемую испарением с поверхности кожи, определяют по эмпирической формуле О. Фангера:

$$q_{и} = 0,49 \left[\frac{M}{F_T} (1 - \eta) - 50 \right]. \quad (25)$$

в) Расчет скрытой теплоты, отдаваемой человеком с выдыхаемым воздухом - $q_{с.д.}$

Скрытая теплота, отдаваемая человеком с выдыхаемым воздухом:

$$q_{с.д.} = r \cdot V_{в.в} (d_{в.в} - d_B), \quad (26)$$

где $V_{в.в}$ – количество выдыхаемого воздуха, кг/с м², которое может быть найдено по эмпирической формуле

$$V_{в.в} = 0,166 \cdot 10^{-5} \frac{M}{F_T}. \quad (27)$$

Разность влагосодержания выдыхаемого $d_{в.в}$ и вдыхаемого d_B воздуха (кг влаги /кг сухого воздуха) может быть найдена по эмпирической зависимости Тейлора

$$d_{в.в} - d_B = 0,029 - 0,00492 \cdot P_B, \quad (28)$$

где P_B – барометрическое давление, допускается принять для нормальных условий.

С учетом приведенных зависимостей скрытая теплота, отдаваемая при дыхании, определяется из выражения:

$$q_{с.д.} = 0,0196 \frac{M}{F_T} \cdot (5,9 - P_B). \quad (29)$$

г) Расчет явной теплоты, отдаваемой человеком с выдыхаемым воздухом – $Q_{я.д.}$

Явная теплота, отдаваемая человеком с выдыхаемым воздухом:

$$q_{я.д.} = c_p \cdot V_{в.в} \cdot (t_{в.в} - t_{в}), \quad (30)$$

где c_p – теплоемкость воздуха, принимается равной $1 \cdot 10^3$ кДж/(кг · °С);

$t_{в.в}$ – температура выдыхаемого воздуха ($t_{в.в} = 34^\circ\text{С}$).

Подставляя значения c_p и $t_{в.в}$ в формулу 30, получаем, что явная теплота, отдаваемая человеком с выдыхаемым воздухом определяется по формуле:

$$q_{я.д.} = 0,0017 \frac{M}{FT} (34 - t_{в}). \quad (31)$$

д) Расчет теплоотдачи радиацией - q_p

Расчет теплоотдачи радиацией производится по формуле Стефана – Больцмана

$$q_p = \varepsilon \cdot \sigma \left[\left(\frac{T_{од}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right] = 4,0 \left[\left(\frac{T_{од}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right], \quad (32)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана, величина которой равна $5,67$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$);

ε – излучающая способность одетого человека, равная $0,7$;

$T_{од}$ – температура поверхности одежды, К;

T_r – радиационная температура в рассматриваемой точке помещения, К.

е) Расчет теплоотдачи конвекцией - q_k

Для расчета коэффициента теплоперехода при свободной конвекции используют приближенную формулу

$$\alpha = 2,4 \cdot (t_{од} - t_{в})^{0,25}. \quad (33)$$

Для вынужденной конвекции

$$\alpha = 3,75 + 3,05 \cdot \omega, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (34)$$

где ω – расчетная подвижность воздуха в рабочей зоне помещения, м/с.

Термическое сопротивление $R_{од}$ и значения коэффициента $f_{од}$ для различных типов одежды приведены в таблице А2 приложения. Термическое сопротивление одежды принято измерять в «clo» ($1 \text{ clo} = 0,155(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$).

Температура на поверхности одежды определяется для стационарных условий теплообмена из условия равенства теплоотдачи тела человека q_0 количеству теплоты, проходящей через одежду, т.е.

$$q_0 = \frac{t_{т} - t_{од}}{R_{од}}. \quad (35)$$

$$\text{Отсюда} \quad t_{од} = t_{т} - R_{од} \cdot q_0. \quad (36)$$

Как показано выше, для определения температуры тела человека может быть использована формула О. Фангера, т.е.

$$t_{од} = 35,7 - 0,032 \cdot \frac{M}{F_T} (1 - \eta). \quad (37)$$

Подставив приведенные выше данные в формулу 20, находим зависимость теплового баланса человека от определяющих метеорологических параметров воздуха (температуры воздуха, радиационной температуры, парциального давления водяных паров), тяжести выполняемых работ и термического сопротивления одежды.

$$\Delta q = \frac{M}{F_T} (1 - \eta) - 5,42 \cdot 10^{-3} \left[324 - 0,461 \frac{M}{F_T} (1 - \eta) - P_e \right] - 0,49 \left[\frac{M}{F_T} (1 - \eta) - 50 \right] - 0,0196 \frac{M}{F_T} (5,9 - P_B) - 0,0017 \frac{M}{F_T} (34 - t_{в}) - 4,0 \left[\left(\frac{T_{ОД}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right] - f_{ОД} \cdot \alpha \cdot (t_{ОД} - t_{в})$$

Для оценки теплоощущений человека О. Фангера используют ранговые оценки (PMV – ожидаемые значения теплоощущений таблица 8).

Таблица 8 - Ожидаемые значения теплоощущений

Холодно	-3	Слегка тепло	+1
Прохладно	-2	Тепло	+2
Слегка прохладно	-1	Жарко	+3
Комфортно	0		

Сделать вывод о параметрах микроклимата на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений (таблица А3 приложения) для данного вида деятельности человека.

Вопросы для защиты работы

1. Области применения метода расчета теплоощущений по тепловому балансу человека.
2. Основные составляющие уравнения теплового баланса человека.
3. Классификация работ по степени тяжести.
4. Факторы, определяющие теплопередачу от человека в окружающую среду.
5. Ожидаемые значения теплоощущений, определяемые в расчете.

Задача 3 Расчет наружного прожекторного освещения

При освещении больших открытых пространств зачастую источники света нельзя разместить вблизи от освещаемой поверхности и нужно равномерно распределить световой поток на значительное расстояние. Для таких случаев применяют прожекторное освещение.

Прожектором называют осветительный прибор дальнего действия, в котором поток света, создающийся прожекторной лампой во всех направлениях, в результате перераспределения и концентрации оптической системой прожектора преобразуется в узконаправленный пучок света, что позволяет освещать большие площади.

Методика расчета прожекторного освещения [14]

Проектирование прожекторной установки проводим в такой последовательности: выбор типа прожектора, выбор освещенности, определение числа прожекторов, необходимого для создания на освещаемой площади заданной расчетной освещенности, и расположение прожекторов на плане площадки, расчет высоты установки прожекторов над освещаемой поверхностью, расчет углов наклона прожекторов вертикальной плоскости и углов поворота прожекторов в горизонтальной плоскости. Расположению прожекторов может быть групповое или индивидуальное, по периметру площадки или в шахматном порядке. Для расчетов в задаче применяем метод светового потока.

Расчет по коэффициенту использования светового потока. Определение требуемого числа прожекторов (источников света) при расчете по методу светового потока определяется по формуле

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot k}{\Phi_n \cdot \eta_n \cdot \eta \cdot z}, \quad (38)$$

где N – определяемое число прожекторов; E_n – нормируемое значение освещенности, S – площадь освещаемой поверхности, k – коэффициент запаса, η_n – КПД прожектора, η – коэффициент использования светового потока, z – коэффициент неравномерности освещения, равный E_{min}/E_{cp} .

Коэффициент запаса при расчетах прожекторного освещения с учетом повышенного влияния запыления отражателя и защитного стекла прожектора на световой поток принимаем $k = 1,5$.

В расчетах будем использовать прожекторы общего назначения, которые широко представлено промышленными вариантами современного исполнения. Используемые в задаче прожекторы имеют характеристики, приведенные в таблице 9.

Таблица 9 – Основные технические характеристики прожекторов

Прожектор	Марка лампы	Максимальная сила света I_{max} , кКд	Угол рассеивания, град.		КПД η , %
			В горизонтальной плоскости $2\beta_r$	В вертикальной плоскости $2\beta_v$	
1	2	3	4	5	6
ПЗС - 45	Г220-1000	130	26	24	27
	Г220-1500	225	25	26	
	ДРЛ-700	30	100	100	
	ДРЛ-400	14	84	90	
ПЗС - 35	Г220-500	50	21	19	27
ПЗС - 25	Г220-200	16	16	12	27
ПЗМ - 35	Г220-500	40	30	20	25
ПЗМ-25	Г220-200	10	8	8	25
ПСМ-50-1	Г-220-1000	120	21	21	35
	ДРЛ-700	52	74	90	
	ДРЛ-400	19,5	74	90	
ПСМ-50-2	ПЖ220-1000	640	9	9	35
ПСМ-40-1	Г-220-500	70	19	19	35
ПСМ-40-2	ПЖ220-500	280	9	9	

ПСМ-30-1	Г-220-200	33	16	16	35
ПЗР-250	ДРЛ-250	11	60	60	45
ПЗР-400	ДРЛ-400	19	60	60	45
ИСУ 01-2000	КГ 220-2000-4	71	100	35	63
ПКН-1000А	КГ 220-1000-5	80	80	12	45
ПКН-1500А	КГ 220-1500	110	90	12	45
ИО-04-1500	КГ 220-1500	110	110	70	60

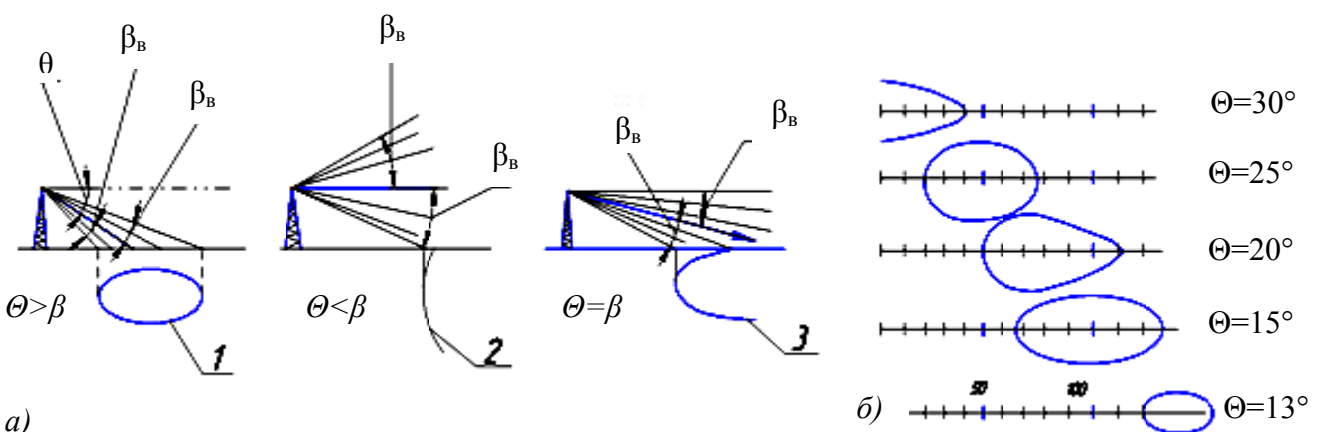
Затем определяем высоту установки прожектора, которая определяется требуемой освещенностью поверхности площадки. Для прожекторов установлено значение c – отношение максимальной силы света прожектора I к квадрату высоты установки прожектора H , которое определяется требуемой освещенностью (таблица 10).

Таблица 10 – Зависимость значений коэффициента c от освещенности

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	30,0	50,0
$c=I_{max}/H^2$	10	50	300	400	700	2100	3500

Характеристики ламп, применяемых в прожекторах заливающего света, приведены в таблице 11.

Выбор угла наклона прожекторов. При изменении угла наклона прожектор (угла между направлением оптической оси и горизонтом) значительно изменяются освещенность, форма и площадь светового пятна (рисунок 4). Угол наклона прожектора (θ) оказывает влияние на освещенность, форму, и размеры светового пятна, образуемого прожектором. В зависимости от соотношения угла наклона θ и углов рассеивания в вертикальной плоскости β_v световое пятно имеет различную форму. Световое пятно при угле наклона θ , превышающем половину угла рассеивания в вертикальной плоскости ($\theta > \beta_v$) имеет форму эллипса, а при равенстве углов θ и β_v – параболы и при $\theta < \beta_v$ – гиперболы.



а) – в зависимости от соотношения угла наклона прожектора и углов рассеивания в вертикальной плоскости β_v : 1 – эллипс, 2 – гипербола, 3 – парабола;

б) – в зависимости от угла наклона прожектора θ

Рисунок 4 – Изменение формы светового пятна

Таблица 11 – Основные характеристики ламп накаливания для прожекторов

Марка лампы	Мощность, Вт	Световой поток $\Phi_{л}$, лм	Срок службы, час	Тип цоколя
Лампы накаливания общего назначения				
Г 215-225-200	200	2920	1000	E-40
Г 215-225-500	500	8300	1000	E-40
Г 220-230-1000	1000	18600	1000	E-40
Г 220-230-1500	1500	28000	1000	E-40
Натриевые лампы высокого давления серии ДНаМт				
ДНаМт 100	100	9000	16000	E-40
ДНаМт 150	150	14000	16000	E-40
ДНаМт 250	250	26000	20000	E-40
ДНаМт 400	400	45000	20000	E-40
ДНаМт 350	350	34000	12000	E-40
Газоразрядные лампы высокого давления				
ДРЛ-250 (10)-4	250	13500	12000	E-40
ДРЛ-400 (10)-4	400	24000	15000	E-40
ДРЛ-700 (10)-3	700	41000	20000	E-40
ДРЛ 1000(10)-3	1000	59000	18000	E-40
ДРИ 700	700	60000	5000	E-40
Прожекторные лампы				
ПЖ 220-500	500	10500	170	E-27
ПЖ 220-1000	1000	21000	200	E-40
Лампы галогенные серии КГ				
КГ 220-500-4	500	9500	2000	R7S
КГ 220-1000-5	1000	22000	2000	R7S
КГ 220-1500	1500	33000	2000	R7S
КГ 220-2000-4	2000	44000	2000	R7S

При установке прожектора на мачту с углом θ (рисунок 5) у ее подножия создается неосвещенная (темная) зона. Зона тем больше, чем меньше угол θ . Протяженность неосвещенной зоны на расстоянии L_0 от основания мачты определяется по формуле:

$$L_0 = H * \operatorname{tg} (90^\circ - \theta - \beta_e), \quad (39),$$

где H – высота установки прожектора,

θ – угол между горизонталью и оптической осью прожектора, град,

β_e – угол рассеивания прожектора в вертикальной плоскости.

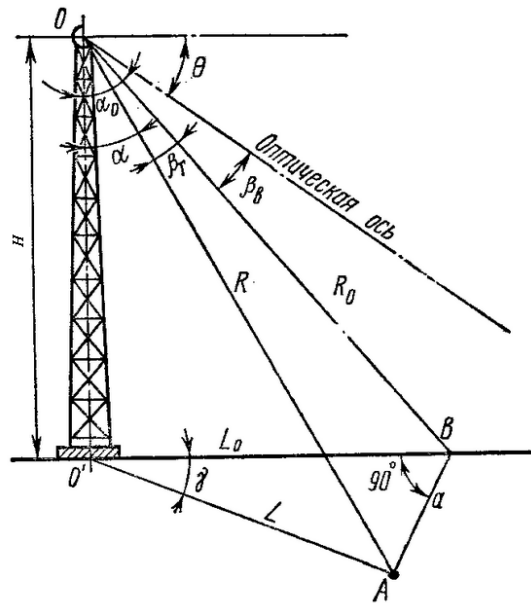
Для ограничения слепящего действия прожектора минимально допустимая высота установки прожекторов не должна нарушаться.

Для наиболее распространенных прожекторов проектными организациями были разработаны рекомендации по минимально допустимой высоте подвеса (таблица 12).

Таблица 12 – Минимально допустимая высота установки прожекторов, м

Прожектор	Марка лампы	Максимальная сила света I_{\max} , кКд	Нормируемая освещенность, лк				
			0,5	5,0	10,0	30,0	50,0
ПСМ-50-1	Г-220-1000	120	35	17	13	7	6
	ДРЛ-700	52	23	11	8	5	4
	ДРЛ-400	19,5	14	7	5	3	3
ПСМ-50-2	ПЖ220-1000	640	80	40	30	17	13
ПСМ-40-1	Г-220-500	70	25	13	10	5	4
ПСМ-40-2	ПЖ220-500	280	50	25	20	11	9
ПСМ-30-1	Г-220-200	33	18	9	7	4	3
ПЗР-400	ДРЛ-400	19	14	7	5	3	3
ПЗР-250	ДРЛ-250	11	10	5	4	3	3
ПЗС - 45	Г220-1000	130	35	18	13	7	6
	ДРЛ-700	30	17	8	6	4	3
	ДРЛ-400	14	12	5	4	3	3
	ДРИ-700	700	75	40	30	16	13
ПЗС - 35	Г220-500	50	22	11	8	5	4
ПЗС - 25	Г220-200	16	13	6	5	3	3
ПЗМ-35	Г220-500	40	20	10	7	4	4
ПЗМ-25	Г220-200	10	10	5	4	3	3
ПКН-1500-1	КГ 220-1500	90	30	15	11	6	5
ПКН-1500-2	КГ 220-1500	45	20	10	8	5	4
ПКН-1000-1	КГ 220-1000-5	52	23	11	8	5	4
ПКН-1000-2	КГ 220-100-5	30	17	8	6	4	3
ИСУ02-5000	КГ 220-5000-1	200	45	22	17	10	8
ИСУ01-2000	КГ 220-2000-4	71	25	13	10	5	5
ИО-04-1500	КГ 220-1500	45	20	10	8	5	4
ПГП-3500	ДРИ-3500-1	2800	168	84	64	35	28
ПГП - 2000	ДРИ-2000-1	1800	135	67	50	28	23
ПГП - 1000	ДРИ-1000-1	1200	109	55	42	23	19
ПГП - 400	ДРИ-400-1	610	78	39	30	16	13

При изменении угла наклона θ изменяется площадь, ограниченная кривой равной освещенности (изолюксой), и расположением светового пятна относительно мачты прожектора: с уменьшением угла наклона световое пятно удаляется от прожектора и приобретает форму эллипса. Угол θ , при котором площадь светового пятна с заданной освещенностью имеет максимальное значение, называется наивыгоднейшим.



H – высота установки прожектора, R – расстояние между центра источника света прожектора и освещаемой точкой, R_0 – расстояние между проекцией расчетной точки на линию, перпендикулярную к освещенной зоне и центром источника света прожектора, L_0 – расстояние между проекцией расчетной точки на линию, перпендикулярную к освещенной зоне и проекцией центра источника света прожектора на землю, α – угол между направлением крайнего горизонтального фокусного луча прожектора и перпендикуляром к земле, β_v и β_g – углы рассеивания светового потока прожектора в вертикальной и горизонтальной плоскости соответственно, γ – угол между расчетной точкой и проекцией оптической оси на землю, θ – угол наклона оптической оси прожектора к горизонту,

Рисунок 5 – Схема расчета темной зоны у прожектора

Наивыгоднейшее значение угла наклона θ при заданной освещенности E_r , равной средней освещенности площади E_{cp} ($E_r = E_{cp}$), можно определить по формуле

$$\theta = \arcsin 0.01 \sqrt{m + n(eH^2)^{2/3}}, \quad (40)$$

где e – освещенность (для заданной освещенности), лк; H – высота установки прожектора над освещаемой поверхностью, м; I_0 – осевая сила света прожектора, Кд; m , n – постоянные определяемые в зависимости от углов рассеивания прожектора в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Затем определяем размеры зоны с заданной освещенностью от одного прожектора, используя значения высоты расположения прожектора, углов рассеивания в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также светотехнические характеристики заданного прожектора и лампы. Прожекторы располагаем по периметру площадки с отступом наружу на величину темного поля.

Исходные данные. Для заданной площади электрической подстанции рассчитать количество прожекторов, их высоту установки и угол наклона оптической оси к горизонту. Привести схему расположения прожекторов относительно за-

данной площадки, чтобы зона требуемой освещенностью перекрывалась суммарной площадью световых пятен с нужной освещенностью от всех прожекторов. Размеры площади электрической подстанции 78,4×43,2 м.

Исходные данные для расчета по вариантам приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Исходные данные к решению задачи

№ вар.	Размеры освещаемой площади, м		Требуемая освещенность E_n , лк	Тип прожектора	Марка лампы
	Длина	Ширина			
1	2	3	4	5	6
1	15	15	30	ПЗС - 45	Г220-1000
2	20	15	20	ПЗС - 25	Г220-200
3	20	20	50	ПЗМ - 35	Г220-500
4	25	20	30	ПСМ-50-1	ДРЛ-700
5	25	25	20	ПЗС - 35	Г220-500
6	15	10	30	ПЗС - 35	Г220-500
7	15	15	20	ПЗС - 25	Г220-200
8	20	15	30	ПЗС - 25	Г220-200
9	20	20	20	ПЗМ - 35	Г220-500
10	25	20	50	ПЗМ - 35	Г220-500
11	30	15	30	ПЗМ-25	Г220-200
12	20	10	30	ПЗМ-25	Г220-200
13	15	15	20	ПЗМ-35	Г220-500
14	25	10	50	ПСМ-50-1	ДРЛ-400
15	30	20	30	ПЗР-400	ДРЛ-400
16	30	30	20	ПСМ-30-1	Г-220-200
17	25	25	50	ПСМ-50-2	ПЖ220-1000
18	30	25	20	ПСМ-40-1	Г-220-500
19	35	30	50	ПСМ-40-2	ПЖ220-500
20	20	15	20	ПСМ-30-1	Г-220-200

Решение

Расчет освещения проводим методом светового потока, согласно методике, изложенной в [14].

Вначале определим требуемую освещенность. Согласно [17], освещенность территории подстанции на уровне земли должна быть не менее 20 лк (принимая 30 лк для работы ремонтного персонала в ночное время).

Принимаем к установке прожектор типа ИО-04-1500-002УХЛ1 с лампами КГ 220-1500-4, имеющий следующие характеристики: мощность $P = 1500$ Вт; максимальная сила света $I_{max} = 35000$ Кд; световой поток лампы $\Phi_{л} = 33000$ лм; коэффициент полезного действия прожектора $\eta = 0,6$. Угол рассеяния в вертикальной плоскости $\beta_v = 35$; угол рассеяния в горизонтальной плоскости $\beta_r = 55^\circ$ (таблица 9).

Общее количество прожекторов:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot k_n}{\Phi_l \cdot \eta_n \cdot \eta \cdot z} = \frac{30 \cdot 3387 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{33000 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 7,38, \quad (41)$$

где E_n – установленная освещенность, $E_n = 30$ лк,

S – площадь освещаемой площадки подстанции, равная $78,4 \times 43,2 \approx 3387$ м²;

K – коэффициент запаса, для прожекторного освещения $K_s = 1,5$;

K_n – коэффициент, учитывающий потери света в зависимости от конфигурации освещаемой площади, принимаем равным 1,15,

Φ_l – световой поток прожекторной лампы, $\Phi_l = 33000$ лм,

η_n – КПД прожектора, $\eta_n = 0,6$,

η – коэффициент использования светового потока, $\eta = 1,0$,

z – коэффициент неравномерности освещения, $z = 1,2$.

Принимаем к установке $N=8$ прожекторов.

Определяем высоту установки прожектора. Высота установки выбирается с учетом требований ограничения слепящего действия и экономических соображений, оправдывающих увеличение высоты.

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{C'}}, \quad (42)$$

где коэффициент C' – это приведенное значение c для количества прожекторов на площадке, $C' = c/N$; ($N=8$).

c – коэффициент, равный $c = I_{\max}/h^2$ и зависящий от нормируемой освещенности, для 30 лк принимается равным 2100 согласно [18], таблица 10.

$$h \leq \sqrt{\frac{33000}{2100/8}} = 11,2 \approx 12 \text{ м}.$$

Установленная мощность прожекторного освещения определяется по формуле, кВт:

$$P_{уст} = N \cdot P_l, \quad (43)$$

где N – количество прожекторов;

P_l – единичная мощность прожектора (лампы);

Определим установленную мощность прожекторного освещения по формуле (41):

$$P_{уст} = 8 \cdot 1500 = 13500 \text{ Вт}.$$

Угол рассеяния в вертикальной плоскости $\beta_v = 35$, угол рассеяния в горизонтальной плоскости $\beta_r = 55^\circ$;

Принимаем угол наклона оптической оси прожектора к горизонту $\Theta_v = 40^\circ$, чтобы световой поток не был направлен выше линии горизонта.

Световое пятно при угле наклона прожектора, превышающем половину угла рассеяния в вертикальной плоскости ($\Theta > \beta_v$), имеет форму эллипса. Размеры данного эллипса будут определяться значениями: H , β_v , β_r и Θ .

Производим расчет размеров зоны светораспределения лучей прожектора (световых пятен) на землю (рисунок 6).

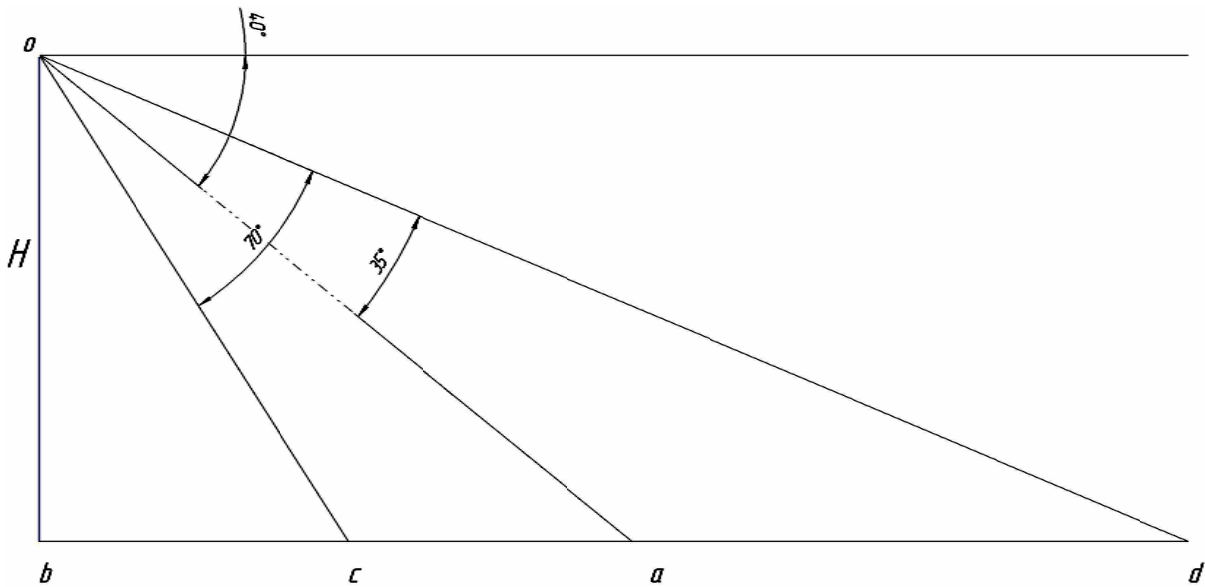


Рисунок 6 – Светораспределение лучей прожектора в вертикальной плоскости.

Вначале определяем расстояние вдоль оптической оси прожектора:

$$ob = H = 12 \text{ м};$$

$$oa = \frac{ob}{\cos \angle aob}; \quad (44)$$

$$ba = oa \cdot \sin \angle aob; \quad (45)$$

$$oa = \frac{12}{\cos 50^\circ} = 18,66 \text{ м};$$

$$ba = 24 \cdot \sin 50^\circ = 9,19 \text{ м}.$$

Аналогично рассчитываем od (oc), bd (bc) по формулам (44),(45):

$$od = \frac{12}{\cos(50 + 35)} \approx 138 \text{ м};$$

$$bd = 138 \cdot \sin(50 + 35) = 137 \text{ м};$$

$$oc = \frac{12}{\cos(90 - 40 - 35)} = 12,42 \text{ м};$$

$$bc = 12,42 \cdot \sin(90 - 40 - 35) = 3,1 \text{ м}.$$

$$cd = ba - bc = 137 - 3,1 = 133,9 \text{ м}$$

Затем определяем ширину светового пятна в горизонтальной плоскости отражателя прожектора, т.е. расстояние eaf (рисунок 7).

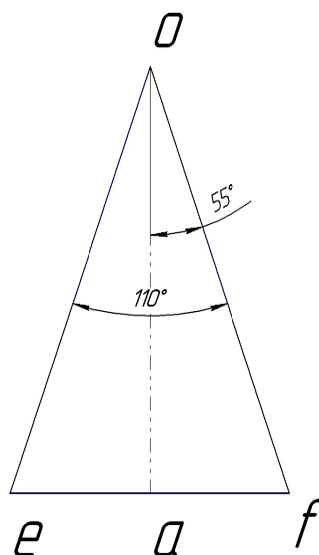


Рисунок 7 - Светораспределение лучей прожектора в горизонтальной плоскости.

$$of = oe; \tag{46}$$

$$af = ae; \tag{47}$$

$$of = oe = \frac{18,66}{\cos 55} = 32,53 м;$$

$$af = ae = 18,66 \cdot \sin 55 = 15,28 м.$$

Вид рассчитанного светового пятна прожектора представлен на рисунке 8, а эскиз освещения площадки – рисунке 9.

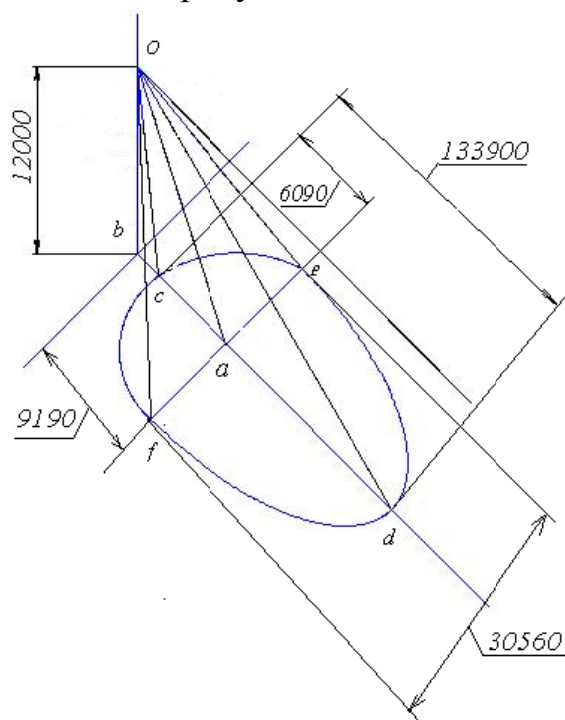


Рисунок 8 – Светораспределение прожектора ИО-04-1500

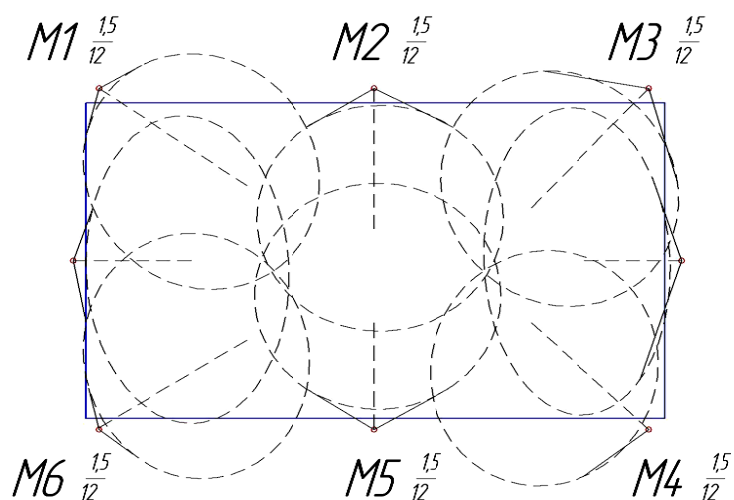


Рисунок 9 – Освещение площадки подстанции

Согласно приведенному расчету, для освещения территории подстанции необходимо восемь прожекторов ИО-04-1500-002УХЛ1 с лампами КГ 220-1500 мощностью 1500 Вт. Каждый прожектор устанавливается на мачту ОГК- 12 на кронштейн, установленный на высоте 12 м. Восемь мачт ОГК-12 размещены по периметру освещаемой площадки подстанции с отступом наружу на расстояние 3,1 м.

Вопросы для защиты работы

- 1 Методы расчета прожекторного освещения.
- 2 Основные характеристики ламп накаливания, используемых в прожекторах.
- 3 Марки прожекторных ламп и области их применения.
- 4 Факторы, определяющие коэффициент использования светового потока.
- 5 Основные характеристики прожекторов.
- 6 Факторы, определяющие высоту установки прожекторов.
- 7 Факторы, определяющие место на плане площадки для установки прожекторов.

Список литературы

- 1 Белов, С. В. Безопасность производственных процессов [Текст] : справочник / С. В. Белов, В. Н. Бринза, Б. С. Векшин [и др.] ; под общ. ред. С. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1985. – 448 с.
- 2 Васильев, А. А. Электрическая часть станций и подстанций [Текст] / А.А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
- 3 ГОСТ 12.0.002-80 (СТ СЭВ 1084-78) ССБТ. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 1997. – 8 с.
- 4 ГОСТ 12.0.003-74 (1990) (СТ СЭВ 790-77) ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.

- 5 ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 9 с.
- 6 Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках [Текст] : учебное пособие для вузов. / П.А. Долин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1984. – 448 с.
- 7 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ Р М-016-2001. РД 153-34.0-03.150-00, 2001. – С изм. и доп. – Мытищи: Талант, 2013. – 144 с.
- 8 Полушкин, В. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. В 2 ч. Ч.1. Теоретические основы создания микроклимата здания [Текст] : учебное пособие/ В. И. Полушкин, О. Н. Русак, С. И. Бурцев [и др.]. – СПб. : Профессия, 2002. –176 с.
- 9 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. : НЦ ЭНАС, 2012. – 280 с.
- 10 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп.– М. : Энергоатомиздат, 2002.
- 11 Р 2.2.2006-05 Руководство. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда : [утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29 июля 2005 г.] : [Введено в действие с 1 ноября 2005 г.] – М. : Изд-во Деан 2006. – 240 с.
- 12 Рожкова, Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций [Текст] / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.
- 13 Руководящие указания по проектированию, сооружению и эксплуатационному контролю заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ. – М. : ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. – 73 с.
- 14 Дадиомов, М. С. Прожекторное освещение [Текст] / М. С. Дадиомов. – Л. : Энергия. 1981. – 232 с.
- 15 Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование [Текст] : справочник / под ред. С.В. Белова. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
- 16 Электротехнический справочник. Т.1 /под. общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
- 17 СНиП 23-05-2010. Естественное и искусственное освещение. Минрегион России. – М. : 2010. – 72 с.
- 18 Тищенко, Г. А. Осветительные установки [Текст] : учебник/ Г. А. Тищенко. – М. : Высшая школа. 1984.
- 19 Российская федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст] : [федер. Закон : принят Гос. Думой по состоянию на 20 окт. 2013 г.]. – М. : Эксмо, 2013. – 384 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Теплопродукция (энергозатраты) человека

Вид деятельности		М/Ф _Т , Вт/м ²	η
Состояние покоя		40 - 60	0
Легкие работы	I – а	50 – 80	0
	II – б	80 - 100	0
Средней тяжести	II – а	100 – 130	0 – 0,05
	II – б	130 - 167	0 – 0,1
Тяжелые работы	III	167 – 300	0,1 – 0,2

Таблица А2 – Значения R_{од} и f_{од} для различных типов одежды

Тип одежды	Термическое сопротивление одежды R _{од} , (м ² *К)/Вт	f _{од}
Шорты и рубашка	0,0155	1,5
Легкая летняя одежда	0,0775	1,1
Легкая специальная одежда	0,093	1,1
Деловой костюм	0,124 – 0,14	1,15
Деловой костюм и хлопчатобумажный плащ	0,155 – 0,2	1,15
Теплая традиционная европейская одежда	0,23	1,15 – 1,2
Теплая зимняя европейская одежда	0,23 – 0,31	1,15 – 1,2
Теплая зимняя одежда в холодных районах	0,465 – 0,62	1,3 – 1,5

Таблица А3 – Расчетные параметры воздуха на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Оптимальные нормы			Допустимые нормы					
		температура, °С	скорость движения, м/с	Относительная влажность, %	Температура, °С			Скор. движ. возд., м/с, не более	Относит. вла-ть воз-духа, %, не более	
					на всех рабочих местах	на пост. рабочих местах	на непост. рабочих местах			на постоянных и непостоянных рабочих местах
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Теплый	Легкая I-а II-б	23-25 22-24	0,1 0,2	40 – 60	На 4°С выше расчетной температуры наружного воздуха (А)	28/31 28/31	30/32 30/32	0,2 0,3	75	
	Ср.тяж. II-а II-б	21-23 20-22	0,3 0,3			27/30 27/30	29/31 29/31	0,4 0,5		
	Тяжелая III	18-20	0,4			26/29	28/30	0,6		
Холодный и переходный периоды	Легкая I-а II-б	22-24 21-23	0,1 0,1	40 - 60	-	21-25 20-24	18-26 17-25	0,1 0,2	75	
	Ср.тяж. II-а II-б	18-20 17-19	0,2 0,2			17-23 15-24	15-24 13-23	0,3 0,4		
	Тяжелая III	16-18	0,3			13-19	12-20	0,5		

Микуров Алексей Иванович
Кривобокова Вера Александровна
Белякин Сергей Константинович
Евтушенко Наталья Георгиевна
Попадчук Светлана Борисовна

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания к выполнению
практических работ для студентов направлений
090303.65, 140400.62, 150700.62, 151900.62, 190100.62, 190109.65, 190110.65,
190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62, 222000.62, 231000.62,
280700.62

Редактор А.С. Мокина

Подписано в печать 24.12.13	Формат 60*84 1/16	Бумага тип. №1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 2,25	Уч. - изд. л. 2,25
Заказ 230	Тираж 70	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.