

БК 57  
40

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Московский технический университет связи и информатики

---

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

Методические указания

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В ВОПРОСАХ И ЗАДАЧАХ

Москва 2005

План УМД 2006/2007уч.г.

## ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### В ВОПРОСАХ И ЗАДАЧАХ

Методические указания

Составители: В.А. Деминский, канд. техн. наук, доцент  
Е.В. Долбилина, канд. техн. наук, доцент  
Е.В. Костюк, канд. техн. наук, доцент  
В.А. Курбатов, канд. ф.- м. наук, доцент  
В.В. Седов, ст. преподаватель

Издание утверждено советом факультета ИТиС.  
Протокол № 2 от 20.10.2005г.

Рецензент М.Ф. Калканов, доцент

УМК 57  
9 40

Задача № 1

### РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ В ВОДОЕМЫ

Технологический цикл одного из промышленных предприятий Московской области требует потребления значительных количеств воды. Источником является расположенная недалеко от предприятия река. Пройдя технологический цикл, вода практически полностью возвращается в реку в виде сточных вод промышленного предприятия. В зависимости от профиля предприятия сточные воды могут содержать самые различные вредные по санитарно-токсикологическому признаку химические компоненты. Их концентрация, как правило, во много раз превышает концентрацию этих компонентов в реке. На некотором расстоянии от места сброса сточных вод вода реки берется для нужд местного водопользования самого разного характера (например, бытового, сельскохозяйственного). В задаче необходимо вычислить концентрацию наиболее вредного компонента после разбавления водой реки сточной воды предприятия в месте водопользования и проследить изменение этой концентрации по фарватеру реки. А также определить предельно допустимый сток (ПДС) по заданному компоненту в стоке.

Характеристика реки: скорость течения -  $V$ , средняя глубина на участке -  $H$ , расстояние до места водопользования -  $L$ , расход воды в реке -  $Q_1$ ; шаг, с которым необходимо проследить изменение концентрации токсичного компонента по фарватеру реки -  $LS$ .

Характеристика стока: вредный компонент, расход воды -  $Q_2$ , концентрация вредного компонента -  $C$ , фоновая концентрация -  $C_{ф}$ , предельно допустимая концентрация - ПДК.

#### МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Многие факторы: состояния реки, берегов и сточных вод влияют на быстроту перемещения водных масс и определяют расстояние от места выпуска сточных вод (СВ) до пункта полного смешивания. Выпуск в водоемы сточных вод должен, как правило, осуществляться таким образом, чтобы была обеспечена возможность полного смешивания сточных вод с водой водоема в месте их спуска (специальные выпуски, режимы, конструкции).

Однако приходится считаться с тем фактом, что на некотором расстоянии ниже спуска СВ смешивание будет неполным. В связи с этим реальную кратность разбавления в общем случае следует определять по формуле:

RC [577.4 + 658.3] (075.8)

$$K = \frac{\gamma \cdot Q_1 + Q_2}{Q_2}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  - коэффициент, степень полноты разбавления сточных вод в водоеме.

Условия спуска сточных вод в водоем принято оценивать с учетом их влияния у ближайшего пункта водопользования, где следует определять кратность разбавления.

Расчет ведется по формулам:

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{(Q_1 / Q_2)^\beta}; \quad (2)$$

$$\beta = \exp(-\alpha \cdot \sqrt{L}), \quad (3)$$

где  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий гидрологические факторы смешивания  
L - расстояние до места водозабора.

$$\alpha = \varepsilon \cdot (L_f / L_{пр}) \cdot \sqrt{D / Q_2}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент, зависящий от места выпуска стока в реку: при выпуске у берега  $\varepsilon = 1$ , при выпуске в стрежень реки (место наибольших скоростей)  $\varepsilon = 1,5$ ;

$L_f / L_{пр}$  коэффициент извилистости реки, равный отношению расстояния по фарватеру полной длины русла от выпуска СВ до места ближайшего водозабора к расстоянию между этими двумя пунктами по прямой;

D - коэффициент турбулентной диффузии,

$$D = \frac{V \cdot H \cdot g}{2 \cdot m \cdot c}, \quad (5)$$

где V - средняя скорость течения, м/с; H - средняя глубина, м; g - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>; m - коэффициент Буссинского, равный 24; c - коэффициент Шези, который выбирают по таблицам.

Однако в данной задаче предполагается, что исследуемые реки являются равнинными, потому справедливо приближение:

$$D = \frac{V \cdot H}{200}. \quad (6)$$

Реальная концентрация вредного компонента в водоеме в месте ближайшего водозабора вычисляется по формуле:

$$C_{в} = (C - C_{ф}) / K. \quad (7)$$

Эта величина не должна превышать ПДК (предельно допустимая концентрация).

Необходимо также определить, какое количество загрязняющих веществ может быть сброшено предприятием, чтобы не превышать нормативы. Расчеты проводятся только для консервативных веществ по санитарно-токсикологическому показателю вредности. Расчет ведется по формуле:

$$C_{ст.пред.} = K \cdot (ПДК - C_{ф}) + ПДК, \quad (8)$$

где C ст.пред. - максимальная (предельная) концентрация, которая может быть допущена в СВ, или тот уровень очистки СВ, при котором после их смешивания с водой в водоеме у первого (расчетного) пункта водопользования степень загрязнения не превышает ПДК.

Предельно допустимый сток ПДС рассчитывается по формуле:

$$ПДС = C_{ст.пред.} \cdot Q_2.$$

Далее необходимо построить график функции распределения концентрации вредного компонента в зависимости от расстояния до места сброса СВ по руслу реки с шагом LS, указанным в варианте:

$$F = C(L).$$

В результате вычислений должны быть получены следующие характеристики СВ:

кратность разбавления - K;  
концентрация в месте водозабора - C<sub>в</sub>, мг/л;  
предельная концентрация в стоке - C ст.пред, мг/л;  
предельно допустимый сток - ПДС, мг/с;  
график функции F = C(L).

Таблица 1.1

Варианты к расчету характеристик сбросов сточных вод предприятий в водоемы

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Вредный компонент	Керосин	Cu	Cr	Фен-ол	Pb	Zn	Cl	NaOH	Hg	H <sub>2</sub> PO <sub>3</sub>
ПДК, мг/л	0,7	0,02	0,01	0,35	0,01	0,02	1	0,5	0,01	1
Q1, м <sup>3</sup> /с	20	30	40	50	60	70	80	10	50	30
Q2, м <sup>3</sup> /с	1	0,5	0,7	1,2	1	0,8	1,1	0,4	1	0,8
V, м/с	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	1,5	1	0,7
H, м	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	2	0,5	2	1,5
L, м	50	100	150	200	100	300	150	50	100	150
LS, м	LS = L / 10									
C, мг/л	15	1	0,5	20	0,5	2	60	15	1	30
Cф, мг/л	Cф = 0,1 ПДК									
Для всех вариантов	ε = 1; Lф / Lпр = 1									

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Источники загрязнения воды.
2. Опасность неочищенных сточных вод.
3. Условия спуска сточных вод промышленных предприятий в водоемы.
4. Контроль за осадконакоплением и уровнем биогенов.
5. Сбор и очистка сточных вод.
6. Загрязнение гидросферы ядохимикатами.

Литература: [1; 2; 3; 4].

Задача № 2

### РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Промышленное предприятие находится в одном из регионов России, который характеризуется ототратификационным коэффициентом - А, определяющим условия горизонтального и вертикального рассеивания примеси в атмосфере. Местность характеризуется уклонами, определяющими добавку на рельеф - г. Средняя температура наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца - Тв. Температура выбросов газовой смеси - Тг. Разность этих температур - ΔТ. Ежесекундный выброс газовой смеси - Vг. Наиболее опасный компонент (см. вариант) в выбрасываемой газовой смеси имеет концентрацию в устье трубы - Ст. Для этого компонента определена среднесуточная предельно допустимая концентрация - Спдк. F - характеризует скорость оседания данного компонента газовой смеси. В данной задаче следует ограничиться среднесуточным осреднением. При этом показатель вытянутости розы ветров P/Po = 2, а коэффициент осреднения α = 0,5. Диаметр трубы в устье - D.

Задача состоит из двух частей, каждая из которых рассчитана на 2 часа занятий.

В первой части необходимо:

1. Определить максимальную концентрацию заданного компонента в приземном слое См и сравнить ее с предельно допустимой С.
  2. Определить расстояние Хм от источника выброса до места, где максимальная концентрация будет наблюдаться с наибольшей вероятностью.
  3. Сформулировать выводы.
- Во второй части необходимо:
1. Построить график наиболее вероятного распределения концентрации вредного компонента в зависимости от расстояния до источника.
  2. Определить размеры санитарно-защитной зоны вокруг промышленного предприятия.
  3. Определить ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ ВЫБРОС (ПДВ).

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ

*Предварительная оценка характеристик выбросов газовой смеси в атмосферу*

Условия метеорологического рассеивания газовой смеси,

выбрасываемой предприятием в атмосферу, в значительной степени зависят от того, являются ли выбросы "холодными" или "нагретыми". Критерием "нагретости" выбросов является вспомогательный фактор

$$f = \frac{10^6 \cdot \omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (1)$$

где  $\omega_0$  - средняя скорость выхода смеси из устья трубы, м/с,

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot V_{\Gamma}}{\pi D^2} \quad (2)$$

При  $f \leq 100$  выбросы считаются "нагретыми". При  $f > 100$  выбросы считаются "холодными".

#### Часть I

##### А. СЛУЧАИ "НАГРЕТЫХ" ВЫБРОСОВ: $f \leq 100$

1. Коэффициент метеорологического разбавления:

$$K_p = \frac{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{\Gamma} \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot (P/P_0)} \quad (3)$$

Величины  $H$ ,  $T_{\text{в}}$ ,  $T_{\text{г}}$ ,  $\Delta T$ ,  $V_{\Gamma}$ ,  $A$ ,  $F$ ,  $\gamma$  - заданы в соответствии с данными Вашего варианта.

$\alpha = 0,5$ ;  $P/P_0 = 2$ ,

$m$  - коэффициент, определяемый по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}} \quad (4)$$

Коэффициент  $n$  определяют в зависимости от величины вспомогательного параметра  $V_M$  - опасной скорости ветра на уровне флюгера, при которой возможен отрыв факела выброса от трубы:

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_{\Gamma} \cdot \Delta T}{H}} \quad (5)$$

Если  $V_M > 2$ , то  $n = 1$ ;

если  $2 \geq V_M \geq 0,3$ , то  $n = 3 - \sqrt{(V_M - 0,3)(4,36 - V_M)}$ ; (6)

если  $V_M < 0,3$ , то  $n = 3$ .

Далее по формуле (3) определяют значение коэффициента метеорологического разбавления  $K_p$ .

2. Определяют максимальную концентрацию вредного компонента в приземном слое -  $C_m$ :

$$C_m = \frac{V_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma}}{K_p} \quad (7)$$

3. При расчетах рассеивания газообразных компонентов расстояние  $X_m$ , на котором наблюдается максимальная концентрация  $C_m$ , определяют по формуле:

$$X_m = d \cdot H, \quad \text{при } F < 2 \quad (8)$$

где коэффициент  $d$  определяется следующим образом:

если  $V_M \leq 2$ , то  $d = 4,95 \cdot \sqrt{V_M} \cdot (1 + 0,28) \cdot \sqrt[3]{f}$ ;

если  $V_M > 2$ , то  $d = 7 \cdot \sqrt{V_M} \cdot (1 + 0,28) \cdot \sqrt[3]{f}$ . (9)

Далее определяют численное значение  $X_m$  по формуле (8).

##### Б. СЛУЧАИ "ХОЛОДНЫХ" ВЫБРОСОВ: $f > 100$

1. Коэффициент метеорологического разбавления:

$$K_p = \frac{H^{4,3}}{A \cdot F \cdot n \cdot k} \quad (10)$$

Коэффициент  $n$  определяют в зависимости от вспомогательного параметра  $V_M$ :

$$V_M = \frac{1,3 \cdot \omega_0 \cdot D}{H} \quad (11)$$

Если: а) если  $V_M > 2$ , то  $n = 1$ ;

б)  $0,3 \leq V_M \leq 2$ , то  $n = 3 - \sqrt{(V_M - 0,3)(4,36 - V_M)}$ ; (12)

в)  $V_M < 0,3$ , то  $n = 3$ .

Коэффициент  $k$  вычисляется по формуле:

$$k = \frac{D}{8 \cdot V_{\Gamma}} \quad (13)$$

Величины  $A$ ,  $H$ ,  $F$  берутся в соответствии с данными варианта.

Далее по формуле (10) определяют численное значение  $K_p$ .

2. Определяют максимальную концентрацию вредного компонента в

приземном слое  $C_m$ :

$$C_m = \frac{V_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma}}{K_{\rho}} \quad (14)$$

3. При расчетах рассеивания газообразных компонентов расстояние  $X_m$  определяется по формуле:

$$X_m = d \cdot H, \quad \text{при } F < 2, \quad (15)$$

$$\text{где } d = 11,4, \text{ если } V_m \leq 2; \quad d = 16,1, \text{ если } V_m > 2. \quad (16)$$

По формуле (15) определяют численное значение  $X_m$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При расчете рассеивания мелкодисперсных частиц пыли, сажи, золь с большой скоростью оседания, когда параметр  $F \geq 2$ , как в случае "нагретых", так и в случае "холодных" выбросов, расстояние  $X_m$  вычисляется по формуле:

$$X_m = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (17)$$

где  $d$  вычисляется по формуле (9) в случае "нагретых" выбросов и по формуле (16) в случае "холодных" выбросов.

## Часть 2

I. Построение графика наиболее вероятного распределения концентрации вредного компонента в зависимости от расстояния до источника выброса.

Зная величины  $C_m$  и  $X_m$ , можно рассчитать приземную концентрацию вредных веществ -  $C_x$  в атмосферном воздухе по оси факела источника выбросов на различных расстояниях  $X$  от этого источника. Расчет справедлив как для "нагретых", так и для "холодных" выбросов.

Предварительно рассчитывают безразмерный коэффициент  $S$ , зависящий от отношения  $X/X_m$  и определяемый по формулам:

$$\text{а) если } X/X_m \leq 1, \text{ то } S = 3(X/X_m)^4 - 8(X/X_m)^3 + 6(X/X_m)^2, \quad (18)$$

$$\text{б) если } 1 < X/X_m \leq 8, \text{ то } S = \frac{1,13}{0,13(X/X_m)^2 + 1}, \quad (19)$$

$$\text{в) если } X/X_m > 8 \text{ и } F = 1, \text{ то}$$

$$S = \frac{1}{3,58 \cdot (X/X_m)^2 - 35,2(X/X_m) + 120}, \quad (20)$$

г) если  $X/X_m > 8$  и  $F \geq 2$ , то

$$S = \frac{1}{0,1(X/X_m)^2 + 2(X/X_m) - 17,8}. \quad (21)$$

Затем определяют  $C_x$  по формуле:

$$C_x = C_m \cdot S. \quad (22)$$

В задаче необходимо рассчитать  $S$  и  $C_x$  для следующих значений  $(X/X_m)$ : 0,2; 0,4; 0,8; 1; 1,6; 3,2; 6,4; 12,8.

Затем из соотношения  $X = (X/X_m) \cdot X_m$  определить расстояния  $X$ , соответствующие Вашему варианту, и построить график зависимости функции:

$$C_x = \Phi(X).$$

2. Определение предельно допустимого выброса (ПДВ) для данного предприятия по заданному в варианте вредному компоненту.

ПДВ определяется по формуле:

$$\text{ПДВ} = K_{\rho} (C - C_{\phi}), \quad \text{где } C_{\phi} = 0. \quad (23)$$

Максимальная концентрация вредного компонента в устье трубы

$$C_{m.t} = \frac{\text{ПДВ}}{V_{\Gamma}}. \quad (24)$$

В результате проведенных вычислений должны быть представлены следующие данные.

По первой части:

1. Коэффициент метеорологического разбавления -  $K_{\rho}$ .
2. Максимальная концентрация вредного вещества в приземном слое -  $C_m$ .
3. Расстояние, на котором наиболее вероятна концентрация  $C_m$ , -  $X_m$ .

По второй части:

4. Предельно допустимый выброс - ПДВ.
5. Максимальная концентрация в устье трубы -  $C_{m.t}$ .
6. График функции  $C_x = \Phi(X)$ .

Варианты к расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Таблица 2.1

Исходные данные	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
г	1	1,5	2	2,5	3	2,5	2	1,5	2	3
Тв, °С	20	22	24	18	20	22	20	22	24	20
Тг, °С	60	70	80	90	100	60	70	80	90	100
Vг, м³/с	10	15	20	25	30	35	30	25	40	50
Н, м	40	50	60	70	80	90	60	70	80	100
D, м	2	2,5	3	4	4,5	4	3	4	5	6

Таблица 2.2

Исходные данные	Предпоследняя цифра номера студенческого билета				
	1,5	2,6	3,7	4,8	0,9
Регион	Урал	Москва	Санкт-Петербург	Новосибирск	Дальний Восток
$\frac{A}{\gamma}$ , C <sup>23</sup> мг·град <sup>1/3</sup>	160	120	160	200	200
Компонент	фенол	Диоксид азота	Диоксид серы	Зола углей	Оксид углерода
Ст, мг/м³	0,45	5,5	10	20	150
С, мг/м³	0,003	0,04	0,05	0,03	3
F	1	1	1	1	1

- Номер варианта - NM, где N - предпоследняя цифра номера студенческого билета, M - последняя цифра номера студенческого билета.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные вещества, загрязняющие атмосферу.
2. Очистка выбросов в атмосферу от примесей.
3. Источники загрязнения и стратегия борьбы с загрязнениями.
4. Кислотные осадки.
5. Парниковый эффект.
6. Нарушение озонового слоя.

Литература: [1; 2; 3; 4].

Задача № 3

РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ (УФ-ДИАПАЗОН) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ОЗОнового СЛОЯ

Содержание озона в атмосфере - важный фактор в формировании интенсивности и спектрального распределения УФ - солнечной радиации в области В (280-320 нм). Даже относительно небольшое изменение концентрации озона в атмосфере ведет к значительным изменениям интенсивности жесткой составляющей УФ-радиации вблизи поверхности Земли. В настоящей задаче необходимо: а) установить зависимость уровня УФ-радиации от толщины озонового слоя; б) рассчитать допустимое время пребывания человека под воздействием солнечной радиации.

Энергетическая светимость Солнца в зависимости от длины волны испускаемого электромагнитного излучения близка к светимости абсолютно черного тела, нагретого до температуры 6000 К. Она описывается уравнением Планка:

$$r(\lambda, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot c^2 \cdot h}{\lambda^5} \left[ \exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1}$$

Для коротковолновой (ультрафиолетовой) ее части справедлива формула Вина:

$$r(\lambda, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot c^2 \cdot h}{\lambda^5} \exp\left[-\frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda \cdot T}\right],$$

где h - постоянная Планка,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с;  
 $\lambda$  - длина волны электромагнитного излучения, м;  
k - постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  
T - температура, по абсолютной шкале температур, К;  
c - скорость света,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с;  
 $\pi$  - 3,14...

Умножая  $r(\lambda, T)$  на площадь поверхности Солнца, получим полную спектральную светимость Солнца:

$$R(\lambda, T) = r(\lambda, T) 4 \pi \cdot R_c^2,$$

где  $R_c$  - радиус Солнца,  $R_c = 6,96 \cdot 10^8$  м.

Разделив  $R(\lambda, T)$  на площадь сферы с радиусом, равным расстоянию от Солнца до Земли ( $R_{0-3} = 150 \cdot 10^9$  м), получим  $Q(\lambda, T)$  спектральную плотность потока лучистой энергии Солнца в ультрафиолетовой области, достигающей верхних слоев атмосферы Земли:

$$Q(\lambda, T) = \frac{R(\lambda, T)}{4\pi R_{0-3}^2}$$

Таким образом,

$$Q(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \exp\left[-\frac{hc}{k\lambda T}\right] \cdot \frac{R_c^2}{R_{0-3}^2}, \quad \text{Вт/м}^3;$$

(при расчетах  $T = 6000$  К).

Излучение с длиной волны 280-320 нм (по медицинской терминологии - область В) - наиболее важное для изучения повреждающего действия солнечной радиации, полностью определяется содержанием озона в атмосфере Земли, без учета влияния молекулярного и аэрозольного рассеивания. С учетом же этих факторов солнечную радиацию на поверхности Земли (ультрафиолетовая область) будем определять из соотношения:

$$Y_\lambda = Q(\lambda) \cdot \exp(-\alpha_\lambda \cdot \mu \cdot \chi - \beta \cdot m - \sigma \cdot z), \quad \text{Вт/м}^3,$$

где  $\alpha_\lambda$  - коэффициент поглощения озона, 1/см;  
 $\beta$  - коэффициент молекулярного рассеивания;  
 $\sigma$  - коэффициент аэрозольного рассеивания;  
 $\chi$  - толщина озонового слоя, см.

Следует заметить, что  $\mu$ ,  $m$ ,  $z$  - коэффициенты, зависящие от угла между нормалью к поверхности Земли и направлением распространения ультрафиолетового излучения, при  $\gamma < 65^\circ$ ,  $\mu \approx m \approx z \approx \sec \gamma$ .

Чтобы определить эффективную энергетическую освещенность, создаваемую широкополосным источником излучения, по сравнению с действием источника излучения с длиной волны 270 нм, обладающим максимальной эффективностью, воспользуемся формулой:

$$Y_{\text{эфф}} = \sum (Y_{\lambda_i} \cdot S_{\lambda_i} \cdot \Delta\lambda), \quad \text{Вт/м}^2,$$

где:  $Y_{\text{эфф}}$  - спектральная плотность потока энергии УФ - радиации (УФР) (для каждой длины волны);  $S_{\lambda_i}$  - относительная спектральная эффективность излучения, безразмерная величина (табл. 3.1);  $\Delta\lambda$  - интервал длин волн,  $\Delta\lambda = 10^{-8}$  м.

Допустимое время облучения УФИ можно определить, разделив 30 Дж/м<sup>2</sup> (предельно допустимая энергетическая доза облучения УФИ для  $\lambda = 270$  нм) на эффективную энергетическую освещенность:

$$t_{\text{доп}} = \frac{30}{Y_{\text{эфф}}}, \text{ с.}$$

Исходные данные для решения задачи представлены в таблице (таблицу заполнить!)

Таблица 3.1

	$\lambda$ , нм	$Q(\lambda)$	$\alpha$ , 1/см	$\mu = m = z = \sec$	$\chi$ , см	$\beta$	$\sigma$	$\Delta\lambda$ , м	$S_{\lambda_i}$	$Y_{\lambda_i}$ , Вт/м <sup>3</sup>	Уэфф, Вт/м <sup>2</sup>	$t_{\text{доп}}$ , с
1	280		87,5			1,6		$10^{-8}$	0,88			
	290		28,8			1,3			0,64			
	300		7,7			1,2			0,30			
	310		2,8			1			0,015			
	320		0,8			0,9			0,03			
2	280		87,5			1,6		$10^{-8}$	0,88			
	290		28,8			1,3			0,64			
	300		7,6			1,2			0,30			
	310		2,8			1			0,015			
	320		0,8			0,9			0,003			

Таблица 3.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\chi$ , см	0, 0,25	0, 0,3	0, 0,35	0, 0,4	0, 0,4	0, 0,3	0, 0,35	0, 0,3	0, 0,25	0, 0,3
$\gamma$ , град	15	25	35	45	15	25	35	45	25	30
$\sigma$	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3

По результатам расчета сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково биологическое воздействие УФ радиации на человека?
2. Какова роль озонового слоя атмосферы в защите от УФР?
3. Пороговые дозы облучения УФИ?
4. Источники разрушения озонового слоя?
5. Какие факторы влияют на плотность потока солнечной УФ радиации на уровне Земли?

Литература: [1; 5; 6].

#### Задача № 4

#### РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ



Аппаратный зал телеграфа расположен на третьем этаже узла связи. На противоположной стороне улицы на расстоянии  $L$  находится здание, с высотой карниза  $H$  над уровнем подоконника зала. Длина аппаратного зала –  $A$ , ширина –  $B$ , высота –  $h$ . По исходным данным, представленным в соответствующих вариантах, необходимо определить:

1. Площадь световых проемов в производственном помещении для обеспечения нормируемой освещенности (площадь остекления).
2. Число окон.
3. Размещение окон с целью обеспечения равномерности естественного освещения с учетом межоконного расстояния.

Сделать выводы по результатам расчетов.

1. Расчет необходимой площади окон для создания нормируемой естественной освещенности в зале, определяемой по формуле:

$$S_0 = \frac{S_{\text{п}} \cdot I_{\text{мин}} \cdot \eta_0 \cdot \kappa}{100 \cdot r_0 \cdot r_1},$$

где  $S_{\text{п}}$  – площадь пола в производственном помещении,  $\text{м}^2$ ;

$I_{\text{мин}}$  – минимальный (нормированный) коэффициент естественной освещенности, определяется из таблицы 4.1;

$\eta_0$  – коэффициент световой характеристики окна, находится из таблицы 4.2. Но для этого прежде необходимо определить:

а) параметр окна –  $h_1$ , м:

$$h_1 = h_0 + h' - h_{\text{раб}}.$$

Под параметром окна  $h_1$  следует понимать возвышение верхнего края окна над горизонтальной рабочей поверхностью (рис. 4.1);

$h_0$  – высота окна, м;  $h'$  – расстояние от пола до подоконника, м;  $h_{\text{раб}}$  – высота рабочей поверхности над уровнем пола, м;

б) отношение длины помещения  $A$ , м, к ширине  $B$ , м:  $A/B$ ;

в) отношение ширины помещения  $B$ , м, к параметру окна  $h_1$ , м:  $B/h_1$ .

По полученным значениям (а, б, в) находим значение  $\eta_0$  по таблице 4.2;

$\kappa$  – коэффициент, учитывающий затемнение окна противостоящим зданием, определяется из табл. 4.3, по предварительно найденному отношению – расстоянию между противостоящими зданиями  $L$ , м, к высоте карниза противостоящего здания над уровнем подоконника рассматриваемого окна  $H$ , м:  $L/H$ ;

$r_0$  – коэффициент светопропускания в помещении категории Б, табл. 4.5\*

$r_1$  – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при боковом естественном освещении, определяется из таблиц 4.4, 4.6.

\* Для определения  $r_0$  положение остекления – вертикальное, при стальных створчатых переплетах. Освещение естественное, боковое, одностороннее.

При этом величина  $r_1$  зависит от средневзвешенного коэффициента отражения света от ограждающих поверхностей помещения  $\rho_{\text{ср}}$ :

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{п}} S_{\text{п}} + \rho_{\text{ст}} S_{\text{ст}} + \rho_{\text{пт}} S_{\text{пт}}}{S_{\text{п}} + S_{\text{пт}} + S_{\text{ст}}},$$

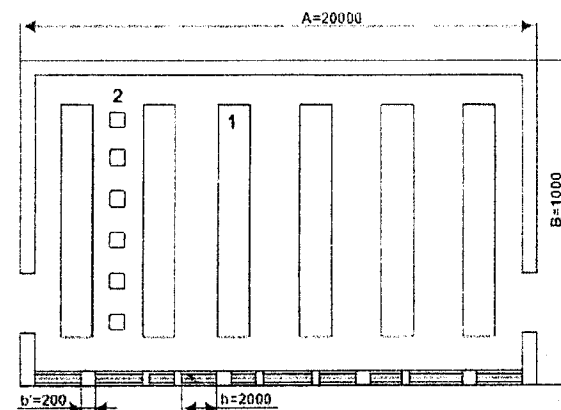
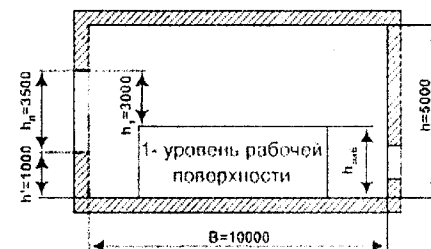


Рис. 4.1. Эскиз разреза и плана аппаратного зала телеграфа со схемой размещения окон и оборудования:

1 – столы с телеграфными аппаратами; 2 – стулья

где  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{ст}}$ ,  $\rho_{\text{пт}}$  – коэффициенты отражения от пола, стен, потолка;

$S_{\text{п}}$ ,  $S_{\text{ст}}$ ,  $S_{\text{пт}}$  – площади пола, стен, потолка, соответственно, таблица 4.7.

$$S_{\text{ст}} = (A + B) 2 h.$$

2. Зная площадь одного окна  $S = h_0 \times b_0$ , находим количество окон, необходимое для соблюдения естественной освещенности в производственном помещении:

$$n = S_0 / S,$$

где  $b_0$  – ширина окна, м.

3. В боковой стене по длине помещения размещаем  $n$  окон с межконным промежутком  $b'$ :

$$b' = \frac{A - nb_0}{n + 1}.$$

Таблица 4.1

Нормирование значения КЕО в помещениях производственных зданий, расположенных севернее  $45^\circ$  и южнее  $60^\circ$  северной широты

Разряды работ	Характер работ, выполняемых в помещении		Нормы КЕО, %	
	Виды работ по степени точности	Размеры объекта различения, мм	При верхнем и комбинированном освещении $I_{cp}$	При боковом освещении $I_{min}$
1	Наивысшей	0,15 и менее	10	3,5
2	Очень высокой	0,15 - 0,3	7	2,5
3	Высокой	0,3 - 0,5	5	2
4	Средней	0,5 - 1	4	1,5
5	Малой	1 - 5	3	1
6	Грубой	Более 5	2	0,5

Таблица 4.2

Значение световой характеристики окна -  $\eta_0$

Отношение длины помещения А к его ширине В (рис. 4.1)	Значение световой характеристики при отношении ширины помещения В к возвышению верхнего края окна над горизонтальной рабочей поверхностью $h_1$ (рис. 4.1)							
	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
4 и более	---	---	7	9,5	12	15	17	20
3	9,5	8,5	9,5	11,5	16	19	23	26
2	11,5	10	11	13	18	22	26	30
1,5	13	11,5	12,5	15	20	25	30	35
1	16	15	17	19	25	35	42	45
0,5	---	---	22	27	42	---	---	---

Таблица 4.3

Значения коэффициента  $k$ , учитывающего затенение окна противостоящими зданиями

L / H	0,5	1	1,5	2	3 и более
Коэффициент	1,7	1,4	1,2	1,1	1

*Примечание.* L – расстояние между рассматриваемыми и противостоящими зданиями; H – высота расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна.

Таблица 4.4

Значения коэффициента  $g_2$ , учитывающего отраженный свет при верхнем освещении и боковом

Количество окон в помещении	Средневзвешенный коэффициент отражения стен, потолка и пола помещения $\rho_{cp}$	Значение коэффициента $g_2$ при отношении высоты помещения $h$ к его ширине $L_0$ (В)			
		0,16	0,36	0,66	1,0
1	0,5	1,5	1,6	1,7	1,9
	0,4	1,4	1,5	1,6	1,7
	0,3	1,2	1,3	1,4	1,5
2	0,5	1,4	1,5	1,6	1,7
	0,4	1,3	1,4	1,5	1,6
	0,3	1,2	1,3	1,4	1,5
3 и более	0,5	1,3	1,3	1,3	1,3
	0,4	1,2	1,2	1,2	1,2
	0,3	1,1	1,1	1,1	1,1

Таблица 4.5

Значения общего коэффициента светопропускания -  $\tau_0$

Характеристика помещения	Виды помещения	Положение остекления	Значение коэффициента - $\tau_0$						При стекло-железобетонном заполнении
			При деревянных и железобетонных переплетах			При стальных переплетах			
			одинарных	двойных	сдвоенных	одинарных	двойных	сдвоенных	
Группа Б. (Помещения с незначительными выделениями пыли, копоти)	Цеха холодного проката, инструментальные цеха, машинные залы ГТС, аппаратные залы	Вертикальное	0.5	0.35	0.4	0.6	0.4	0.4	0.35
		Наклонное	0.4	0.25	0.3	0.5	0.3	0.4	0.25

Таблица 4.6

Значения коэффициента  $\tau_1$  - учитывающего отраженный свет при одном боковом освещении

Средневзвешенный коэффициент отражения стен, потолка, пола помещения - $\rho_{ср}$	Значение коэффициента - $\tau_1$	
	При одностороннем освещении	При двустороннем освещении
0.5	4	2.2
0.4	3	1.7
0.3	2	1.2

Таблица 4.7

Коэффициенты отражения различных поверхностей

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения $\rho$ , %
Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незащищенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, деревянные стены с окнами, стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолок в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный кирпич неоштукатуренный, стены с темными обоями	10
Стены и потолок покрашены в светлые тона (светло-желтый, светло-зеленый, голубой и пр.)	50
Стены и потолок покрашены в полутемные тона (серый, красный, зеленый)	30
Стены и потолок покрашены в темные тона (коричневый, черный)	10

Таблица 4.8

Варианты к расчету естественной освещенности в производственном помещении

Параметры	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Разряд работы	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
A, м	15	20	18	12	15	20	12	12	18	18
B, м	9	10	10	8	10	10	8	8	10	9
h, м	5,5	6,0	5,5	5,5	5,0	5,0	5,5	5,5	5,0	5,5
h <sub>0</sub> , м	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
h', м	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2	1,2	1,5	0,8	1,0	1,2
h <sub>раб</sub> , м	1,5	1,0	1,2	1,6	1,0	1,2	1,0	0,8	0,8	1,2
L, м	10	20	30	30	45	30	20	30	40	15
H, м	20	20	15	10	30	30	40	20	20	10
b <sub>0</sub> , м	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	1,9	2,0

Таблица 4.9

Значение коэффициента отражения от потолка, стен и пола

Параметры	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\rho_{\text{пт}}, \%$	70	50	70	70	70	50	70	70	70	50
$\rho_{\text{ст}}, \%$	50	50	50	50	30	50	50	50	30	50
$\rho_{\text{п}}, \%$	30	10	10	30	30	10	30	10	30	30

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как нормируется естественная освещенность?
2. Какие виды естественного освещения вы знаете?
3. Какие требования предъявляются к системам производственного освещения?
4. По каким параметрам определяется разряд работы?
5. Что характеризует «спектральная видимость», в чем заключается ее особенность? Энергетические и фотометрические величины.

Литература: [1; 2; 7; 10].

## Задача № 5

## РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

В производственном помещении длиной  $A$ , шириной  $B$ , высотой  $h$  необходимо установить искусственное освещение, соответствующее определенному разряду зрительных работ ( $E_{\text{min}}$ ) в данном помещении. В соответствии с исходными данными (по варианту) в задаче требуется определить:

1. Необходимое количество осветительных приборов для создания нормируемой освещенности в производственном помещении.
2. Мощность осветительной установки.
3. Представить схему размещения осветительных приборов для создания равномерного освещения в производственном помещении.

После произведенных расчетов сделать выводы.

1. Необходимое количество осветительных приборов для создания системы общего освещения определяются по формуле:

$$N = \frac{E_{\text{min}} \cdot S \cdot k}{F_{\Lambda} \cdot z \cdot n \cdot \eta},$$

где  $E_{\text{min}}$  – минимальная нормируемая освещенность при общей системе освещения для выбранного помещения, лк, определяется из таблицы 5.1;

$S$  – площадь пола в производственном помещении,  $\text{м}^2$ ;  
 $k$  – коэффициент запаса;  
 $F_{\Lambda}$  – световой поток, создаваемый одной лампой, лм, определяется из таблицы 5.2 и 5.3;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения при общей системе освещения;

$n$  – количество ламп в светильнике (для ламп накаливания  $n = 1$ );

$\eta$  – коэффициент использования светового потока, зависит от показателя помещения  $\varphi$ , коэффициентов отражения от стен  $\rho_{\text{ст}}$  и потолка  $\rho_{\text{пт}}$ , находим из таблицы 5.4.

При этом показатель помещения  $\varphi$  определяется из формулы:

$$\varphi = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)},$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина пола производственного помещения, м;

$H_p$  – высота подвеса светильника, определяется как расстояние между уровнем рабочей горизонтальной поверхности и светильником.

2. Мощность осветительной установки для создания нормированной общей системы освещения определяется по формуле:

$$W = W_{\Lambda} \cdot m,$$

где  $W_{\Lambda}$  – мощность одной лампы в системе общего освещения, Вт;

$m$  – количество ламп, используемых для общего освещения.

Мощность осветительной установки можно также определить по методу Ватт (для ламп накаливания):

$$W = \frac{E_{\text{min}} \cdot S \cdot k}{E_{\text{ср}}},$$

где  $E_{\text{min}}$  – нормируемая минимальная освещенность в системе общего освещения, лк, определяется из таблицы 5.1;

$S$  – площадь пола,  $\text{м}^2$ ;

$k$  – коэффициент запаса;

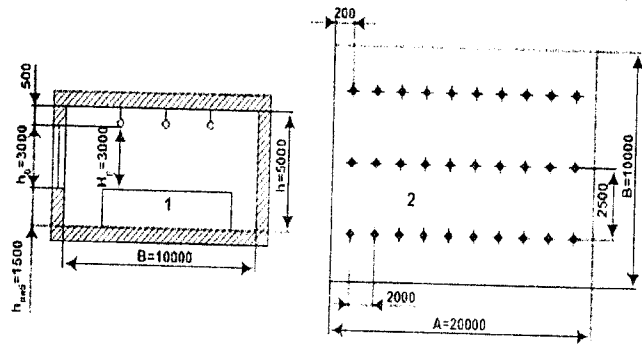
$E_{\text{ср}}$  – средняя горизонтальная освещенность при равномерном размещении приборов и расходе  $1 \text{ Вт} / \text{м}^2$ , лк, определяется из таблицы 5.5.

3. Для создания равномерной освещенности необходимо, чтобы отношение расстояния между осветительными приборами  $L$  к высоте их подвеса  $H_p$  было одинаковым: (носит рекомендательный характер)

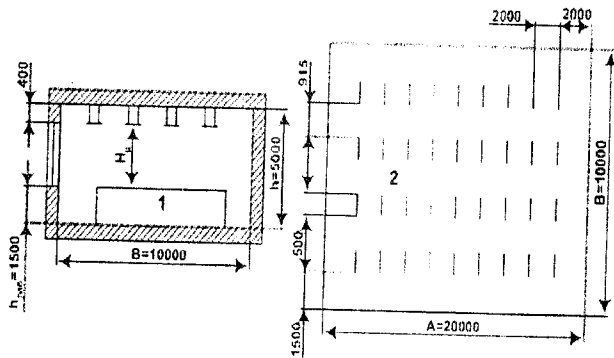
- а) при размещении осветительных приборов параллельными рядами:
 
$$L/H_p = 1,4 - 1,8;$$
- б) при размещении осветительных приборов в шахматном порядке:

$$L / H_p = 1,8 - 2,5$$

При размещении осветительных приборов на схеме необходимо пользоваться таблицами 5.6, 5.7 и рис. 5.1



а)



б)

Рис. 5.1 Эскиз разреза и плана аппаратного зала телеграфа со схемой размещения:

а) светильников типа Люцетта: 1- столы, стулья; 2- светильники;

б) светильники типа АОД: 1- столы, стулья; 2- светильники.

Таблица 5.1

Нормы на освещенность различных помещений  $E_{min}$ , лк

Наименование производственных помещений	Газоразрядные лампы	Лампы накаливания
<b>Почтовые предприятия</b>		
Зал операционный	200	150
Помещения для обработки газетной и письменной корреспонденции	300	200
<b>Телеграфные предприятия</b>		
Аппаратный цех оконечной аппаратуры	300	200
Цех факсимильной связи	300	200
Цех телеграфных каналов	200	150
Кросс	300	200
Пункты приема газет по каналам связи	300	200
<b>Городские и сельские телефонные станции</b>		
Зал коммутаторный РТС	200	150
Автоматный зал АТС, МТС	200	150
Бюро справок	300	150
Бюро ремонта	200	150
Перфораторная	150	100
Коммутаторный цех	300	200
Зал стативов	200	150
Пункт переговорный	200	150
Линейно-аппаратный цех, аппаратная	200	150
<b>Аппаратные станции проводного вещания</b>		
ЦСУ, ОУС и усилительные подстанции	200	150
Станции радиоузлов	150	100
<b>Передающие и приемные радиостанции</b>		
Зал передатчиков	200	150
Аппаратные, ЛАЦ, УАТС	200	250
Аппаратная автоматизированная не обслуживаемая	150	100
<b>Производственные помещения, общие для всех предприятий связи</b>		
Генераторные (выпрямительные) автомат. ЭПУ	150	100
Генераторные (выпрямительные) неавтомат. ЭПУ	200	150
Аккумуляторные, дизельные	100	75
Лаборатория производственная	300	200

Таблица 5.2

Значение светового потока ламп накаливания ГЛ

Мощность лампы, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм	Напряжение сети, В	Световой поток, лм
40	127	225	220	336
60	127	380	220	540
100	127	1275	220	1000
150	127	2175	220	1710
200	127	3050	220	2610
300	127	4875	220	4100
500	127	8725	220	7560
750	127	13690	220	12230
1000	127	19000	220	17200

Таблица 5.3

Значение светового потока люминесцентных ламп ГЛ

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Световой поток, лм
ЛДЦ-20	20	60	620
ЛД-20			760
ЛХБ-20			900
ЛБ-20			980
ЛТБ-20			900
ЛДЦ-30	30	108	1100
ЛД-30			1380
ЛХБ-30			1500
ЛБ-30			1740
ЛТБ-30			1500
ЛДЦ-40	40	108	1520
ЛД-40			1960
ЛХБ-40			2200
ЛБ-40			2480
ЛТБ-40			2700
ЛДЦ-80	80	108	2720
ЛД-80			3440
ЛХБ-80			3840
ЛБ-80			4320
ЛТБ-80			3840

Таблица 5.4

Коэффициенты использования светового потока различных ламп - η

Тип светильника	Коэффициенты отражения		Коэффициенты использования, %, при индексе помещения φ							
	Потолок ρ <sub>пл</sub> , %	Стен ρ <sub>ст</sub> , %	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
1. Универсаль без затенителя УиУПМ	70	50	22	39	49	55	60	66	70	73
	50	30	20	34	43	50	55	62	66	69
	30	10	27	30	39	46	51	58	62	64
2. Универсаль с затенителем	70	50	19	32	39	44	48	53	56	57
	50	30	15	28	35	40	44	49	52	53
	30	10	12	25	31	36	40	46	48	57
3. Глубокозлучатель эмалированный	70	50	28	36	45	54	59	64	67	69
	50	30	22	31	40	49	59	61	64	66
	30	10	19	28	37	46	52	58	61	63
Люцетта	70	50	22	34	44	52	56	62	66	68
	50	30	21	31	40	47	52	57	60	62
	30	10	18	27	36	43	48	53	56	58
ОД, АОД	70	50	30	38	47	57	62	67	70	72
	50	30	25	33	42	52	57	63	66	69
	30	10	20	29	38	47	54	60	64	66
ОДР и ПВД-6	70	50	28	35	44	52	56	62	64	65
	50	30	24	30	38	47	52	58	61	62
	30	10	21	27	34	43	49	55	58	60
ОДО	70	50	30	36	47	59	67	75	79	82
	50	30	21	29	38	47	53	59	62	65
	30	10	19	25	33	42	47	53	56	58
ПЛ-1	70	50	20	27	35	43	48	54	58	60
	50	30	18	25	32	38	43	47	50	51
	30	10	15	21	28	35	40	44	47	49

Таблица 5.5  
Освещенность  $E_{cp}$  при равномерном размещении приборов  
общего освещения

Мощность ламп, Вт	Освещенность $E_{cp}$ , лк, при напряжениях сети, В	
	127	220
40	5,5	4,9
60	6,0	5,5
100	6,5	6,0
150	7,4	6,8
200	7,7	7,2
300	8,1	7,6
500	8,9	8,2
750	9,2	8,7
1000	9,8	9,1

Примечание. Для осветительных приборов рассеянного света значения освещенности нужно умножить на коэффициент 0,87.

Таблица 5.6

Размеры люминесцентных ламп

Параметры	Мощность лампы, Вт				
	15	30	40	80	125
Диаметр, мм	25	25	38	38	38
Длина, мм	437,4	894,4	1199,4	1481	1481

Таблица 5.7

Рекомендуемые отношения  $L / H_p$  расстояний  $L$  между светильниками и высотой подвеса  $H_p$  их над рабочей поверхностью

Тип светильника	Оптимальное	Допустимое
Универсаль с затенением и без затенения (УМП)	1,5	1,9
Глубокоизлучатель эмалированный (ГПИМ)	1,4	1,7
Люцетта цельного стекла	1,4	1,6
Светильники СХ, ВЗ-1 без отражателя	2,0	2,5
Кольцевые светильники	1,5	1,7
Светильники СХ, ВЗ-1 с отражателем	1,5	2,0
Светильники для ламп ДРЛ, ГСР и ГСР	0,9	1,0
Светильники взрывозащитные	1,4	1,8
Светильники с люминесцентными лампами типа ОД, ОДР, ОДОР, ПВЛ-1	От 1,3 до 1,5	

Таблица 5.8

Варианты расчета искусственной освещенности в производственном помещении

Параметры	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
A, м	20	18	18	12	14	16	20	12	15	18
B, м	10	12	14	8	9	9	14	8	8	12
H <sub>p</sub> , м	3,5	2,7	3,5	3,0	2,8	3,5	3,0	2,7	3,5	3,0
k	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Лампы	ЛБ-40	ЛД-40	ЛД-80	ЛДЦ-80	ЛД-40	ЛБ-40	ЛД-80	ЛДЦ-80	ЛД-40	ЛБ-40
z	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$\rho_{пл}$ , %	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70
$\rho_{ст}$ , %	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50

Для всех вариантов светильников – АОД;  $n = 2$ .

Производственные помещения  
(вариант – предпоследняя цифра номера студенческого билета)

Вариант	Наименование производственного помещения
1	Аппаратный цех оконечной аппаратуры
2	Цех факсимильной связи
3	Цех телеграфных каналов
4	Зал коммутаторной РТС
5	Бюро ремонта
6	Перфораторная
7	Зал стативов
8	Переговорный пункт
9	ЛАЦ
0	Станция радиоузлов

Таблица 5.9

Варианты к расчету искусственной освещенности в производственном помещении (для ламп накаливания)

Параметры	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
A, м	20	18	20	19	15	12	14	15	16	20
B, м	11	12	10	12	9	8	10	10	12	12
H <sub>p</sub> , м	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	4,0	3,0
k	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Мощность ламп, Вт	100	150	200	300	100	150	200	300	100	150
z	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ρ <sub>пт</sub> , %	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70
ρ <sub>ст</sub> , %	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50

Тип светильника – Люцетта; n = 1; напряжение питания ламп – 220 В. Лампы накаливания чаще применяются в помещениях, где выполняются работы малой точности.

Производственные помещения  
(вариант – предпоследняя цифра номера студенческого билета)

Вариант	Наименование производственного помещения
1	Аккумуляторные, дизельные
2	Генераторные (выпрямительные) автомат.
3	Аппаратная автоматизированная
4	Станция радиоузлов
5	Перфораторная
6	Пункт переговорный
7	Зал переводчиков
8	Аппаратные, ЛАЦ, УАТС
9	Зал стативов
0	Автоматный зал АТС, МТ

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные светотехнические величины и единицы их измерения.
2. Как по функциональному назначению классифицируется искусственное освещение?
3. Какие виды и системы искусственного освещения Вам известны?
4. По каким параметрам выбирается минимальная освещенность?
5. Что характеризует “спектральная видность”?

6. Что характеризует коэффициент запаса?
7. Какие источники света Вы знаете?
8. Охарактеризуйте достоинства и недостатки: а) ламп накаливания; б) газоразрядных ламп.
9. По каким параметрам нормируется искусственное освещение?

Литература: [1; 2; 7; 10; 12].

#### Задача № 6

#### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ ИЗБЫТКАХ ТЕПЛА

В производственных помещениях связи могут иметь место значительные теплоизбытки, удаление которых должна обеспечить система вентиляции. Для ее выбора необходимо провести предварительные расчеты по известным параметрам: линейные размеры помещения, мощность используемого оборудования, количество людей в помещении и т.д. (исходные данные представлены в вариантах работ). По известным параметрам в задаче требуется определить:

1. Количество избыточного тепла, выделяемого в объем производственного помещения.
2. Часовое количество воздуха, необходимого для удаления избыточного тепла.
3. Кратность воздухообмена в производственном помещении.

По результатам расчетов сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

Общее количество избыточного тепла, выделяемого в объем производственного помещения, определяется из соотношения:

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_{л} + Q_{р} - Q_{отд},$$

здесь  $Q_{об}$  – тепло, выделяемое производственным оборудованием; определяется из формулы:

$$Q_{об} = 860 P_{об} \cdot \eta, \text{ ккал /ч,}$$

где 860 – тепловой эквивалент 1 кВт•ч;  $P_{об}$  – мощность оборудования, кВт•ч;  $\eta$  – коэффициент перехода тепла от работающего оборудования в объем помещения, определяется из таблицы 6.1.

$Q_{осв}$  – тепло, выделяемое осветительной установкой; определяется из формулы:



$$Q_{\text{осв}} = 860 \cdot P_{\text{осв}} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos \varphi, \text{ ккал/ч.}$$

где 860 – тепловой эквивалент 1 кВт·ч;

$P_{\text{осв}}$  – мощность осветительной системы, кВт·ч;

$\alpha$  – КПД перевода электрической энергии в тепловую (для ламп накаливания – 0,92, для люминесцентных ламп – 0,1 – 0,2, для вентиляторов – 0,4);

$\beta$  – КПД одновременности работы осветительной системы;  $\cos \varphi = 0,7-0,08$ ;

$Q_{\Lambda}$  – тепло, выделяемое работающим персоналом; определяется из формулы:

$$Q_{\Lambda} = K_{\Lambda} (q - q_{\text{исп}}), \text{ ккал/ч,}$$

где  $K_{\Lambda}$  – количество работающих;  $(q - q_{\text{исп}})$  – тепло, выделяемое людьми в рабочее помещение (определяется из рис. 6.1). Здесь  $q$  – тепловыделение одного человека, ккал/ч;  $q_{\text{исп}}$  – тепло, затраченное на испарение, ккал/ч;

$Q_{\text{р}}$  – тепло, вносимое в помещение солнечной радиацией; определяется из формулы:

$$Q_{\text{р}} = m \cdot F \cdot q_0, \text{ ккал/ч,}$$

где  $m$  – количество окон в помещении;  $F$  – площадь одного окна,  $\text{м}^2$ ,  $q_0$  – количество тепла, вносимого за час через остекленную поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ , определяется из таблицы 6.2 в соответствии со стороной света и широтой.

Если нет дополнительных условий, то в помещениях с большим количеством теплоизбытков можно считать, что теплоотдача естественным путем приблизительно равна количеству тепла, вносимого в помещение солнечной радиацией, т.е.  $Q_{\text{р}} = Q_{\text{отд}}$ . Для теплого периода года принять  $Q_{\text{отд}} = 0$ .

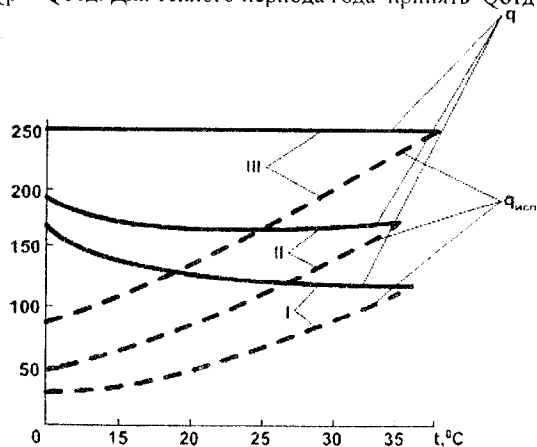


Рис. 6.1. Зависимость выделяемого человеком тепла от категории выполняемых работ и температуры

1. При наличии избытков тепла часовое количество воздуха, необходимое

для их удаления, определяется из соотношения:

$$L = Q_{\text{изб}} / (c \cdot \gamma \cdot \Delta T), \text{ м}^3/\text{ч,}$$

здесь  $Q_{\text{изб}}$  – избыточное тепло, ккал/ч;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха,  $c = 0,24 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$\Delta T = T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}$ ;  $T_{\text{вых}}$  – температура воздуха, выходящего из помещения;

$T_{\text{вх}}$  – температура воздуха, поступающего в помещение;

$\gamma$  – плотность воздуха,  $\gamma = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$ .

Величина  $\Delta T$  при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха –  $Q_{\text{н}} = Q_{\text{изб}} / V$ ,  $V$  – объем помещения.

Если теплонапряженность воздуха  $Q_{\text{н}} \leq 20 \text{ ккал} / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ , принимают  $\Delta T = 6 \text{ К}$ ; при  $Q_{\text{н}} > 20 \text{ ккал} / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$  –  $\Delta T = 8 \text{ К}$ .

2. При теплоизбытках система вентиляции должна обеспечить необходимую кратность воздухообмена:

$$n = L / V, \text{ 1/ч,}$$

здесь  $L$  – часовое количество воздуха, необходимое для удаления избыточного тепла –  $Q_{\text{изб}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $V$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ .

Таблица 6.1

Нормы потерь потребляемой мощности на тепловыделения оборудования телефонных станций ( $\eta$ )

Наименование оборудования	Коэффициент перехода тепла в помещение
Коммутационного автоматного зала	0,95
Стативного зала	0,90
УВСМ	0,95
Линейно-аппаратного цеха	0,95
Контрольно-измерительной аппаратуры	0,95

Нормы потерь потребляемой мощности на тепловыделения по цехам телеграфной станции

Цех (участок)	Коэффициент перехода тепла в помещение
Коммутации каналов	0,75
Телеграфных каналов	0,95
Факсимильной связи	0,95
Аппаратной	0,75
Регулировочные, ремонтные участки	0,75

Таблица 6.2

Солнечная радиация через остекленную поверхность  $q_0$ , ккал / (ч · м<sup>2</sup>)

Характеристика остекленной поверхности	Сторона света и широта, град															
	Юг				Юго-восток и юго-запад				Восток и запад				Север, северо-восток, северо-запад			
	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением с деревянными переплетами	110	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением с металлическими переплетами	140	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фонарь с двойным вертикальным остеклением и металлическими переплетами	130	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

Таблица 6.3

Варианты к расчету параметров воздушной среды производственного помещения при избытках тепла

Номер варианта	Роб, кВт	$\eta$	Рос в, кВт	$\alpha$	$\beta$	Кл	Категория работ	$F_2$ , м <sup>2</sup>	m	Сторона света и широта	V, м <sup>3</sup>
1	5	0,7	2	0,9	0,7	8	3	4	5	Юг, 55	280
2	3	0,8	1	0,1	1	7	2	3,5	4	Север, 65	340
3	5	0,9	3	0,9	1	10	3	5	4	Северо-восток, 65	360
4	8	0,9	3	0,1	1	12	3	6	4	Юг, 65	440
5	2	0,9	1	0,2	0,5	3	1	4	3	Восток, 65	180
6	4	0,9	2,8	0,1	0,6	5	2	4	3	Запад, 65	250
7	9	0,8	2,4	0,2	0,8	4	2	5	4	Север, 55	300
8	6	0,9	3	0,2	0,5	10	1	4	4	Юг, 55	320
9	8	0,9	2	0,2	0,6	7	2	5	4	Юг, 35	340
0	7	0,9	1	0,2	0,8	6	2	4	4	Запад, 55	400

$Q_{отд} = 0$   $t = 25^\circ\text{C}$  (рис. 6.1). Солнечная радиация через стеклянную поверхность окна с двойным остеклением и деревянными переплетами.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Влияние микроклиматических условий на организм человека.
2. Нормирование параметров микроклиматических условий.
3. Какие факторы производственной среды Вам известны?  
Охарактеризуйте их.
4. Какие системы производственной вентиляции Вам известны?
5. Что означает кратность воздухообмена и как она определяется?

Литература: [1; 2; 6; 7; 12].

### Задача № 7

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В производственной лаборатории проводятся технические операции, связанные с пайкой. Для улавливания и удаления вредных примесей (свинец, олово и др.) непосредственно с мест их образования должна быть установлена местная вытяжная вентиляция. Удаление загрязненного воздуха с ее помощью осуществляется специальными устройствами - зонтами, установленными над поверхностью рабочего стола. По известным характеристикам припоя, количеству паек в час, скорости всасывания воздуха с вредными веществами, в задаче необходимо определить:

1. Количество выделяющегося при пайке свинца.
2. Часовое количество воздуха, необходимого для удаления паров свинца.
3. Размеры зонта (площадь) для оптимальной работы местной вентиляции.

По результатам расчетов сделать выводы.

1. Количество воздуха, удаляемого в течение часа через зонт, определяется:

$$L = 3600 \cdot V \cdot F, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где:  $V$  - средняя скорость всасывания воздуха через зонт, м/с;

$F$  - площадь открытого проема, м<sup>2</sup>.

Рекомендуемые скорости всасывания в зонт для некоторых производственных операций приведены в табл. 7.1. Скорость всасывания должна обеспечить присутствие вредных примесей, не превышающих предельно допустимую концентрацию (ПДК). В мастерских и помещениях, где производится настройка и ремонт аппаратуры связи, скорость всасывания должна быть не менее 0,6 м/с.

При проектировании местной вентиляции следует иметь в виду, что скорость движения воздуха через вытяжной зонт зависит от конструкции и размеров приемного отверстия зонта.

При расчетах следует учитывать, что средняя скорость всасывания может достигать 1,05-1,25 м/с, если зонт открыт с четырех сторон; 0,75- 0,9 м/с - с двух сторон; 0,5- 0,7 м/с - с одной стороны.

При монтаже, ремонте и настройке аппаратуры связи широко используются электромонтажные паячные операции, когда в качестве припоя используются легкоплавкие материалы, содержащие свинец. В этих случаях каждое рабочее место должно быть оборудовано системой местной вентиляции, конструкция и параметры которой зависят от количества выделяющихся при пайке паров свинца:

$$K_c = p \cdot r \cdot R \cdot N,$$

где:  $p$  - относительное количество свинца в припое;

$r$  - относительное количество свинца, испаряющегося в воздух рабочей зоны при одной пайке;

$R$  - расход припоя на одну пайку, г;

$N$  - количество паек в час, 1/ч.

Наиболее распространенными являются свинцово-оловянные припои. Количество припоя на одну пайку и количество паек в час задаются в технологических картах, разработанных для того или иного вида монтируемой аппаратуры.

В первом приближении можно считать, что при электромонтаже объемных элементов на одну пайку расходуется в среднем 0,1г припоя, а при монтаже микросхем - 0,05г припоя. Число паек в час обычно составляет 40 - 60 с учетом времени на отбор и установку необходимого элемента.

2. Объем воздуха, который необходимо удалить из рабочей зоны за единицу времени, определяется по формуле:

$$L = \frac{K_c}{K_{\text{ПДК}} - K_{\text{П}}},$$

где:

$K_c$  - количество паров свинца, выделяющихся в единицу времени при пайке, г/час;

$K_{\text{ПДК}}$  - предельно допустимая концентрация паров свинца (0,01 мг/м<sup>3</sup>);

$K_{\text{П}}$  - концентрация вредных примесей в воздухе, поступающем в производственное помещение (в данной задаче считается, что  $K_{\text{П}} = 0$ ).

Рекомендуемые скорости всасывания воздуха в открытых проемах

Вид производственной операции	Возможные вредные выделения	Средняя скорость, м/с
Пайка припоями, содержащими свинец	Аэрозоли свинца	0,7- 1,6
Пайка при отсутствии свинцовых компонентов	Аэрозоли металлов	0,4 - 0,5
Промывание в бензине	Пары бензина	0,5-0,6
Окраска (кисть, валиком и т.д.)	Аэрозоли, без ароматических углеводородов в лакокрасочном покрытии	0,5
	Аэрозоли без бензола, с ароматическими углеводородами	1,2
Пульверизатором	Аэрозоли без ароматических углеводородов и свинцовых соединений в лакокрасочном покрытии	1,0
	Со свинцовыми соединениями или ароматическими углеводородами (кроме бензола)	1,3
	Со свинцовыми соединениями или ароматическими углеводородами с бензолом	1,7
В электрическом поле	Аэрозоли лакокрасочных материалов	0,3- 0,5

Площадь сечения зонта определяется по формуле:

$$F=A \cdot B = \frac{L}{3600 \cdot V}$$

где А и В – линейные размеры зонта.

При этом нужно знать, в каких единицах измерения установлены нормы на соответствующие величины.

Вариант выбирается из таблиц 7.2 и 7.3 по двум последним цифрам номера студенческого билета.

Варианты к расчету

Таблица 7.2

Последняя цифра номера студенческого билета

Параметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип припоя	ПОС -40	ПОС -61	ПОС -50	ПОС -40	ПОС -61	ПОС -61М	ПОС -61П	ПОС -40	ПОС -50	ПОС -40
ρ	0,6	0,39	0,5	0,6	0,39	0,39	0,39	0,6	0,5	0,6
γ·10 <sup>-2</sup>	0,7	0,75	0,5	0,65	0,85	0,8	0,75	0,85	0,95	0,6
R·10 <sup>2</sup> , г	5	5	10	5	10	5	10	5	10	5

Таблица 7.3

Предпоследняя цифра номера студенческого билета

Параметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N, л/час	50	60	50	40	50	50	60	50	40	50
V, м/с	0,75	0,85	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1	0,9

По окончании расчетов сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вредные вещества выделяются при производстве аппаратуры связи?
2. Как вредные вещества подразделяются по степени опасности?
3. Что такое ПДК? Какие виды ПДК Вам известны?

Литература: [1; 2; 6; 7; 12].

#### Задача № 8

#### РАСЧЕТ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

При выработке требований к системам общеобменной вентиляции нужно исходить из необходимости удаления из производственного помещения всех присутствующих вредных веществ: избытков тепла, влаги, газов и пыли. С этой целью необходимо провести предварительный расчет возможной кратности воздухообмена в производственном помещении объемом V, при наличии в нем теплоизбытков – Q<sub>тзд</sub>, вредных газов – W<sub>г0</sub>, пыли свинца,

либо нетоксичной пыли - W.

Таким образом, в процессе расчета следует определить:

1. Количество избыточного тепла в помещении.
2. Часовое количество воздуха, необходимого для удаления избытков тепла, газов и пыли.
3. Кратность воздухообмена в помещении, содержащем вышеперечисленные вредности.

Исходные данные представлены в табл. 8.1 и 8.2.

По результатам расчетов сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

1. Подлежащие удалению теплоизбытки  $Q_{изб}$  определяются по формуле:

$$Q_{изб} = Q_{п} - Q_{отд}, \text{ кДж/ч,}$$

где  $Q_{п}$  - количество тепла, поступающего в воздух помещения от производственных и осветительных установок, в результате тепловыделений людей, солнечной радиации и др., кДж / ч;

$Q_{отд}$  - теплоотдача в окружающую среду через стены здания, кДж / ч.

2. Количество воздуха, которое необходимо удалить за 1 ч из производственного помещения L при наличии теплоизбытков, определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_{изб}}{c \cdot \Delta T \cdot \gamma_{пр}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где c - удельная теплоемкость воздуха,  $c = 1 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$ ;

$\Delta T$  - разность температур удаляемого и приточного воздуха, К;

$\gamma_{пр}$  - плотность приточного воздуха,  $\gamma_{пр} = 1,29 \text{ кг/м}^3$ .

При наличии в воздухе помещения вредных газов и пыли количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения для уменьшения концентраций вредных выделений до допустимых норм, рассчитывают из выражения:

$$L = \frac{W}{C_{\partial} - C_{п}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где W - количество поступающих вредных выделений, г/ч;

$C_{\partial}$  - предельно допустимая концентрация вредных выделений в воздухе помещения, г/м<sup>3</sup>, причем:

Для СО  
Для пыли Рв

$$C_{\partial} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ г/м}^3;$$

$$C_{\partial} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ г/м}^3;$$

Для нетоксичной пыли  $C_{\partial} = 10^{-2} \text{ г/м}^3$ ;

$C_{п}$  - концентрация вредных примесей в воздухе, поступающем в производственное помещение, г/м<sup>3</sup>.

При решении данной задачи считать, что  $C_{п} = 0$ .

Для каждого вида вредных выделений, включая теплоизбытки, необходимое количество вентиляционного воздуха в час - L рассчитывается отдельно.

3. Для определения кратности воздухообмена в производственном помещении, где имеют место быть и теплоизбытки, и вредные вещества, необходимо выбрать наибольшее из полученных значений Lmax и разделить на объем:

$$K = L_{max} / V, \text{ 1/ч}$$

Варианты к задаче № 8

Таблица 8.1

Тепловые выделения	Последняя цифра номера студенческого билета				
	1	2	3	4	5
V, м <sup>3</sup>	100	150	200	250	300
Q <sub>п</sub> , кДж/ч	5•10 <sup>3</sup>	6•10 <sup>3</sup>	7•10 <sup>3</sup>	8•10 <sup>3</sup>	9•10 <sup>3</sup>
Q <sub>отд</sub> , кДж/ч	1•10 <sup>3</sup>	1,2•10 <sup>3</sup>	1,4•10 <sup>3</sup>	1,6•10 <sup>3</sup>	1,8•10 <sup>3</sup>
ΔT, К	9	8	7	6	5

Тепловые выделения	Последняя цифра номера студенческого билета				
	6	7	8	9	0
V, м <sup>3</sup>	350	400	450	500	550
Q <sub>п</sub> , кДж/ч	1•10 <sup>4</sup>	2•10 <sup>4</sup>	3•10 <sup>4</sup>	4•10 <sup>4</sup>	5•10 <sup>4</sup>
Q <sub>отд</sub> , кДж/ч	2•10 <sup>3</sup>	4•10 <sup>3</sup>	6•10 <sup>3</sup>	8•10 <sup>3</sup>	1•10 <sup>3</sup>
ΔT, К	9	8	7	6	5

Таблица 8.2

Количество вредных выделений W, г/ч	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
СО	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,5	3,0
Пыли Рв • 10 <sup>3</sup>	-	10	-	10	-	15	-	5	-	5
Нетоксичной пыли	5,5	-	5,0	-	4,5	-	4,0	-	3,5	-

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие параметры характеризуют микроклимат производственного помещения?
2. Какие приборы используются для измерения параметров микроклимата?
3. Как определяется необходимая кратность воздухообмена?
4. Как определяется фактическая кратность воздухообмена?
5. Санитарно-гигиенические требования к вентиляции.
6. Какая вентиляция устанавливается в аккумуляторном помещении?

Литература: [1; 2; 6; 7; 12].

## Задача № 9

## РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

В машинном зале одновременно работают три вентиляционные установки. Уровень звукового давления каждой из них: L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> дБ, соответственно. Как изменится результирующее воздействие их на приемник, если установки расположить на различных расстояниях от него – R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> м, и если между приемником и установками имеются стены - преграды – N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, соответственно? По исходным данным, отраженным в таблицах 9.1, 9.2, 9.3 и 9.4, необходимо определить:

- а) суммарную интенсивность шума от трех источников на рабочем месте;
- б) интенсивность шума, если стены и потолок покрыты звукопоглощающим материалом.

Сделать выводы по результатам полученных расчетов.

Расчет изменения уровня интенсивности шума с изменением расстояния R от источника шума производится по формуле:

$$LR = L - 20 \lg R - 8, \text{ дБ},$$

где LR и L - уровни интенсивности шума источника на расстоянии R метров и одного метра, соответственно (L = L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>).

Если между источником шума и рабочим местом есть стена-преграда, то уровень интенсивности шума снижается на

$$N = 14,5 \lg G + 15, \text{ дБ},$$

где G - масса 1 м<sup>2</sup> стены-преграды, кг.

Уровень интенсивности шума на рабочем месте с учетом влияния стены-преграды определяется как

$$L'R = LR - N, \text{ дБ}.$$

Суммарная интенсивность шума двух источников с уровнями и L<sub>A</sub> и L<sub>B</sub> определяется как

$$L_{\Sigma} = L_A + \Delta L, \text{ дБ},$$

где L<sub>A</sub> - наибольший из двух суммируемых уровней, дБ; ΔL - поправка, зависящая от разности уровней (L<sub>A</sub> - L<sub>B</sub>), дБ, определяется по табл. 9.1.

При определении суммарной мощности нескольких источников суммирование следует проводить последовательно, начиная с наиболее интенсивных.

Следует учесть, что L<sub>Σ</sub> определяется для трех источников шума, и каждый источник рассматривается с соответствующей стеной-преградой. Параметры (тип материала, толщину и массу 1 м<sup>2</sup>) стены-преграды взять из табл. 9.4.

При определении интенсивности шума после покрытия стен и потолков шумопоглощающим материалом допускается пренебречь действием прямых звуковых лучей, при этом следует считать, что стены-преграды находятся внутри помещения и на звукопоглощение влияния не оказывают.

Суммарное звукопоглощение стен, пола и потолка определяется как:

$$M = S_{nm} \cdot \alpha + S_c \cdot \beta + S_{nm} \cdot \gamma, \text{ ед. погл.},$$

где S<sub>nm</sub>, S<sub>c</sub> - соответственно площади потолка и стен помещения, м<sup>2</sup>;

α, β, γ - соответственно коэффициенты поглощения материалов, которыми покрыты потолок, стены и пол. Здесь необходимо учитывать равенство площадей потолка и пола. При этом снижение интенсивности шума составит:

$$K = 10 \cdot \lg (M_2 / M_1), \text{ дБ},$$

где M<sub>2</sub> и M<sub>1</sub> - звукопоглощение помещения без покрытия стен и потолка специальными звукопоглощающими материалами (M<sub>1</sub>), и после покрытия такими материалами (M<sub>2</sub>), ед. погл.

Значение M<sub>1</sub> вычисляется с использованием коэффициентов α<sub>1</sub> и β<sub>1</sub>, а M<sub>2</sub> - с использованием α<sub>2</sub>, β<sub>2</sub>. При этом пол паркетный, в расчетах принять γ = 0,061.

Уровень интенсивности шума на рабочем месте с учетом покрытия стен и потолка звукопоглощающими материалами составит:

$$L'_{\Sigma} = L_{\Sigma} - K, \text{ дБ.}$$

Таблица 9.1

Разность интенс. уровней источн. $L_A - L_B$ , дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Поправка $\Delta L$ , дБ	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Таблица 9.2

Исходные данные		Последняя цифра номера студенческого билета									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Источ-ник шума 1	R, м	2,5	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
	L, дБ	80	90	95	100	100	110	100	90	90	100
	№ стено-преграды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Источ-ник шума 2	R, м	7	7,5	8	8,5	9	9,5	8,5	8,5	8	7,5
	L, дБ	110	100	90	80	80	80	90	90	100	110
	№ стено-преграды	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11
Источ-ник шума 3	R, м	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5
	L, дБ	95	90	95	100	105	110	105	100	95	90
	№ стено-преграды	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Таблица 9.3

	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$S_{пт}, \text{ м}^2$	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
$S_c, \text{ м}^2$	160	180	200	220	250	260	280	300	320	340
$\alpha 1 \cdot 10^3$	20	25	30	35	40	45	40	35	30	25
$\alpha 2 \cdot 10^2$	95	90	85	80	75	70	75	80	85	90
$\beta 1 \cdot 10^3$	34	33	32	31	30	31	32	33	34	35
$\beta 2 \cdot 10^2$	75	80	85	90	95	90	85	80	75	70

Таблица 9.4

Материал и конструкция	Толщина конструкции, м	Масса 1 м <sup>2</sup> преграды, кг
1. Стена кирпичная	0,12	250
2. Стена кирпичная	0,25	470
3. Стена кирпичная	0,38	690
4. Стена кирпичная	0,52	934
5. Картон в несколько слоев	0,02	12
6. Картон в несколько слоев	0,04	24
7. Войлок	0,025	8
8. Войлок	0,05	16
9. Железобетон	0,1	240
10. Железобетон	0,2	480
11. Стена из шлакобетона	0,14	150
12. Стена из шлакобетона	0,28	300
13. Перегородка толщиной 0,02 м, выполненная из досок и оштукатуренная с двух сторон	0,06	70
14. Перегородка из стоек толщиной 0,1 м, оштукатуренная с двух сторон	0,18	95
15. Гипсовая перегородка	0,11	117

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое шум?
2. Физические параметры, характеризующие шум.
3. Объясните механизм действия шума на организм человека, назовите допустимые уровни шума по нормам.
4. Что такое интенсивность шума, уровень интенсивности, единицы измерения?
5. Что такое порог слышимости, болевой порог?
6. Какие инженерные решения применяются по снижению уровня шума?

Литература: [1; 2; 6; 7; 12].

Задача № 10

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (ВЛЭП)

В задаче рассчитывается напряженность электрического поля, создаваемого трехфазной ВЛЭП с горизонтальным расположением проводов (рис. 10.1).

Номинальное фазное напряжение ВЛЭП -  $U_{\phi}$ .

Длина пролета линии -  $L$ .

Расстояние между проводами трехфазной ВЛЭП -  $d$ .

Высота крепления провода -  $H$ .

Высота провиса провода -  $H_0$ .

Стрела провеса -  $f = H - H_0$ .

Радиус провода ВЛЭП -  $r$ .

В задаче необходимо рассчитать:

1. Напряженность электрического поля  $E$  в точке, удаленной от ближайшей опоры на расстояние -  $X$ , от оси ВЛЭП - на расстояние  $x$ , от поверхности земли по вертикали -  $h$  (рис. 10.2).

2. Построить график зависимости напряженности электрического поля от заданных в Вашем варианте величин  $X$ ,  $x$ ,  $h$ , с шагом 2 метра до  $x_p = x + 8$ .

3. Построить график зависимости  $E(h)$  от той же начальной точки  $X$ ,  $x$ ,  $h$ , с шагом 1 метр до  $h_p = h + 4$ .

1. Высоту размещения провода  $H_{np}$  на расстоянии  $X$  от опоры определяем по формуле:

$$H_{np} = H - (4f \cdot X / L) \cdot (1 - X / L).$$

Искомая напряженность электрического поля, В/м, трехфазной воздушной линии электропередачи с горизонтальным расположением проводов определяется из формулы:

$$E = (C \cdot U_{\phi} / 4 \pi \cdot \epsilon) \cdot$$

$$\cdot \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2}$$

Коэффициенты  $k$  имеют следующие значения:

$$k_1 = (x + d)/m_A^2 - (x + d)/n_A^2;$$

$$k_2 = (H_{np} - h)/m_A^2 + (H_{np} + h)/n_A^2;$$

$$k_3 = x/m_B^2 - x/n_B^2;$$

$$k_4 = (H_{np} - h)/m_B^2 + (H_{np} + h)/n_B^2;$$

$$k_5 = (x - d)/m_C^2 - (x - d)/n_C^2;$$

$$k_6 = (H_{np} - h)/m_C^2 + (H_{np} + h)/n_C^2;$$

$\pi = 3,14$ ;  $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная,  $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$  ф/м.

Отрезки  $m_a, m_b, m_c, n_a, n_b, n_c$  - являются гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников (см. рис. 10.2) и определяются следующими уравнениями:

$$m_a = \sqrt{(x + d)^2 + (H_{np} - h)^2}$$

$$n_a = \sqrt{(x + d)^2 + (H_{np} + h)^2}$$

$$m_b = \sqrt{x^2 + (H_{np} - h)^2}$$

$$n_b = \sqrt{x^2 + (H_{np} + h)^2}$$

$$m_c = \sqrt{(x - d)^2 + (H_{np} - h)^2}$$

$$n_c = \sqrt{(x - d)^2 + (H_{np} + h)^2}$$

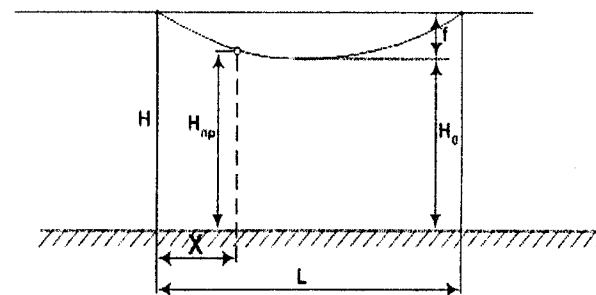


Рис. 10.1. К определению высоты размещения линии (провода) над землей  $H_{np}$  на разных расстояниях от опоры -  $X$



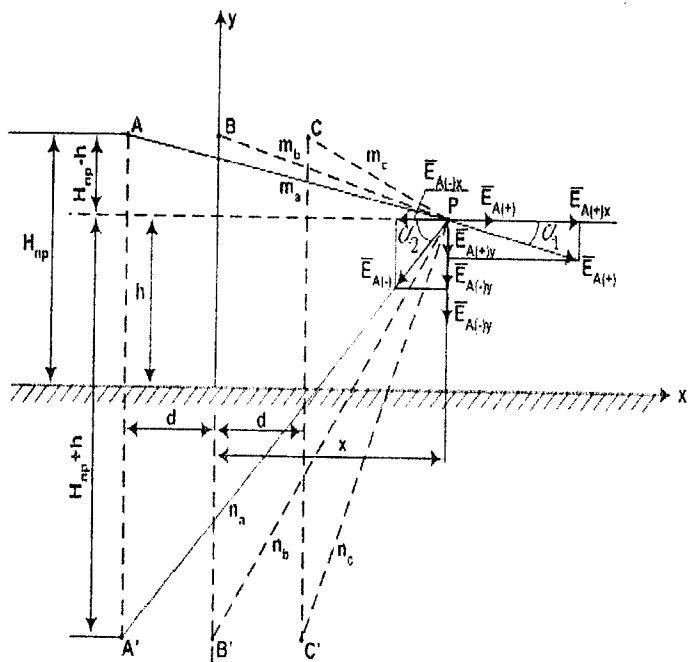


Рис. 10.2. К вычислению напряженности электрического поля  
 вблизи воздушной линии электропередачи в точке – Р:  
 А, В, С – фазы (провода) линии;  
 $m_a, m_b, m_c$  – кратчайшие расстояния от точки Р до фаз линии;  
 $n_a, n_b, n_c$  – кратчайшие расстояния от точки Р до зеркальных  
 изображений фаз

Емкость фазы относительно земли (пренебрегая влиянием земли) определяем по формуле:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot \epsilon / \ln(d \cdot \sqrt{2} / r).$$

Далее, принимая  $x$  равным  $x+2; x+4; x+6; x+8$ , находим  $E$  для каждого из этих значений. Строим график зависимости  $E(x)$ .

Принимая  $h$  равным  $h+1; h+2; h+3; h+4$ , вычисляем  $E$  для каждого значения. Строим график зависимости  $E(h)$ .

Полученные результаты необходимо сравнить с допустимыми санитарными нормами. Напряженность электрического поля не должна превышать 5000 В/м.

По окончании расчета сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

Таблица 10.1

Варианты к выполнению расчета

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U <sub>ф</sub> , кВ	450	500	550	600	650	600	550	500	450	500
L, м	100	120	140	80	70	90	100	120	130	100
H, м	20	25	30	35	35	30	25	20	20	30
H <sub>0</sub> , м	16	20	25	28	30	22	18	15	16	22
d, м	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
r, м	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
X, м	40	30	40	30	20	40	50	40	30	25
x, м	25	26	27	28	29	20	28	26	25	23
h, м	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Биологическое действие электромагнитного поля.
2. Как нормируется воздействие электромагнитного поля на человека?
3. Механизм биологического действия электрического поля.

Литература: [7; 11].

### МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

Энергия электромагнитных полей широко используется в промышленности и сельском хозяйстве. При этом уровни интенсивностей излучений с каждым годом возрастают по сравнению с радиофоном нашей планеты. Электромагнитное поле радиочастот стало новым фактором окружающей среды.

Литературные данные свидетельствуют о том, что электромагнитное поле является мощным физическим раздражителем, который может вызвать функциональные и органические нарушения всех систем организма. В связи с этим необходимо вести постоянный контроль за уровнем интенсивности полей от источников излучения, а также владеть методами расчета напряженности электромагнитного поля. Это имеет большое значение при выборе оптимальных гигиенических условий для размещения радиостанций вблизи населенных мест, организации санитарно-защитных зон для охраны населения от вредного воздействия полей.

Для проведения расчетов необходимо учитывать мощность передатчиков, количество их, коэффициенты усиления антенн, рабочие длины волн, диаграммы направленности антенн в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также характер почвы и рельеф.

Основным элементом противорадиационной защиты следует считать нормативы "Санитарные правила и нормы (СанПиН) 2.2.4/2.1.8.055-96". Правильно обоснованные, они позволяют не только сохранить здоровье, но и обеспечить достаточно надежный уровень работоспособности, избежать ненужных психологических травм.

Таблица 11.1

Предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия электрической составляющей ЭМИ РЧ на человека

Диапазон частоты	Размерность	ПДУ
30-300 кГц	В/м	25
0,3-3 МГц	В/м	15
3-30 МГц	В/м	10
30-300 МГц	В/м	3
300 МГц – 300 ГГц	мкВт / см <sup>2</sup>	10

Полученные при расчетах результаты необходимо сравнить с ПДУ и на основе сравнений сделать выводы и построить графики. Диапазоны радиоволн представлены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

### Диапазоны радиоволн

Наименование диапазона	Частотные границы	Длина волн
Длинные волны (ДВ)	30-300 кГц	10000-1000 м
Средние волны (СВ)	0,3-3 МГц	1000-100 м
Короткие волны (КВ)	3-30 МГц	100-10 м
Ультракороткие волны (УКВ)	30-300 МГц	10-1 м
Сверхвысокочастотные волны (СВЧ)	300 МГц – 300 ГГц	1 м – 1 мм

### Расчет напряженности поля ВЧ - диапазона

К ВЧ-диапазону относятся длинные, средние и короткие волны (см. табл. 11.2). В этом диапазоне расчетная напряженность поля может быть определена только в волновой зоне (зоне излучения), т.е. когда

$$d \gg \frac{2L^2}{\lambda}$$

здесь  $d$  - расстояние от антенны до точки измерения;

$L$  - максимальные размеры антенны.

Расчет напряженности поля в зоне излучения, как правило, производится для электрической составляющей ЭМП -  $E$ , по формуле Шулейкина - Ван-дер-Поля:

$$E = 7,750 (P \cdot Ga)^{1/2} \cdot F/d, \quad (1)$$

здесь  $E$  - напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м;

$P$  - мощность передатчика, Вт;

$Ga$  - коэффициент усиления антенны;

$d$  - расстояние от антенны до точки измерения, м;

$F$  - множитель ослабления для определения потерь электромагнитной энергии в почве; зависит от параметров почвы, расстояния от точки измерения до антенны и длины волн. Он определяется из соотношения:

$$F = 1,41 (2+0,3x) / (2+x+0,6x^2), \quad (2)$$

здесь  $x$  - величина, называемая "численным значением". В диапазоне длинных и средних волн, когда выполняется условие

$$60\lambda \gg \theta, \quad (3)$$

ее определяют по формуле:

$$x = \pi \cdot d / (600 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma), \quad (4)$$

а в диапазоне коротких волн:

$$x = \pi \cdot d / \left[ \lambda \cdot \sqrt{\theta^2 + (60 \cdot \lambda \cdot \sigma)^2} \right], \quad (5)$$

здесь  $\lambda$  - длина волны, м;

$\theta$  - относительная диэлектрическая проницаемость;

$\sigma$  - проводимость почвы, вдоль которой распространяется волна

( $\theta$  и  $\sigma$  - из табл. 11.3).

Таблица 11.3

Основные параметры почвы трасс

Вид поверхности	$\theta$	$\sigma$ , См/м
Влажная почва, ровная поверхность	5-15	0,003
Влажная почва с низкой растительностью	4	0,01
Сухая почва, песок	2-10	0,001
Почва, покрытая лесом	4	0,001
Крупные города	3-5	0,00075

Приведенный выше метод определения напряженности поля приемлем при круговой диаграмме излучения и для направления максимального излучения главного лепестка диаграммы. ПДУ - табл. 11.1.

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ВЧ-ДИАПАЗОНА

1. Рассчитать напряженность поля, создаваемого длинноволновой радиостанцией мощностью  $P = 250$  кВт,  $\lambda = 1135$  м, на расстоянии  $d = 1000$  м,  $G_a = 1,04$ . Почва сухая, песок -  $\sigma = 0,001$  См/м. В соответствии с (4) определяем  $x$ :

$$x = \pi d / (600 \cdot 1135^2 \cdot 0,001) \approx 0,004$$

По формуле (2) рассчитываем множитель ослабления:

$$F = 1,41 (2+0,3 \cdot 0,004) / (2+0,004+0,6 \cdot 0,004^2) = 1,41$$

Окончательный расчет проводим по формуле (1):

$$E = 7,750 (P G_a)^{1/2} \cdot F/d \approx 5,6 \text{ В/м.}$$

Сравнивая полученный результат со стандартом  $E = 20$  В/м, приходим к выводу: мы не подвергаемся негативным воздействиям поля от длинноволновой радиостанции мощностью  $P = 250$  кВт, находясь на расстоянии  $d = 1000$  м от нее.

2. Рассчитать напряженность поля, создаваемого КВ радиостанцией  $P = 100$  кВт,  $\lambda = 50$  м, на расстоянии  $d = 500$  м, почва влажная и ровная -  $\theta = 10$ ,  $\sigma = 0,003$  См/м;  $G_a = 240$ .

По формуле (5) определим  $x$ :

$$x = 3,14 \cdot 500 / (50 \cdot (100 + (60 \cdot 50 \cdot 0,003)^2)^{1/2}) \approx 2,33.$$

Определим множитель ослабления  $F$ :

$$F = 1,41 \cdot (2 + 0,3 \cdot 2,33) / (2 + 2,33 + 0,6 (2,33)^2) \approx 0,5$$

Рассчитываем напряженность поля  $E$  по формуле (1):

$$E(500) = 30 \text{ В/м.}$$

Сравнивая полученное значение со стандартным, приходим к выводу, что вблизи КВ радиостанции на расстоянии  $d = 500$  м находиться нельзя, поскольку расчетные данные указывают на значительное превышение ПДУ (таблица 11.1).

Таблица 11.4

Варианты к решению задач по расчету напряженности поля ВЧ-диапазона

Вариант (последняя цифра номера студенческого билета)	$\lambda$	$P$ , кВт	$G_a$	$\theta$	$\sigma$
1	1650	300	1,1	7	0,003
2	40	150	240	10	0,001
3	1200	250	1,04	4	0,01
4	80	100	200	3	0,001
5	1750	350	1,1	4	0,00075
6	20	100	180	5	0,001
7	1050	250	1,05	7	0,003
8	70	100	205	4	0,001
9	1900	350	1,2	5	0,01
0	50	120	200	4	0,001

Таблица 11.4 (продолжение)

Расстояние d, м	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d1	400	500	300	600	520	660	400	450	550	650
d2	700	800	600	900	800	960	750	800	950	900
d3	1100	1200	1150	1300	1350	1100	1250	1300	1400	1500
d4	1500	1600	1700	1700	1600	1500	1600	1700	1800	1600
d5	2000	2100	2000	2000	2000	2300	2400	2500	2000	2100

По представленным исходным данным провести расчет, сравнить со стандартами, построить графики зависимости  $E = f(dn)$ . Сделать выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Волны какой длины относятся к ВЧ-диапазону?
2. По каким параметрам определяется степень воздействия ЭМП на биологические объекты?
3. Объясните понятие "электромагнитное загрязнение окружающей среды".
4. Какие нарушения в состоянии здоровья возможны при воздействии ЭМП ВЧ-диапазона?

Литература: [8, 9; 12].

### Задача № 12

### РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ УВЧ-ДИАПАЗОНА

В последнее время, в связи с установлением биологической активности УВЧ-волн (ПДУ = 3 В/м), разработан метод определения напряженности поля, создаваемого телецентрами и ретрансляторами. По этому методу определяют напряженность поля, создаваемого каждым передатчиком телецентра или ретранслятора у поверхности земли, а затем суммарную напряженность поля, создаваемую всеми передатчиками. Если все передатчики работают на одну антенну, то расчет проводится по формуле:

$$E = \sqrt{2} \frac{F(\Delta)}{R} \sqrt{30 \cdot P_{\Sigma} \cdot D}, \quad (1)$$

здесь:  $P_{\Sigma}$  - суммарная мощность, поступающая в антенну (сумма мощностей от всех передатчиков), Вт;

$D$  - коэффициент направленного действия антенны;

$F(\Delta)$  - значение нормированного множителя ослабления, определяемого диаграммой направленности антенны в вертикальной плоскости для соответ-

ствующего диапазона;

$R$  - расстояние от фазового центра антенны до заданной точки, м, определяется из соотношения:

$$R = \sqrt{H^2 + x^2}. \quad (2)$$

Здесь:  $H$  - высота фазового центра антенны, м ;

$x$  - расстояние от основания башни телецентра до заданной точки, м.

Угол (от горизонта)  $\Delta$ , под которым видна из заданной точки антенна, равен:

$$\Delta = \arctg\left(\frac{H}{x}\right). \quad (3)$$

Для расчетов множителя ослабления в данной задаче используется формула:

$$F(\Delta) = \frac{1 + \cos(\Delta)}{2} \cdot \frac{\left| \sin\left(2 \frac{\pi}{\Delta D} \cdot \sin(\Delta)\right) \right|}{\left| 2 \cdot \frac{\pi}{\Delta D} \cdot \sin(\Delta) \right|}. \quad (4)$$

Здесь  $\Delta D$  - угловой раскрыв главного лепестка диаграммы направленности.

После подстановки (2), (3), и (4) в (1) получим:

$$E(x) = \sqrt{60 \cdot G \cdot P_{\Sigma}} \left[ \frac{\Delta D}{4 \cdot \pi \cdot H} \cdot \left| 1 + \frac{x}{H \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{x}{H}\right)^2}} \right| \cdot \left| \sin \frac{2 \cdot \frac{\pi}{\Delta D}}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{H}\right)^2}} \right| \right]. \quad (5)$$

Недостатком представленного метода является то, что не учитывается отражение от земли и зданий, иногда увеличивающее напряженность поля. Однако погрешность не столь существенна, так как расчет производится на пиковую мощность.

### ПОРЯДОК РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ УВЧ-ДИАПАЗОНА

В таблицах 12.1 и 12.2 - исходные данные для расчета, в соответствии с двумя последними цифрами студенческого билета. В задаче необходимо провести расчет напряженности электрической составляющей поля в зависимости от расстояния "x". Конкретные значения расстояний определяются следующим образом.

Вначале устанавливаются граничные условия: минимальное ( $x_{\min}$ ) и максимальное ( $x_{\max}$ ) расстояния, в пределах которых исследуется зависимость (1):

$$x_{\min} = H \cdot \sqrt{(2/\Delta D)^2 - 1}; \quad x_{\max} = H \cdot (8/\Delta D + \Delta D/\pi^2).$$

Затем определяется расстояние -  $x$  (от основания башни телецентра до заданной точки):

$x = x_{\min} + 0,1(x_{\max} - x_{\min}) \cdot n$ ,  
где  $n$  изменяется от 0 до 10 с шагом 1.

Далее в соответствии с (5) рассчитывается зависимость  $E=f(x)$ .

В расчетные формулы подставляются величины в единицах системы СИ.

#### Варианты к решению задачи

Таблица 12.1

Последняя цифра номера студенческого билета	H, м	f, МГц	P, кВт изображения	P, кВт звук
0	300	48...57	80	20
1	340	58...66	55	16
2	320	76...84	73	26
3	360	84...92	50	15
4	330	92...100	78	24
5	327	174...182	60	18
6	350	182...190	65	25
7	400	190...198	87	30
8	250	198...206	75	30
9	450	206...214	94	23

Таблица 12.2

Предпоследняя цифра номера студенческого билета	G, относительные единицы	$\Delta D$ , рад
0	12	0,1· $\pi$
1	15	0,2· $\pi$
2	10	0,3· $\pi$
3	15	0,15· $\pi$
4	16	0,25· $\pi$
5	21	0,3· $\pi$
6	13	0,25· $\pi$
7	12	0,2· $\pi$
8	14	0,15· $\pi$
9	15	0,1· $\pi$

Отчет должен содержать:

- результаты расчетов (включая промежуточные);
- график зависимости  $E=f(x)$ ;
- на графике указать ПДУ, для рассматриваемого диапазона длин волн;
- по результатам расчета сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какими параметрами характеризуются поля УВЧ-диапазона?
- Особенности влияния полей УВЧ-диапазона на биологические объекты.
- В каких сферах человеческой деятельности нашли наибольшее применение поля УВЧ-диапазона?
- Защита от полей УВЧ-диапазона.

Литература: [8; 9; 12].

Задача № 13

#### РАСЧЕТ ППМ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Расчет ППМ в направлении максимального излучения (по оси горизонтальной диаграммы направленности) производится по формуле:

$$\text{ППМ} = \text{ППМ}_0 \cdot F \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2, \text{ мкВт/см}^2, \quad (1)$$

здесь  $\text{ППМ}_0$  - плотность потока мощности без учета отражения и поглощения;

$F$  - множитель ослабления, учитывающий отражение волн от поверхности земли;

$\kappa_1$  - коэффициент, учитывающий импульсный характер излучения (коэффициент заполнения);

$\kappa_2$  - коэффициент, учитывающий диаграмму направленности антенны в вертикальной плоскости, угол излучения и высоту установки антенны.

Значение  $\text{ППМ}_0$  определяется по формуле:

$$\text{ППМ}_0 = 100 \cdot P \cdot S \cdot c / (d^2 \cdot \lambda^2), \text{ мкВт/см}^2, \quad (2)$$

Здесь  $P$  - мощность передатчика, Вт,

$c$  - коэффициент использования антенны, который в большинстве случаев имеет значения : 0,6-0,8;

$S$  - апертура антенны,  $\text{м}^2$ ;

$d$  - расстояние до точки, в которой определяется ППМ, м;

$\lambda$  - длина волны, м.

Значение множителя ослабления при ровной поверхности трассы и при расстоянии  $d \ll 5,1 \cdot h_1 \cdot h_2 / \lambda$  условно составляет  $F=1,6$ , где  $h_1$  - высота антенны;  $h_2$  - высота точки, в которой определяется ППМ, м.

При  $d \geq 6,0 \cdot h_1 \cdot h_2 / \lambda$  - множитель ослабления  $F = 1$ . На расстояниях в диапазоне  $6,0 \cdot h_1 \cdot h_2 / \lambda > d > 5,1 \cdot h_1 \cdot h_2 / \lambda$  - значения множителя ослабления различны - таблица 13.1

Таблица 13.1  
Значение множителя ослабления F для различных расстояний d  
 $n = d\lambda / (h_1 \cdot h_2)$

n	F	n	F	n	F	n	F	n	F
5,1	1,6	5,3	1,4	5,5	1,3	5,7	1,2	5,9	1,1
5,2	1,5	5,4	1,35	5,6	1,2	5,8	1,1	6,0	1,0

Коэффициент  $k_1$  определяется из соотношения:

$$k_1 = \tau / T = \tau \cdot f, \quad (3)$$

где  $\tau$  - длительность импульса;  
T - период повторения импульсов;  
f - частота повторения импульсов.

Значения коэффициента  $k_2$  находят по диаграмме направленности антенны в вертикальной плоскости (рис. 13.1). Угол  $\Delta$  определяют из выражения:

$$\Delta = \Delta_1 \pm \varphi, \quad (4)$$

$$\text{где } \text{tg} \Delta_1 = (h_1 - h_2) / d, \quad (5)$$

при этом  $\varphi$  - угол, при котором излучается энергия, знак « + », если излучение в верхнюю полусферу, « - » - излучение в нижнюю полусферу. А в случае излучения вдоль горизонтальной плоскости

$$\varphi = 0; \quad \Delta = \Delta_1$$

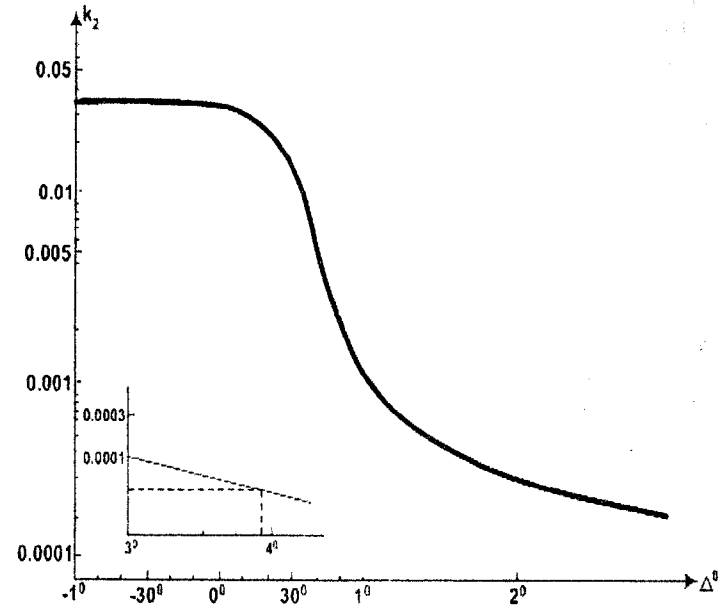


Рис. 13.1 Часть диаграммы направленности в вертикальной плоскости антенны радиолокатора в масштабе, удобном для расчета

#### ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ППМ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Радиолокатор кругового обзора имеет две антенны, на нижнюю подается мощность  $P_n = 3,5$  МВт, на верхнюю антенну -  $P_n = 1,8$  МВт. Рабочая частота  $f_0 = 3$  ГГц, длина волны  $\lambda = 10$  см. Частота повторения импульсов  $f = 375$  имп/с, длительность импульсов  $\tau = 1,5$  мкс. Частота вращения радиолокатора во время обзора - 3 об/мин. Площадь каждой антенны  $S = 9,7 \cdot 3$  м<sup>2</sup>, высота подвеса антенны  $h_1 = 10$  м, коэффициент использования антенны  $c = 0,8$ , угол излучения нижней антенны  $\varphi = 1$  град, верхней антенны  $\varphi = 11,5$  град.

Необходимо определить ППМ на высоте  $h_2 = 1,5$  м, при расстояниях:

$$d_1 = 1000 \text{ м}, d_2 = 500 \text{ м}, d_3 = 800 \text{ м}, d_4 = 1000 \text{ м}, d_5 = 5000 \text{ м}.$$

Энергия, излучаемая верхней антенной, не представляет биологической опасности. Поэтому расчет проведем для нижней антенны.

Используя формулу (2), находим ППМ<sub>0</sub>:

$$d_1 = 1000 \text{ м}, \text{ППМ}_0 = 100 \cdot 3500000 \cdot 29,1 \cdot 0,8 / (1000 \cdot 0,01) = 81480000 \text{ мкВт/см}^2;$$

$d_2 = 500 \text{ м}$ ,  $\text{ППМ}_0 = 3260000 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_3 = 800 \text{ м}$ ,  $\text{ППМ}_0 = 1270000 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_4 = 1000 \text{ м}$ ,  $\text{ППМ}_0 = 814800 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_5 = 5000 \text{ м}$ ,  $\text{ППМ}_0 = 32600 \text{ мкВт/см}^2$ .

Находим множитель ослабления  $F$ : при  $d_1=100 \text{ м}$ ,  $F=1,6$ ;  
 $d_2=500 \text{ м}$ ,  $F=1,6$ . Далее используем таблицу 13.1, находим:  
 $d_3 = 800 \text{ м}$ ,  $F = 1,4$ ;  $d_4 = 1000 \text{ м}$ ,  $F = 1,0$ ;  $d_5 = 5000 \text{ м}$ ,  $F = 1,0$ .

Коэффициент  $k_1$  определяем из соотношения:  $k_1 = \tau \cdot f = 56,25 \cdot 10^{-5}$ .

Коэффициент  $k_2$  находим по диаграмме направленности антенны - рис. 13.1, предварительно определив  $\text{tg} \Delta_1 = (h_1 - h_2) / d$ , откуда  $\Delta_1 = \text{arctg} (h_1 - h_2) / d$ , тогда  $\Delta = \Delta_1 - \varphi$ , таким образом, для  $d_1=100 \text{ м}$  имеем  $\Delta_1 = 4 \text{ град.} 50 \text{ мин.}$ ,  $\varphi = 1 \text{ град.}$ ,  $\Delta = 3 \text{ град.} 50 \text{ мин.}$  - находим из рис. 13.1 -  $k_2 = 0,00007$ ; при  $d_2=500 \text{ м}$ ,  $k_2=0,032$ ;  $d_3=800 \text{ м}$ ,  $k_2=0,035$ ;  $d_4=1000 \text{ м}$ ,  $k_2=0,035$ ;  $d_5=5000 \text{ м}$ ,  $k_2=0,035$ .

Находим ППМ по формуле (1):

При  $d_1$ :  $\text{ППМ} = \text{ППМ}_0 \cdot P \cdot k_1 \cdot k_2 = 814800001 \cdot 0,6 \cdot 0,00056 \cdot 0,00007 = 5,1 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_2$ :  $\text{ППМ} = 94 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_3$ :  $\text{ППМ} = 36 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_4$ :  $\text{ППМ} = 16 \text{ мкВт/см}^2$ ;  
 $d_5$ :  $\text{ППМ} = 0,64 \text{ мкВт/см}^2$ .

Сравниваем результаты со стандартом, строим график и делаем выводы.

Таблица 13.2

Варианты к расчету ППМ СВЧ - диапазона

Последняя цифра номера студенческого билета	РН, МВт	$f_0$ , МГц	$f$ , имп/с	$\tau$ , мкс	S, м2	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$\varphi$ , град
1	3,5	3000	375	1,5	27	10	1	1
2	4,0	3000	300	1,5	28	11	2,5	1
3	3,5	2700	325	1,0	30	12	3	1
4	3,0	3000	350	1,4	25	10	1	1
5	3,2	2500	325	1,5	27	11	2,0	1
6	3,0	2700	300	1,3	30	10	1,5	1
7	2,8	3000	310	1,6	27	10	1,8	1
8	3,1	2800	310	1,7	28	10	1	1
9	2,9	3000	320	1,5	27	10	1	1
0	3,0	3000	300	1,3	29	10	1,5	1

$C = 0,8$

Расстояние от основания антенны до точки измерения d, м	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d1	100	200	150	200	100	150	200	100	100	100
d2	500	700	650	600	500	650	700	500	600	500
d3	850	900	800	900	800	900	950	900	800	800
d4	1000	1200	1100	1000	1000	1200	1100	1100	1200	1000
d5	5000	6000	6500	7000	6000	5000	6000	7000	6000	5000

По представленным исходным данным провести расчет, сравнить полученные результаты со стандартами, построить графики зависимости -  $\text{ППМ} = f(d, n)$ . ПДУ - таблица 11.1.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте особенность СВЧ-диапазона ЭМП при воздействии на биологические объекты.
2. Что означает ППЭ или ППМ, почему СВЧ-диапазон характеризуется этими параметрами?
3. Методы защиты от СВЧ-излучения.

Литература: [5; 9; 12].

#### Задача № 14 РАСЧЕТ ЗАЩИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАБОТЕ С СВЧ-ПЕРЕДАТЧИКОМ

В СВЧ-передатчике имеется выходной контур, содержащий катушку с переменной индуктивностью. Радиус катушки равен  $r$ , число витков -  $W$ , сила тока в катушке и его частота равны  $I$  и  $f$  соответственно. В течение рабочего дня суммарное время регулировок с помощью ручки управления не превышает  $T$  часов.

Определить минимальную толщину экрана и длину трубки, при помощи которой выводят ручку управления из экранирующей камеры (диаметр ручки управления -  $D$ ), обеспечивающих допустимую мощность облучения. При этом  $R$  - расстояние от катушки до рабочего места.

Схема для расчета приведена на рис. 14.1, требуемые данные по вариантам - в табл. 14.1, 14.2.

По результатам расчетов сделать выводы.

При решении задачи можно воспользоваться нижеприведенной методикой.

Напряженность магнитной составляющей поля катушки Н на расстоянии R от нее (без экрана) может быть рассчитана:

$$H = \frac{W \cdot I \cdot r^2}{4 \cdot R^3} \cdot \beta_m, \text{ (A/m)}$$

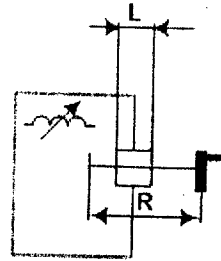


Рис. 14.1

где  $\beta_m$  - коэффициент, определяемый соотношением  $R/r$  (при  $R/r > 10$ ,  $\beta_m = 1$ ).

Если R удовлетворяет условиям:

$$R \gg \frac{\lambda}{2\pi}, \quad R \gg \frac{r^2}{\lambda},$$

где  $\lambda$  - длина волны, м, то имеет место волновая зона, оценку эффективности поля в которой производят по плотности потока энергии (ППЭ) излучения:

$$\sigma = 377 \cdot H^2 / 2, \text{ Вт/м}^2.$$

Допустимая величина ППЭ определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{N}{T},$$

где  $N = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ ; T - время облучения, ч.

Требуемое ослабление электромагнитного поля L можно определить по формуле

$$L = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{доп}}}.$$

Зная характеристики металла (см. таблицу 14.2), можно рассчитать толщину экрана  $\delta$ , обеспечивающую заданное ослабление электромагнитного поля L:

$$\delta = \frac{\ln L}{2 \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu_a \cdot \gamma / 2}},$$

где  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  - угловая частота, рад/с;

$\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м;  $\mu_a = \mu_0 \cdot \mu$ ,

$\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

$\mu$  - относительная магнитная проницаемость среды.

$\gamma$  - электрическая проводимость, См/м.

Ручки управления выводят через стенки экранирующей камеры при помощи трубок, впаянных в стенки и представляющих собой волноводные (при электрическом стержне) или коаксиальные (при металлическом стержне) линии.

На рис. 14.2 показан вывод ручки управления, насаженной на диэлектрический стержень 1, который находится внутри металлической трубки 2. Такая конструкция может рассматриваться как волноводная линия.

Ослабление энергии в трубке-волноводе на 1 м длины определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{32}{D \sqrt{\epsilon}}, \text{ дБ/м,}$$

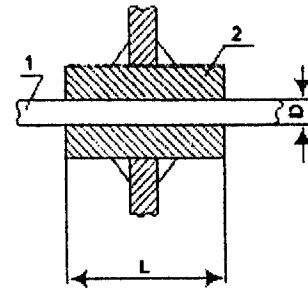


Рис. 14.2

где D - диаметр, м;  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая постоянная стержня (таблица 14.2). Материал экрана: сталь -  $\mu = 200$ ; медь -  $\mu = 1$ ; Материал стержня: гетинакс -  $\epsilon = 7$ ; текстолит  $\epsilon = 8$ ; эбонит  $\epsilon = 3,0$ ; стеклотекстолит -  $\epsilon = 7,5$ .

Требуемую длину трубки можно определить по формуле:

$$l = \frac{10 \cdot \lg L}{\alpha}, \text{ м.}$$

Варианты к задаче № 14

Таблица 14.1

	Последняя цифра номера студенческого билета				
	1	2	3	4	5
W	12	6	15	19	3
I, A	350	250	100	60	40
f, Гц	$3 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$
T, ч	4	2	0,2	4	6
D, м	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
R, м	2	3	2	3	2
r, м	$10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$



Таблица 14.1 (продолжение)

	Последняя цифра номера студенческого билета				
	6	7	8	9	0
W	12	6	15	9	3
I, А	80	200	300	400	150
f, Гц	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$
T, ч	0,2	4	2	0,2	4
D, м	$4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
R, м	2	3	2	3	2
г, м	$10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$

Таблица 14.2

	Предпоследняя цифра номера студенческого билета				
	1	2	3	4	5
μ	200	1	200	1	200
γ, См · м	$1 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$
ε	7	8	3,0	7,5	7,5

	Предпоследняя цифра номера студенческого билета				
	6	7	8	9	0
μ	1	200	1	200	1
γ, См · м	$5,7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$
ε	3,0	8	7	7,5	7,5

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким параметрам оценивается степень облучения персонала, обслуживающего СВЧ-генераторы?
2. Каков ПДУ облучения при работе в СВЧ-диапазоне?
3. Технические и индивидуальные средства защиты от электромагнитных излучений.

Литература: [8; 9; 12].

## Задача № 15

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Рассчитать сопротивление защитного заземления осуществляемого с помощью вертикальных электродов (заземлителей), изготовленных из уголковой стали. Длина вертикальных электродов - L, ширина полки уголка - b. Заземлители прикопаны в земле на глубину -  $t_0$ . Между собой они соединяются с помощью полосовой стали. Заземляемое устройство расположено в средней полосе РФ с удельным сопротивлением грунта - ρ.

Геометрические размеры заземлителей и расстояния между одиночными вертикальными заземлителями представлены в соответствующих вариантах.

Все величины приведены в единицах системы СИ.

В данной работе необходимо определить:

1. Сопротивление растеканию тока одного вертикального электрода в системе защитного заземления.
2. Количество вертикальных электродов в системе защитного заземления.
3. Длину горизонтальной полосы, соединяющей вертикальные электроды между собой.
4. Сопротивление растеканию тока горизонтальной полосы.
5. Сопротивление растеканию тока для всей системы защитного заземления.
6. Полученный результат сравнить со значением, установленным ГОСТ 2.1.030-81-R.
7. По результатам проведенных расчетов сделать выводы.

Максимально допустимые значения сопротивления R защитных заземляющих устройств приведены в соответствующих вариантах.

1. Сопротивление растеканию тока одиночного электрода в системе защитного заземления, с учетом вышеприведенных условий, определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left( \ln \left( \frac{2 \cdot L}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right),$$

где: ρ - удельное сопротивление грунта, Ом · м;

L - длина вертикального заземлителя, м;

d = 0,95b - для уголка с шириной полки b, м;

t - расстояние от поверхности земли до середины вертикального заземлителя,

t =  $t_0 + L/2$ , м;

2. Количество вертикальных заземлителей определяется по формуле:

$$n_B = \frac{R_3}{\eta_B \cdot R},$$

где:  $\eta_B$  - коэффициент использования вертикальных заземлителей, определяется из таблицы 15.1, по предварительно найденному отношению: a / L;

a - расстояния между заземлителями,

L - длина заземлителя.

Коэффициент использования заземлителей зависит от количества заземлителей.

Для предварительного расчета рекомендуется  $\eta_B = 0.85$ , при этом  $n_B$  округляется в меньшую сторону.

3. Длина соединительной полосы, выполненной из полосовой стали, определяется из соотношения:

а) для вертикальных электродов, расположенных в ряд -

$$L_{II} = (n_B - 1) \cdot a;$$

б) для вертикальных электродов, расположенных по контуру -

$$L_{II} = n_B \cdot a.$$

4. Соединительная полоса имеет свое сопротивление растеканию тока, которое определяется по формуле:

$$R_{II} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{II}} \ln \left( \frac{L_{II}^2}{0,5 \cdot b_{II} \cdot t_0} \right),$$

где:  $b_{II}$  - ширина полосы,  $t_0$  - глубина ее погружения в грунт.

5. Общее сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле:

$$R_0 = \frac{R_3 \cdot R_{II}}{R_3 \cdot \eta_{II} + R_{II} \cdot \eta_B \cdot n_B},$$

где:  $\eta_B$  - коэффициент использования вертикального электрода, определяется с использованием линейной интерполяции в соответствии с таблицей 15.1.

Коэффициент использования горизонтальной полосы  $\eta_{II}$ , так же определяется с использованием линейной интерполяции в соответствии с таблицей 15.1.

6. Полученный результат -  $R_0$  необходимо сравнить с  $R$ . Если он не больше значения, определенного ГОСТом, то расчет проведен правильно. Если расчетная величина  $R_0$  превосходит  $R$ , то необходимо повторить расчет, увеличив количество вертикальных электродов и соответственно изменив значения коэффициентов использования. Расчет следует повторять до тех пор, пока не будет выполняться неравенство  $R_0 \leq R$ . Таким образом, следует добиться оптимального соотношения между количеством вертикальных электродов и коэффициентами использования, при которых сопротивление растеканию тока всей системы защитного заземления не превосходит бы значения, определенного ГОСТом.

Таблица 15.1

Значение коэффициента использования

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине a / L	Заземлители расположены в ряд			Заземлители расположены по контуру		
	$\eta_B$	$\eta_{II}$	$\eta_{II}$	$\eta_B$	$\eta_{II}$	$\eta_{II}$
1	2	0,85	0,85			
	4	0,73	0,77	4	0,69	0,45
	6	0,69	0,72	6	0,61	0,4
	10	0,59	0,62	10	0,56	0,34
2	20	0,48	0,42	20	0,47	0,27
	2	0,91	0,94			
	4	0,83	0,89	4	0,78	0,55
	6	0,77	0,84	6	0,73	0,48
3	10	0,74	0,75	10	0,68	0,4
	20	0,67	0,56	20	0,63	0,32
	2	0,94	0,96			
	4	0,89	0,92	4	0,85	0,7
3	6	0,85	0,88	6	0,8	0,64
	10	0,81	0,82	10	0,76	0,56
	20	0,76	0,68	20	0,71	0,45

Таблица 15.2

Варианты к расчету системы защитного заземления

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	кон-тур	ряд	кон-тур	кон-тур	ряд	ряд	кон-тур	кон-тур	ряд	ряд
L, м	3,5	3	2,5	2	3,5	3	2,5	2	3	3,5
b, м	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,06	0,07	0,05	0,04	0,06
a, м	7	6	7,5	6	3,5	3	5	6	3	3,5
b <sub>II</sub> , м	0,05	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05

Если в конкретном варианте указано слово "контур", то предполагается, что вертикальные электроды расположены по контуру. В противном случае они расположены в ряд.

Таблица 15.3

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\rho_s$ , Ом·м	100	75	250	95	220	80	150	200	250	120
$R$ , Ом	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4
$t_0$ , м	0,75	1	0,8	1	0,75	1	0,8	0,9	1	0,75

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Область применения и принцип действия защитного заземления.
  2. Устройство защитного заземления.
  3. Виды заземлений и периодичность проверки состояния заземляющих устройств.
  4. Методы измерения сопротивления заземления.
  5. Основное требование к системе защитного заземления.
  6. Эффект экранирования, коэффициент использования заземлителя.
  7. Обоснуйте выражение "пробой на корпус".
  8. Что означает понятие "электротехническая земля"?
- Литература: [1; 7; 11; 13].

### Задача № 16

### РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ (аварийный режим)

В связи с тем, что трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В является наиболее применимой в быту и производстве, необходимо рассчитать ее параметры при возможных аварийных ситуациях. Исходные данные представлены в табл. 16.1, 16.2.

По результатам расчетов сделать выводы.

В данной задаче необходимо начертить схему трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и подключенным оборудованием.

Требуется:

1. Определить напряжение на корпусе оборудования при замыкании фазы на корпус:
  - а) при занулении оборудования (подключении корпусов к нулевому проводу);
  - б) с повторным заземлением нулевого провода.

2. Определить ток короткого замыкания и проверить, удовлетворяет ли он условию ПУЭ для перегорания плавкой вставки предохранителя:

$$I_{к.з.} \geq 3 \cdot I_{п.л.}$$

где  $I_{п.л.}$  – ток плавкой вставки, проверить для следующих значений тока:  
 $I_{п.л.} = (20, 30, 50, 100) \text{ А}$ .

3. Определить потенциал корпусов при замыкании фазы на корпус и обрыве нулевого провода (до и после места обрыва).
4. Определить ток, проходящий через тело человека, касающегося оборудования при замыкании фазы на корпус:
  - а) без повторного заземления нулевого провода;
  - б) с повторным заземлением нулевого провода.
5. Определить напряжение прикосновения на корпусе установки при замыкании одной из фаз на землю (дать схему).
6. Рассчитать заземляющее устройство, состоящее из  $n$  индивидуальных заземлителей, так, чтобы  $R_3$  не превышало 4 Ом.
7. Сформулировать выводы.

При решении задачи можно использовать следующую методику.

При занулении корпуса электрооборудования соединяются с нулевым проводом. Зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключается поврежденный участок сети. Зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на корпус или землю.

При замыкании фазы на зануленный корпус ток короткого замыкания протекает по петле фаза-нуль.

1. Величина  $I_{к.з.}$  тока короткого замыкания определяется по формуле

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi}}, \text{ А,}$$

где  $Z_{\Pi}$  – сопротивление петли фаза-нуль, учитывающее величину сопротивления вторичных обмоток трансформатора, фазного провода, нулевого провода, Ом;  
 $U_{\phi}$  – фазное напряжение, В.

2. Напряжение корпуса относительно земли без повторного заземления

$$U_3 = I_{к.з.} \cdot Z_n, \text{ В,}$$

где  $Z_n$  – сопротивление нулевого провода, Ом.

3. Напряжение корпуса относительно земли с повторным заземлением нулевого провода

$$U_{\text{н.п.}} \approx \frac{U_3}{R_{\text{п}} + R_0} \cdot R_{\text{п}}, \text{ В,}$$

где  $R_0, R_{\text{п}}$  – соответственно сопротивления заземления нейтрали и повторного заземления нулевого провода, причем  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ .

Повторное заземление нулевого провода снижает напряжение на корпусе в момент короткого замыкания, особенно при обрыве нулевого провода.

4. При обрыве нулевого провода и замыкании на корпус за местом обрыва напряжения корпусов относительно земли:

без повторного заземления нулевого провода для:

а) корпусов, подключенных к нулевому проводу за местом обрыва

$$U_1 = U_{\text{ф}}, \text{ В;}$$

б) корпусов подключенных к нулевому проводу перед местом обрыва

$$U_2 = 0;$$

с повторным заземлением нулевого провода для:

в) корпусов, подключенных к нулевому проводу за местом обрыва

$$U_1^I = U_{\text{ф}} \frac{R_{\text{п}}}{R_0 + R_{\text{п}}}, \text{ В;}$$

г) корпусов, подключенных к нулевому проводу перед местом обрыва

$$U_2^I = U_{\text{ф}} \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{п}}}, \text{ В.}$$

5. Ток через тело человека в указанных случаях будет определяться следующим образом:

$$\text{а) } I_1 = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{h}}}, \text{ А}$$

$$\text{б) } I_2 = 0,$$

$$\text{в) } I_1^I = \frac{U_1^I}{R_{\text{h}}}, \text{ А}$$

$$\text{г) } I_2^I = \frac{U_2^I}{R_{\text{h}}}, \text{ А,}$$

где  $R_{\text{h}}$  – сопротивление тела человека (обычно принимают  $R_{\text{h}} = 1000 \text{ Ом}$ ).

6. Напряжение на корпусе зануленного оборудования при случайном замыкании фазы на землю (без повторного заземления нулевого провода)

$$U_{\text{п.р.}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot R_0}{R_{\text{з.м.}} + R_0}, \text{ В,}$$

где  $R_0$  – сопротивление заземления нейтрали,  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ .

$R_{\text{з.м.}}$  – сопротивление в месте замыкания на землю фазового провода.

7. Сопротивление одиночного заземлителя, забитого в землю на глубину  $t$ , определяется по формуле:

$$R_{\text{од}} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{L} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right), \text{ Ом,}$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$  (сопротивление образца грунта объемом  $1 \text{ м}^3$ );

$L$  – длина трубы, м;

$d$  – диаметр трубы, м;

$t$  – расстояние от поверхности земли до середины трубы, м.

Необходимое число заземлителей при коэффициенте экранирования  $\eta_{\text{н}}$

$$n = \frac{R_{\text{од}}}{\eta_{\text{н}} \cdot R_0},$$

где  $R_{\text{од}}$  – требуемое сопротивление заземляющего устройства.

Исходные данные к задаче № 16

Таблица 16.1

	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_{\text{п}}, \text{ Ом}$	4	10	20	4	10	20	4	10	20	4
$Z_{\text{п}}, \text{ Ом}$	0,8	1,4	1,6	2	2,4	3,2	3,6	4,5	5	6,3
$Z_{\text{н}}, \text{ Ом}$	0,5	0,9	0,9	1	1,2	1,8	2,1	2,8	3,0	4,0
$R_{\text{з.м.}}, \text{ Ом}$	100	150	100	75	50	50	100	100	200	100
$L, \text{ м}$	4,0	6,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0
$d, \text{ м}$	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	0,07	0,03
$t, \text{ м}$	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5
$\eta_{\text{н}}$	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83
$U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ для всех вариантов										

Таблица 16.2

	Предпоследняя цифра номера студенческого билета					
	1,7	2,8	3,9	4,0	5	6
Вид грунта	песок влажный	сухой песок	суглинок	глина	чернозем	торф
$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{м}$	500	300	80	60	50	25

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные факторы, влияющие на поражение человека электрическим током.
2. Какие факторы влияют на сопротивление тела человека?
3. Виды поражения электрическим током.
4. Напряжение прикосновения. Шаговое напряжение. Охарактеризовать и пояснить технические средства защиты.
5. Защитное зануление. Область применения и принцип действия.
6. Назначение отдельных элементов защитного зануления.
7. Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники. Назначение и особенность эксплуатации в сетях.

Литература: [1; 7; 11; 12].

## Список литературы

1. Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды. - М.: Радио и связь, 1989.
2. Белов С.В. Охрана окружающей среды. - М. Высшая школа, 1991.
3. Стадницкий Г.В., Радионов А.И. Экология. - М. Высшая школа, 1988.
4. Березина Л.Н., Березин Д.В. Охрана окружающей среды. - Тольятти, ТПИ, 1991.
5. Рабек Я. Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике. Т. I, 2. - М.: Мир, 1985.
6. Денисенко Г.Ф. Охрана труда. - М.: Высшая школа, 1985.
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности.-Энергоиздат, 1984.
8. Думанский Ю.Д., Сердюк А.М., Лось И.П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. - Киев: Здоровье, 1975.
9. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. - М.: Радио и связь, 1991.
10. Сибаров Ю.Г., Сколотнев Н.Н., Васин В.К. и др. Охрана труда в вычислительных центрах. - М.: Машиностроение, 1990.
11. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.: Энергоиздат, 1984.
12. Долбилина Е.В., Костюк Е.В., Курбатов В.А. Методические указания для выполнения расчетной части раздела дипломных проектов "Экология и безопасность жизнедеятельности"/МТУСИ. - М., 1996.
13. Деминский В.А., Долбилина Е.В., Костюк Е.В., Курбатов В.А., Седов В.В. Сборник вопросов и задач по ЭиБЖ. Учебное пособие/МТУСИ. - М., 1999.

## СОДЕРЖАНИЕ

Задача № 1. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ В ВОДОЕМЫ .....	3
Задача № 2. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ .....	7
Задача № 3. РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ (УФ-ДИАПАЗОН) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ОЗОНОВОГО СЛОЯ .....	13
Задача № 4. РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ .....	15
Задача № 5. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ .....	22
Задача № 6. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ ИЗБЫТКАХ ТЕПЛА .....	31
Задача № 7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ .....	36
Задача № 8. РАСЧЕТ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ .....	39
Задача № 9. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ .....	42
Задача № 10. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (ВЛЭП) .....	45
Задача № II. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ .....	50

Задача № 12. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ УВЧ-ДИАПАЗОНА .....	54
Задача № 13. РАСЧЕТ ППМ СВЧ-ДИАПАЗОНА .....	57
Задача № 14. РАСЧЕТ ЗАЩИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАБОТЕ С СВЧ-ПЕРЕДАТЧИКОМ .....	61
Задача № 15. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ .....	65
Задача № 16. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ (аварийный режим) .....	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	73