

Министерство образования и науки Российской Федерации.
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.М. ПАРАХИН, Н.Я. ИЛЮШОВ

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2016

УДК 658.382.3(075.8)

П 18

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. *М.Д. Горбатенков*

канд. техн. наук, доц. *Ю.С. Щербаков*

Работа подготовлена на кафедре безопасности труда

Парахин А.М.

П 18

Производственная безопасность: учебное пособие / А.М. Парахин, Н.Я. Илюшов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 90 с.

ISBN 978-5-7782-2957-0

Пособие предназначено для проведения практических занятий со студентами, обучающимися по направлению 20.03.01 «Техноферная безопасность». Рассмотрены примеры решения задач по основным разделам курса «Безопасность жизнедеятельности», а также курсов «Пожарная безопасность», «Электробезопасность» и «Производственная санитария и гигиена труда». Может быть использовано студентами для курсового и дипломного проектирования.

УДК 658.382.3(075.8)

ISBN 978-5-7782-2957-0

© Парахин А.М., Илюшов Н.Я., 2016
© Новосибирский государственный
технический университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящего учебного пособия является оказание методической помощи при проведении практических занятий со студентами, обучающимися по направлению «Техносферная безопасность».

Задачи, приведенные в учебном пособии, могут быть использованы при изучении дисциплин «Пожарная безопасность», «Электробезопасность», «Производственная санитария и гигиена труда», а также «Безопасность жизнедеятельности».

Методики расчета взяты из различных литературных источников, указанных в библиографическом списке. Однако из-за отсутствия их в библиотечном фонде университета возникла необходимость написания данного учебного пособия с учетом дополнений из современных нормативных и литературных источников.

ЗАДАЧИ

Задача 1

Рассчитать методом коэффициента использования светового потока систему освещения помещения размером: длина A , ширина B , высота H .

Для общественных зданий рекомендуется использовать светильник ЛПО02 с рассеивателем (относится к группе б). Он имеет следующие характеристики: кривая силы света (КСС) косинусная, длина $l_{\text{св}} = 1296$ мм, высота $h_{\text{с}} = 100$ мм. Светильник потолочный, предназначенный для эксплуатации при нормальных условиях среды. Коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{П}}$, стен $\rho_{\text{С}}$, рабочей поверхности $\rho_{\text{РП}}$. Высота рабочей поверхности $h_{\text{р}} = 0,8$ м (для четного варианта $\rho_{\text{П}} = 50\%$, $\rho_{\text{С}} = 30\%$, $\rho_{\text{РП}} = 10\%$; для нечетного варианта $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$, $\rho_{\text{РП}} = 30\%$).

Разряд зрительной работы и исходные данные выбрать для заданного варианта по табл. 1. Для расчета необходимо выбрать минимальное значение освещенности в соответствии с требованиями СП52.13330.2011 (СНиП 23-05-95).

Т а б л и ц а 1

Исходные данные

Вариант	Габаритные размеры, м			Наименьший размер объекта различения, мм	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона
	Длина A	Ширина B	Высота H			
1	40	20	5	0,45	Средний	Средний
2	35	20	5	0,35	Малый	Средний
3	20	15	4	0,32	Большой	Темный
4	25	10	4	0,55	Средний	Светлый

Вариант	Габаритные размеры, м			Наименьший размер объекта различения, мм	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона
	Длина A	Ширина B	Высота H			
5	25	12	4	0,31	Средний	Средний
6	20	10	4	0,48	Средний	Средний
7	36	12	5	0,49	Большой	Средний
8	24	12	4	0,46	Средний	Светлый
9	30	12	5	0,46	Средний	Светлый
10	36	18	5	0,3	Средний	Светлый

Порядок выполнения задания

1. Ознакомиться с методикой расчета.
2. Определить разряд и подразряд зрительной работы, нормы освещенности на рабочем месте, используя данные варианта (табл. 1) и нормы освещенности (табл. 2).
3. Рассчитать число светильников. Распределить светильники общего освещения с люминесцентными лампами (ЛЛ) по площади производственного освещения.
4. Определить световой поток группы ламп в системе общего освещения, используя данные варианта.
5. Подобрать лампу по данным табл. 3 и проверить выполнение условия соответствия $\Phi_{\text{расч}}$ и $\Phi_{\text{табл}}$.
6. Определить мощность, потребляемую осветительной установкой.

Методика расчета (метод коэффициента использования светового потока)

Рассматриваемый метод применяется для расчета общего равномерного освещения в производственных, административных, конструкторских помещениях с использованием ЛЛ, ламп накаливания (ЛН) и др.

Коэффициент использования ϕ осветительной установки показывает, какая часть светового потока ламп падает на рабочую поверхность:

$$\varphi = \frac{\Phi_p}{n\Phi_{\text{л}}}, \quad (1)$$

где Φ_p – световой поток, падающий на рабочую поверхность; $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы; n – число светильников.

На основании этого определяется световой поток лампы, необходимый для обеспечения заданной освещенности.

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{ESZK_3}{n\varphi}, \quad (2)$$

где E – нормируемое значение освещения [лк] (определяется из табл. 2); n – количество ламп в установленных светильниках; K_3 – коэффициент запаса (для помещений с малой запыленностью, $K_3 = 1,5$); S – площадь рабочей поверхности [м^2]; Z – коэффициент минимальной освещенности или неравномерности освещения, равный отношению средней освещенности $E_{\text{ср}}$ к нормируемой минимальной $E_{\text{н}}$.

При рекомендуемых значениях $r = \frac{R}{h}$ принимается: для ЛН $Z = 1,15$; для ЛЛ, расположенных в линию, $Z = 1,1$.

Замечание: при определении $\Phi_{\text{л}}$ необходимо в формулу (2) подставить число ламп n , для этого число светильников $n_{\text{с}}$ умножается на количество ламп, установленных в светильнике.

Величина коэффициента использования зависит от типа светильников (их КПД и КСС), коэффициентов отражения стен $\rho_{\text{с}}$, потолка $\rho_{\text{п}}$, рабочей поверхности $\rho_{\text{рп}}$ и от показателя помещения i , учитывающего соотношение размеров помещения:

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (3)$$

где A и B – длина и ширина помещения; h – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_{\text{с}} - h_{\text{р}}, \quad (4)$$

где H – высота помещения; h_p – высота рабочей поверхности; h_c – высота светильника.

Зная тип светильника, определив показатель помещения i , выбрав $\rho_C, \rho_{П}, \rho_{РП}$, находим коэффициенты использования по табл. 4.

Рассчитав световой поток лампы, зная ее тип, выбираем мощность лампы так, чтобы световой поток выбранной лампы был равен расчетному или незначительно отличался от него в пределах $(-10...+20 \%)$. Это дает возможность определить установленную мощность осветительной установки.

Определяем высоту подвеса светильника по формуле (4).

Для светильников, расположенных в рядах, вдоль длинной стороны A , находим число рядов по ширине B .

Принимая для косинусной КСС рекомендуемые значения отношения расстояния между рядами R к высоте подвеса h :

$$r = \frac{R}{h} = 1,4,$$

находим расстояние между рядами светильников:

$$R = 1,4h.$$

Тогда число рядов определяется как

$$\Pi_p = \frac{B}{R}. \quad (5)$$

Рассчитаем световой поток ряда на основании формулы (2):

$$\Phi_p = \frac{E_H SZK_3}{\Pi_p \eta}, \quad (6)$$

где примем $K_3 = 1,5$; $Z = 1,1$ для ЛЛ при индивидуальной установке.

По табл. 4 определяем коэффициент использования η для группы 6 при соответствующих $i, \rho_C, \rho_{П}, \rho_{РП}$. После этого подставляем в формулу (6) найденные значения, получаем световой поток ряда Φ_p .

Выбираем лампу с соответствующим значением светового потока $\Phi_{л}$.

Таблица 2

СП 52.13330.2011 – Актуализированная редакция –
СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение

Характеристика зрительной работы	Наименьший эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк			
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения	
						Всего	В том числе от общего		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	
						5000	500	–	
						4500	500	–	
	Менее 0,15	I	б		Малый	Средний	4000	400	1250
							3500	400	1000
							2500	300	750
			в		Средний	Средний	2500	300	750
							2000	200	600
							1500	200	400
	г				Большой	Средний	1500	200	400
							1250	200	300
							4000	400	300
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	3500	400	300	
						3000	300	750	
						2500	300	600	
		б		Средний	Средний	Средний	3000	300	750
							2500	300	600
							2000	200	400

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Малый	Светлый	2000	200	500									
									Средний	Средний	2000	200	500									
									Большой	Темный	1500	200	400									
									Средний	Светлый	1000	200	300									
									Большой	Светлый	1000	200	300									
									Большой	Средний	750	200	200									
									Малый	Темный	2000	200	500									
									Средний	Средний	1500	200	400									
									Средний	Средний	1000	200	300									
									Средний	Средний	750	200	200									
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	в	Малый	Средний	750	200	200	Малый	Светлый	750	200	300									
									Средний	Средний	750	200	300									
									Большой	Темный	600	200	200									
									Средний	Светлый	400	200	200									
									Большой	Светлый												
									Большой	Средний												
									Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	Малый	Средний	500	200	200
																		Средний	Темный	400	200	200
																		Малый	Светлый			
																		Средний	Средний			

Окончание табл. 2

Характеристика зрительной работы	Наименьший эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк			
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения	
						Всего	В том числе от общего		
Малой точности	От 1 до 5	V	г	Средний	Светлый	-	-	200	
				Большой	Светлый				
				Большой	Средний				
		а	б	в	Малый	Темный	400	200	300
					Малый	Средний			
					Средний	Темный			
	г	г	г	Средний	Светлый	-	-	200	
				Большой	Средний				
				Большой	Средний				

Таблица 3

Светотехнические характеристики лампы накаливания, люминесцентных и ДРЛ

Лампы накаливания. Промышленный каталог 09.30.01–01		Люминесцентные лампы. Промышленный каталог 09.50.13–01						ДРЛ. Промыш- ленный каталог 09.51.02–01		
		ЛБ		ЛД		ЛДЦ				ЛХБ
Вт	Световой поток (U = 220 В), лм	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Мощность, Вт	ЛДЦ Световой поток, лм	ЛХБ Световой поток, лм	Мощность, Вт	Световой поток, лм
15	120	20	1060	20	880	20	850	30	50	1800
25	200	30	2020	30	1650	40	2200	40	80	3800
40	430	36	2800	36	2300	65	3180	60	125	6300
60	730	40	3000	40	2300	80	3800	80	250	13000
75	960	65	4600	65	3750				400	22000
100	1380	80	5200	80	4250				700	41000
150	3150								1000	59000
200	4800									
300	8400									
500	13100									
750	18800									

Таблица 4

**Коэффициенты использования светового потока η.
Светильники с люминесцентными лампами**

ρП, %	ρС, %	ρРП, %	Индекс помещения, <i>i</i>																
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3	3,5	4	5
			Коэффициент использования светового потока																
70	50	30	22	25	29	32	35	38	40	42	45	48	50	52	54	56	58	59	62
70	50	10	20	24	27	30	32	35	36	38	41	44	45	47	48	50	51	52	54
50	30	10	15	19	22	24	27	29	31	33	36	39	40	42	44	45	47	48	50

Примечание. Данные приведены для группы 6.

Определим световой поток светильника. Так как в светильнике две лампы ($n_{л} = 2$), то фактический световой поток светильника равен

$$\Phi_{сф} = n_{л} \Phi_{л}.$$

Расчетное количество светильников в ряду:

$$n_{ср} = \frac{\Phi_{р}}{\Phi_{сф}}.$$

Принимаем фактическое количество светильников в ряду $n_{сф} = n_{ср}$, округлив $n_{ср}$ до целого числа. Всего в помещении $N = \Pi_{р} n_{сф}$ светильников, а их фактическая длина $L_{ф} = n_{сф} l_{св}$.

Определим расстояние между светильниками в ряду.

Принимая расстояние по длине ряда от светильника до стены 0,6 м, получим длину разрыва между светильниками.

Отклонение фактического светового потока от расчетного:

$$\Delta\Phi = \frac{(n_{сф} \Phi_{сф} - \Phi_{р})}{\Phi_{р}} 100 \% . \quad (7)$$

Ошибка в расчете допускается от -10 до $+20$ %.

Установленная мощность светильников

$$P = n_{сф} P_{л} , \quad (8)$$

где $P_{л}$ – мощность лампы.

Задача 2

Рассчитать методом удельной мощности освещение помещения с размерами: A – длина, B – ширина, H – высота помещения. Выбран светильник ПВЛМ с двумя лампами, длина светильника $l_{\text{св}} = 1,33$ м; высота свеса $h_c = 0,2$ м; кривая силы света КСС – глубокая (относится к группе 1). Нормируемая освещенность выбирается по табл. 5 исходя из условий задачи. Высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м.

Таблица 5

Исходные данные

Вариант	A , м	B , м	H , м	E , лк
1	8	4	3,4	300
2	8	4	3,7	300
3	10	5	4	200
4	11	7	4	200
5	8	4	3,5	300
6	10	6	4	200
7	15	10	4	75
8	10	4	3,5	200
9	10	6	4	200
10	11	9	3,5	300

Методика расчета (метод удельной мощности)

Метод предназначен для проектирования систем освещения помещений при равномерном освещении, без учета затенений. Он считается приближенным методом определения мощности ламп в светильниках общего освещения по удельной мощности ω . Под удельной мощностью понимается отношение мощности всех источников света в помещении [Вт] к освещаемой площади [м^2]. Удельная мощность зависит от многих факторов, но, в общем, довольно устойчива для определенных групп помещений, что позволяет использовать значение ω для предварительного определения мощности ламп в светильнике.

При расчете освещения рекомендуется определять мощность ламп по таблице удельной мощности, учитывающей основные факторы

(площадь помещения, расчетную высоту, коэффициенты отражения потолка, стен, рабочей поверхности), влияющие на ее величину. Табл. 6 без сложных вычислений позволяет определить мощность всех ламп $P_{уст} = \omega S$, а после размещения светильников на плане и выяснения их числа n_c определить мощность одной лампы.

Если длина помещения A значительно превышает его ширину B ($A > 2,5B$), находится условная площадь $2B^2$, и по ней определяется ω , которое распространяется на всю площадь $A \times B$.

Порядок выполнения задания

1. Намечается число светильников в помещении (исходя из оптимального их расположения).
2. По справочным таблицам находится значение ω (табл. 6).
3. Определяется расчетная мощность одной лампы.
4. Выбирается ближайшая по мощности лампа.
5. Если мощность лампы значительно превышает расчетную, то снова по установленной мощности ωS пересчитываем n_c светильников.
6. При расчете люминесцентного освещения (после определения полной мощности) намечается число рядов и определяется количество светильников в ряду.
7. Рассчитываем площадь $S = A \times B$ и высоту подвеса:

$$h = H - h_c - h_p,$$

где $h_p = 0,8$ м – высота рабочей поверхности.

8. Находим оптимальное расстояние между рядами: с глубиной КСС принимаем $r = 1,4$, тогда

$$R = rh.$$

9. Определяем число рядов светильников по длинной стороне помещения:

$$n_p = \frac{B}{R}.$$

**Удельная мощность общего равномерного освещения
при освещенности 100 лк. Светильники с люминесцентными лампами***

h, м	S, м ²	Удельная мощность, Вт/м ² , для группы светильников и типов ламп															
		Группа 1			Группа 2			Группа 3			Группа 4						
		ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80				
2...3	10...15	8,8	10,3	11,6	9,6	10,9	12,5	12,4	14,5	8,8	10,3	11,6	9,6	10,9	12,5	12,4	14,5
	15...25	7,1	8,4	9,4	7,5	9,0	10,0	9,4	11,0	7,1	8,4	9,4	7,5	9,0	10,0	9,4	11,0
	25...50	5,7	6,7	8,7	6,1	7,2	8,1	6,1	7,4	5,7	6,7	8,7	6,1	7,2	8,1	7,4	8,9
3...4	10...15	12,6	14,5	16,3	14,2	18,4	21,0	17,7	19,8	12,6	14,5	16,3	14,2	18,4	21,0	17,7	19,8
	15...20	10,3	12,0	13,7	11,2	14,5	16,0	15,1	17,5	10,3	12,0	13,7	11,2	14,5	16,0	15,1	17,5
	20...30	8,7	10,1	11,5	9,5	10,8	12,5	11,9	14,2	8,7	10,1	11,5	9,5	10,8	12,5	11,9	14,2
30...50	7,2	8,3	9,5	7,6	8,9	10,0	9,3	10,9	7,2	8,3	9,5	7,6	8,9	10,0	9,3	10,9	

h, м	S, м ²	Удельная мощность, Вт/м ² , для группы светильников и типов ламп																																			
		Группа 5			Группа 6			Группа 7			Группа 8			Группа 9			Группа 10																				
		ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80	ЛБ40 ЛБ65	ЛХБ65 ЛБ80	ЛХБ80																		
2...3	10...15	10,1	11,6	9,7	8,1	9,7	9,1	10,9	8,8	10,5	9,1	11,9	8,5	9,6	8,0	8,1	9,5	7,5	8,9	7,8	10,3	8,5	9,6	8,0	8,1	9,5	7,9	6,7	7,5	6,6	8,7						
	15...25	8,5	9,6	8,0	6,8	8,0	6,7	6,7	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4						
	25...50	7,0	8,0	5,7	4,8	5,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5						
3...4	10...15	14,4	17,6	11,7	13,5	12,7	14,8	11,3	13,4	13,4	11,6	15,4	14,4	17,6	11,7	13,5	12,7	14,8	11,3	13,4	13,4	11,6	15,4	14,4	17,6	11,7	13,5	12,7	14,8	11,3	13,4	13,4	11,6	15,4			
	15...20	11,4	13,4	9,5	11,3	10,8	12,8	10,1	11,4	10,1	11,4	10,3	13,5	11,4	13,4	9,5	11,3	10,8	12,8	10,1	11,4	10,1	11,4	10,3	13,5	11,4	13,4	9,5	11,3	10,8	12,8	10,1	11,4	10,1	11,4	10,3	13,5
	20...30	9,9	11,4	7,9	9,4	9,1	10,9	8,8	10,5	9,0	10,5	9,0	11,8	9,9	11,4	7,9	9,4	9,1	10,9	8,8	10,5	9,0	10,5	9,0	11,8	9,9	11,4	7,9	9,4	9,1	10,9	8,8	10,5	9,0	10,5	9,0	11,8
30...50	10...15	8,3	9,6	6,7	8,0	8,0	9,4	7,5	8,9	7,5	8,9	7,7	10,3	8,3	9,6	6,7	8,0	8,0	9,4	7,5	8,9	7,5	8,9	7,7	10,3	8,3	9,6	6,7	8,0	8,0	9,4	7,5	8,9	7,7	10,3		
	15...20	6,8	7,8	5,5	6,6	6,5	7,7	6,3	7,4	6,3	7,4	6,4	8,5	6,8	7,8	5,5	6,6	6,5	7,7	6,3	7,4	6,3	7,4	6,4	8,5	6,8	7,8	5,5	6,6	6,5	7,7	6,3	7,4	6,4	8,5		
	20...30	5,7	6,8	4,8	5,7	5,5	6,5	5,5	6,5	5,5	6,5	5,5	6,5	5,7	6,8	4,8	5,7	5,5	6,5	5,5	6,5	5,5	6,5	5,5	6,5	5,7	6,8	4,8	5,7	5,5	6,5	5,5	6,5	5,5	6,5		

* Учтены значения $\rho_{п} = 50\%$, $\rho_{с} = 30\%$, $\rho_{р} = 10\%$; $K = 1,5$; $Z = 1,1$.

10. Светильники ПВЛП относятся к 4-й группе. Для светильников 4-й группы по табл. 6 находим, что при освещенности $E = 100$ лк удельная мощность составляет ω_T . Если нормируемая E_H отличается от 100 лк, то вводим коэффициент пересчета K , нормируемое значение удельной мощности:

$$\omega = K\omega_T, \quad (9)$$

где K – коэффициент, показывающий, во сколько раз нормируемое значение E_H отличается от $E = 100$ лк.

11. Выбираем по табл. 3 лампу мощностью P_{CB} .

12. Расчетное количество светильников:

$$n_c = \frac{\omega S}{P_{CB}}. \quad (10)$$

Округляем n_c до целого числа.

Определяем действительное значение удельной мощности:

$$\omega_{CB} = \frac{n_c P_{CB}}{S}. \quad (11)$$

Находим ошибку, отклонение действительного значения удельной мощности от нормируемого:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_{CB} - \omega}{\omega} 100\% \quad (12)$$

Ошибка должна находиться в допустимых пределах ($-10...+20\%$).

Находим установленную мощность светильников $P = n_c P_{CB}$.

Задача 3

В производственном помещении осуществляются изготовление (паяльные работы) и настройка радиоэлектронного оборудования (радиопередатчиков). За счет тепловыделений производственного оборудования могут иметь место значительные избытки тепла, удаление которых должна обеспечить система вентиляции. Следует найти объем воздуха, который необходимо удалить из помещения в течение часа.

Исходные данные

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество рабочих мест, на которых проводятся паяльные работы	13	15	10	12	16	11	14	9	15	10
Мощность паяльников, Вт	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60
Суммарная мощность осветительных установок, Вт	600	500	700	650	750	550	600	700	650	550
Количество оборудования, выдающего тепло и его мощность	2 1,5 кВт	3 1,2 кВт	5 1,0 кВт	4 1,5 кВт	3 2,0 кВт	5 1,5 кВт	4 1,0 кВт	5 1,5 кВт	4 1,0 кВт	4 1,5 кВт
Количество людей, работающих в помещении	20	22	18	21	23	20	25	17	21	19
Количество окон	2	3	2	3	4	3	4	2	3	2
Стороны света и широта	Вос-ток 55°	Юг 65°	Запад 55°	Север 45°	Север 55°	Вос-ток 45°	Юг 55°	Запад 45°	Вос-ток 55°	Юг 55°
Площадь окна, м ²	8	6	8	8	6	7	6	8	6	8

Методика расчета

При наличии теплоизбытков количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения в течение часа:

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{C \Delta t \gamma}, \quad (13)$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыточное тепло [ккал/ч]; C – теплоемкость воздуха $\left(0,24 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$; $\Delta t = t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}$ [$^\circ\text{C}$] ($t_{\text{вых}}$ – температура воздуха, удаляемого из помещения; $t_{\text{вх}}$ – температура воздуха, поступающего в помещение); $\gamma = 1,206 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – удельная масса приточного воздуха.

Величину Δt при расчетах выбирать в зависимости от теплонапряженности воздуха $Q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{V_{\text{п}}}$, где $V_{\text{п}}$ – объем помещения [м^3].

Если теплонапряженность воздуха $Q_{\text{н}} \leq 20 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$ (для нечетных вариантов), то принимают $\Delta t = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$, а при $Q_{\text{н}} > 20 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$ (для четных вариантов) $\Delta t = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Избыточное тепло определяется по формуле

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{об}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{р}} - Q_{\text{отд}} \left(\frac{\text{ккал}}{\text{ч}} \right), \quad (14)$$

где $Q_{\text{об}}$ – тепло, выделяемое производственным оборудованием; $Q_{\text{осв}}$ – тепло, выделяемое системой искусственного освещения помещения; $Q_{\text{л}}$ – тепло, выделяемое работающими людьми; $Q_{\text{р}}$ – тепло, выделяемое в помещение солнцем (солнечная радиация); $Q_{\text{отд}}$ – теплоотдача естественным путем (для теплого периода года при расчетах можно принять $Q_{\text{отд}} = 0$).

Тепло, выделяемое производственным оборудованием,

$$Q_{\text{об}} = 860 \cdot P_{\text{об}} \cdot \eta, \quad (15)$$

где 860 – тепловой эквивалент $\left[\frac{\text{кВт}}{\text{ч}} \right]$; $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием; η – коэффициент перехода тепла в помещение ($\eta = 0,75$).

Тепло, выделяемое осветительными установками,

$$Q_{\text{осв}} = 860P_{\text{осв}}\alpha \cos \varphi, \quad (16)$$

где $P_{\text{осв}}$ – мощность осветительных установок [кВт]; α – коэффициент перевода электрической энергии в тепловую (для ламп накаливания 0,92...0,97, для люминесцентных ламп 0,1...0,2); $\cos \varphi$ – коэффициент, равный 0,7...0,8.

Тепло, выделяемое людьми,

$$Q_{\text{л}} = K_{\text{л}}(q - q_{\text{исп}}), \quad (17)$$

где $K_{\text{л}}$ – количество работающих людей; $q - q_{\text{исп}}$ – тепло, выделяемое одним человеком $\left[\frac{\text{ккал}}{\text{ч}} \right]$; q – тепловыделение одного человека при данной категории работ (I, II, III) $\left[\frac{\text{ккал}}{\text{ч}} \right]$; $q_{\text{исп}}$ – тепло, затраченное на испарение пота с тела человека $\left[\frac{\text{ккал}}{\text{ч}} \right]$.

q и $q_{\text{исп}}$ определяются по графику (рис. 1), для работников, выполняющих паяльные работы – категория I, для остальных – категория II.

Тепло, вносимое солнечной радиацией,

$$Q_{\text{р}} = mFQ_{\text{ост}}, \quad (18)$$

где m – количество окон в помещении; F – площадь одного окна [м^2]; $Q_{\text{ост}}$ – количество тепла, вносимое за один час через остекленную поверхность площадью 1 м^2 (определяется по табл. 8) $\left[\frac{\text{ккал}}{\text{ч}} \right]$. Для нечетных вариантов окна с деревянными переплетами, для четных – с металлическими.

Таблица 8

Солнечная радиация через остекленную поверхность

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	35	45	55	35	45	55	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	60	
Окна с двойным остеклением с металлческими переплетами	140	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	70	
Фонарь с двойным вертикальным остеклением и металлческими переплетами	130	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

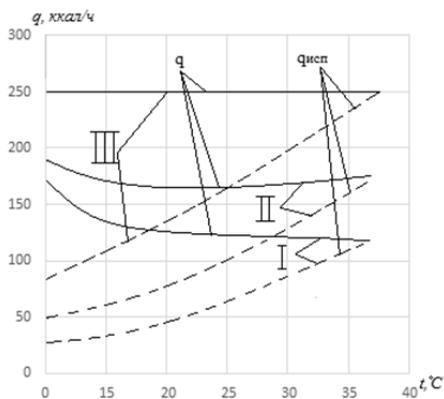


Рис. 1. График для определения тепловых выделений человека

Задача 4

При монтаже блоков радиоэлектронной аппаратуры широко применяются монтажные паечные операции, когда в качестве припоя используются легкоплавкие материалы, содержащие свинец. В этих

Таблица 9

Исходные данные

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка припоя	ПОС-61	ПОС-40	ПОСК-50	ПОС-61	ПОС-40	ПОСК-50	ПОС-61	ПОС-40	ПОСК-51	ПОС-61
Количество паек в час объемных элементов	25	20	25	30	13	15	21	17	23	25
Количество паек в час микросхем	20	18	10	15	20	30	25	30	19	18
Скорость всасывания, м/с	1,5	1,2	1,0	1,3	1,5	1,3	1,2	1,1	1,3	1,5

случаях каждое рабочее место должно быть оборудовано системой местной вытяжной вентиляции, конструкция и параметры которой зависят от количества выделяющихся при пайке паров свинца. Определить необходимые параметры системы местной вентиляции.

Методика расчета

Количество выделяющихся при пайке паров свинца определяется по формуле

$$K_c = p\Gamma RN, \quad (19)$$

где p – относительное количество содержания свинца в припое; Γ – относительное количество свинца, испаряющегося в воздух рабочей зоны при одной пайке; R – расход припоя на одну пайку; N – количество паяк в час.

Наиболее распространенными являются свинцово-оловянные припои. Для припоев ПОС-61 $p = 0,39$; ПОС-40 $p = 0,5$; ПОСК-50 $p = 0,32$.

При расчетах можно исходить из условия, что в воздух рабочей зоны испаряется 2...5 % свинца, т. е. $\Gamma = 0,02...0,05$. В первом приближении можно считать, что при электромонтаже объемных элементов на одну пайку расходуется 0,1 г припоя, а при монтаже микросхем – 0,05 г.

Количество воздуха, которое необходимо удалить из рабочей зоны,

$$L = \frac{K_c}{\text{ПДК}_c}, \quad (20)$$

где ПДК_c – предельно допустимая концентрация паров свинца (равная 0,01 мг/м³).

Площадь сечения приемного отверстия

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v}, \quad (21)$$

где v – скорость всасывания $\left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$.

Исходя из значения площади можно найти диаметр местного отсоса D .

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 компонент	Аэрозоли металлов	0,4...0,5
Промывание в бензине	Пары бензина	0,5...0,6
Окраска: Кистью, валиком и т. п.	Аэрозоли: Без ароматических углеводородов в лакокрасочном материале без бензола; с ароматическими углеводородами и без бензола;	0,5 1,2
Пульверизатором	Аэрозоли: Без ароматических углеводородов и свинцовых соединений в лакокрасочном материале со свинцовыми соединениями или ароматическими углеводородами (кроме бензола); с бензолом	1,0 1,3 1,7
В электрическом поле	Аэрозоли лакокрасочных материалов	0,3...0,5

Скоростной напор в вентиляционном канале ΔP кг/м² можно рассчитать, используя формулу

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\gamma_b}}, \quad (22)$$

где g – ускорение свободного падения ($g = 9,81$ м/с²); γ_b – удельная масса воздуха, кг/м³ $\left(\gamma_b = 1,206 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$.

Задача 5

На механическом участке находится $m = 3$ одинаковых единиц оборудования на расстоянии от расчетной точки r_1, r_2, r_3 . Вид оборудования выбирается по варианту и исходным данным (табл. 11 и 14). Наибольший размер оборудования $l = 2$ м. Размеры участка a, b, h . Уровни звуковой мощности оборудования и допустимый уровень звукового давления по октавным частотам приведены в табл. 14 и 15. Необходимо определить уровень шума в расчетной точке по октавным полосам частот и требуемое снижение уровня интенсивности звука.

Таблица 11

Исходные данные

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a, \text{ м}$	10	12	15	14	13	18	15	10	15	16
$b, \text{ м}$	8	10	8	10	9	10	10	10	11	9
$h, \text{ м}$	3,5	4,0	4,2	3,9	3,5	4,5	4,3	3,7	4,0	4,2
$r_1, \text{ м}$	8	7	10	11	10	15	13	11	12	15
$r_2, \text{ м}$	5	11	12	10	7	10	14	8	10	9
$r_3, \text{ м}$	9	8	7	7,5	8	12	9	7	8	12
Средне-геометрические частоты, Гц	63	125	250	500	63	125	250	500	63	125
	500	1000	2000	4000	500	1000	2000	4000	500	1000
	2000	4000	8000	8000	2000	4000	8000	8000	4000	8000

Методика расчета

Октавные уровни звукового давления в расчетных точках на рабочих местах в помещениях с одним источником шума [дБ]

$$L_P = L_W + 10 \lg \left(\chi \frac{\Phi}{S} + 4 \frac{\Psi}{B} \right), \quad (23)$$

где L_W – октавный уровень звуковой мощности источника шума [дБ];
 S – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической

формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку [м²];

$$S = \pi \cdot r^2, \quad (24)$$

где r – расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки (акустический центр источника шума есть проекция геометрического центра источника на горизонтальную плоскость пола); χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля для крупногабаритного оборудования, принимаемый в зависимости от отношения расстояния r к максимальному размеру l_{\max} источника шума по графику (рис. 3); Φ – фактор направленности источника шума (при равномерном распространении звука во всех направлениях $\Phi = 1$); Ψ – коэффициент, учитывающий нарушения диффузности звукового поля в помещении, принимаемый по графику (рис. 2) в зависимости от отношения постоянной помещения B к площади ограждающих поверхностей $S_{\text{огр}}$; B – постоянная помещения в октавных полосах частот [м²];

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \quad (25)$$

где B_{1000} – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц [м²] (табл.12); μ – частотный множитель (табл. 13).

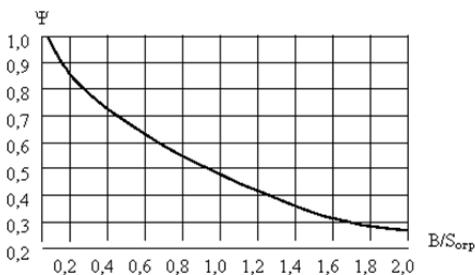


Рис. 2. График для определения коэффициента Ψ

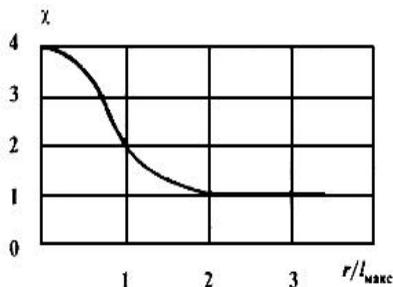


Рис. 3. График для определения $\chi = f(r/l_{\max})$

Таблица 12

**Значения постоянной помещения V_{1000}
на среднегеометрической частоте 1 кГц**

Тип помещения	Описание помещения	Постоянная помещения V_{1000} , м ²
1	С небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, вентиляционные камеры, генераторные, машинные залы, испытательные стенды и т. п.)	$\frac{V}{20}$
2	С жесткой и мягкой мебелью и большим количеством людей (ткацкие или деревообрабатывающие цехи, кабинеты и т. п.)	$\frac{V}{10}$
3	С небольшим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения зданий управлений, залы конструкторских бюро)	$\frac{V}{6}$

Таблица 13

Значение частотного множителя μ

Объем помещения, м ³	Частотный множитель μ на среднегеометрических частотах октавных полос							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Менее 200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
200...1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
Более 1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Если все источники шума m имеют одинаковые уровни звуковой мощности, то ожидаемые октавные уровни звукового давления в расчетной точке определяют по формуле

$$L_p = L_W + 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \left(\frac{\chi_i}{S_i} + 4 \frac{\Psi}{B} \right) \right), \quad (26)$$

где L_W – октавный уровень звуковой мощности, излучаемый одним источником шума [дБ].

Требуемое снижение уровней звукового давления [дБ]

$$\Delta L_{\text{треб}} = L_p - L_{\text{доп}}, \quad (27)$$

где L_p – уровень звукового давления в расчетной точке; $L_{\text{доп}}$ – предельно допустимый уровень звукового давления, принимаемый по табл. 15.

Таблица 14

Шумовые характеристики технологического оборудования в машиностроении

Оборудование	Уровень звуковой мощности, дБ, на среднегеометрических частотах в октавных полосах, Гц								Корректированный уровень звукового давления, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Станки токарные комбинированные	77	81	85	91	88	86	84	79	95
2. Станки токарно-центровые	70	77	76	80	78	80	75	82	82
3. Станки вертикально сверлильные настольные (диаметром сверления до 12 мм)	100	93	87	84	81	79	77	75	87
4. Станки вертикально-сверлильные (диаметром сверления до 18 мм и более)	112	106	102	99	97	96	93	92	102
5. Станки координатно-расточные	76	81	84	87	87	87	79	78	90
6. Станки круглошлифовальные	81	82	85	86	87	82	81	79	91
7. Станки фрезерные	87	89	93	97	96	93	84	77	100
8. Станки вертикально-фрезерные	80	79	82	88	92	90	87	75	95
9. Станки строгальные	95	98	101	104	106	104	102	98	109
10. Станки гайконарезные	81	85	96	92	91	89	87	78	96

**Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий
и на территории жилой застройки**

Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровень звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000		8000
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинатах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных выше и аналогичных) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Задача 6

Определить уровень шума в лаборатории, создаваемый при работе нескольких одинаковых вентиляторов, размещенных в вентиляционной камере, отделенной от лаборатории кирпичной стеной.

Методика расчета

Уровень шума от одного вентилятора рассчитывается по формуле

$$L_{pi} = 10 \lg Q + 5\gamma(\lg H - 1) - 30 \lg(f) + 140, \quad (28)$$

где Q – производительность вентилятора [$\text{м}^3/\text{ч}$]; H – давление, развиваемое вентилятором [Па]; f – среднегеометрическая частота полосы [Гц]; γ – безразмерный эмпирический коэффициент (табл. 16).

Таблица 16

Значения коэффициента γ

$f_{\text{ср}}$	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
γ	0,4	0,6	1,6	2,5	3,5	4	4,5	5

Уровень шума, создаваемый несколькими источниками, можно рассчитать по формуле

$$L_n = L_{pi} + 10 \lg(n), \quad (29)$$

где L_{pi} – уровень шума одного вентилятора; n – количество источников шума.

Уровень шума в лаборатории в каждой для октавных полос рассчитывается по формуле

$$L_{\text{лаб } j} = L_{n,j} - R_j, \quad (30)$$

где $L_{n,j}$ – уровень шума всех вентиляторов в j -й октавной полосе [дБ]; R_j – уровень звукоизоляции однослойной стены в j -й октавной полосе (табл. 17).

Рассчитанные уровни шума в октавных полосах необходимо сравнить с допустимыми (табл. 18).

Таблица 17

Звукоизолирующая способность стен однослойной конструкции

Материал конструкции	Толщина материала, мм	Среднегеометрические частоты, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кирпичная кладка	125	36	41	44	51	58	64	65	65
	250	45	45	52	59	65	70	70	70
Железобетонная плита	50	28	34	35	35	41	48	55	55
	100	34	40	40	44	50	55	60	60
	200	40	42	44	51	59	65	65	65
	300	44	45	50	58	65	69	69	69
	400	45	48	55	61	68	70	70	70
Гипсбетонная плита	80	25	28	33	37	39	44	44	40
	95	30	32	37	37	42	48	53	50
Керамзит	80	30	33	34	39	47	52	54	52
	120	28	32	37	39	47	54	52	50
Газобетон	240	33	39	42	51	56	54	52	50
Пемзобетон	130	33	37	34	46	50	60	65	60
Шлакобетонная плита	140	25	30	41	45	49	51	51	45
	250	25	28	31	45	52	59	64	64

Таблица 18

Допустимые уровни шума в лаборатории

Допустимые уровни шума, дБ	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	79	70	63	58	55	52	50	49

Порядок выполнения задания

1. По формуле (28) определить уровень шума, создаваемый одним вентилятором в каждой октавной полосе (табл. 17).
2. По формуле (29) рассчитать уровень шума от заданного в исходных данных количества вентиляторов.
3. С учетом звукоизолирующей способности стен (табл. 17) по формуле (30) рассчитать уровень шума в лаборатории в каждой октавной полосе.

4. Полученные уровни шума сравнить с допустимыми (табл. 18) и сделать выводы об эффективности звукоизоляции в каждом октавном диапазоне.

Таблица 19

Исходные данные

№	Материал стены	Толщина стены, мм	Количество вентиляторов	Производительность вентиляторов, м ³ /час	Развиваемое вентилятором давление, Па
1	Кирпич	125	4	1500	100
2	Кирпич	250	5	2000	60
3	Железобетон	50	6	2500	40
4	Железобетон	100	3	3000	50
5	Железобетон	200	7	2500	60
6	Железобетон	300	8	2000	70
7	Железобетон	400	4	1500	80
8	Гипсобетон	80	5	3000	90
9	Гипсобетон	95	6	4000	100
10	Керамзит	80	3	5000	120
11	Керамзит	120	4	3500	130
12	Газобетон	240	5	4500	50
13	Пемзобетон	130	8	5500	60
14	Шлакобетон	140	7	1000	70
15	Шлакобетон	250	6	1500	80
16	Гипсобетон	95	5	2000	90
17	Керамзит	120	4	2500	100
18	Шлакобетон	250	7	3000	40
19	Газобетон	240	6	3500	50
20	Железобетон	100	4	4000	150

Задача 7

Рассчитать виброизоляцию железобетонной виброгасящей плиты с расположенным на ней рабочим местом оператора мощного вибростенда. Испытания проводятся при гармонических колебаниях, имеющих частоту f [Гц] и амплитуду A [м]. Масса плиты составляет M [кг]. Динамическая сила, возбуждающая систему, 50 Н.

Исходные данные

Номер варианта	M , кг	f , Гц	$A \cdot 10^{-3}$ м
1	220	50	0,195
2	300	63	0,15
3	200	80	0,05
4	220	90	0,01
5	300	50	0,195
6	200	63	0,15
7	220	80	0,05
8	300	90	0,01
9	200	40	0,3
10	220	45	0,4

Методика расчета

1. По табл. 21 находим допустимое значение амплитуды перемещения при гармонических колебаниях с частотой f [Гц]. Принимая коэффициент запаса равным 3, получим допустимое значение амплитуды смещения.

Таблица 21

Допустимое значение амплитуды перемещения

Частота, Гц	1,4	1,6	2	2,5	2,8	3,2	4,0
Амплитуда перемещения, $A \cdot 10^{-3}$ м	3,11	2,22	1,28	0,73	0,61	0,44	0,28
Частота, Гц	8,0	10	12,5	16	20	22,4	25
Амплитуда перемещения, $A \cdot 10^{-3}$ м	0,056	0,045	0,036	0,028	0,0225	0,02	0,018
Частота, Гц	31,5	40	45	50	63	80	90
Амплитуда перемещения, $A \cdot 10^{-3}$ м	0,014	0,013	0,01	0,009	0,0072	0,0056	0,005

Примечание. Значения амплитуд перемещения даны для случая гармонических колебаний.

2. Определяем значение коэффициентов передачи вибраций:

$$\text{КП} = \frac{A_{\text{норм}}}{A_{\text{осн}}} = \frac{1}{(f/f_0)^2 - 1}, \quad (31)$$

где f_0 – собственная частота виброизолируемого рабочего места, включая оператора, опорную плиту и виброизоляторы.

3. Соответствующее значение собственных вертикальных колебаний опорной плиты составит

$$f_0 = \frac{F}{\sqrt{\frac{1}{\text{КП}} + 1}}, \quad (32)$$

где F – динамическая сила, возбуждающая систему [Н] ($F = F_0 / \text{КП}$, F_0 – динамическая сила, передаваемая на основание через виброизоляторы [Н]).

4. Вычисляем суммарную жесткость виброизоляторов $q_{z\Sigma}$ в вертикальном направлении с учетом массы плиты и оператора на ней (массу оператора принимаем равной 80 кг, а массой рабочего места пренебрегаем) [Н/м]:

$$q_{z\Sigma} = \frac{M_{z\Sigma} \cdot g}{x_{\text{ст}}}, \quad (33)$$

где $M_{z\Sigma} = M + m + m_{\text{об}}$ – суммарная масса плиты, оператора и оборудования [кг]; g – ускорение свободного падения [$\text{м}/\text{с}^2$]; $x_{\text{ст}}$ – статическая осадка, $X_{\text{ст}} = g / (2\pi f_0)^2$.

5. Определяем вертикальную жесткость q_{z1} одного виброизолятора, принимая общее число пружин N , равное 8 (по 2 на каждый угол опорной плиты) [Н/м]:

$$q_{z1} = \frac{q_{z\Sigma}}{N}. \quad (34)$$

6. Находим расчетную нагрузку на одну пружину с учетом возможности неравномерного распределения нагрузки на пружины при перемещении оператора:

$$P_1 = \frac{M \cdot g}{N} + 1,5 \frac{m \cdot g}{n}, \quad (35)$$

где n – минимальное число пружин, воспринимающих массу оператора при работе (масса тела человека в худшем случае распределяется в процессе работы на две пружины, т. е. $n = 2$).

7. Определяем геометрические размеры пружины виброизоляторов:

а) диаметр прутка пружины

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{K \cdot P_1 \cdot c}{[\tau]}}, \quad (36)$$

где $c = D/d$ – индекс пружины, принимаем равным от 4 до 10, D – диаметр пружины; $\tau = 4,41 \cdot 10^8$ – допустимое напряжение материала пружины (сталь) на срезе [Н/м²]; K – коэффициент деформации пружины (определяется по рис. 4);

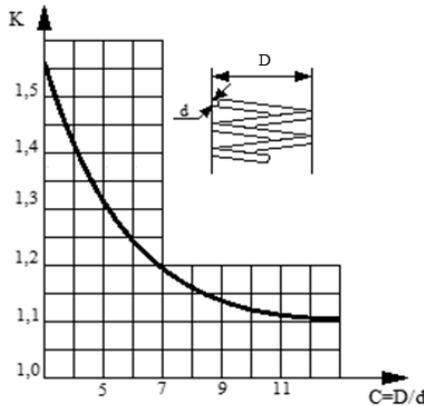


Рис. 4. График для определения коэффициента деформации пружины K

б) диаметр пружины $D = c \cdot d$;

в) число рабочих витков

$$i_1 = \frac{Gd}{8q_{z1} \cdot c^3}, \quad (37)$$

где G – модуль сдвига для стали ($G = 7,85 \cdot 10^{10}$ Н/м²);

г) полное число витков пружины $i_{\Sigma} = i_1 + i_2$;

е) высота ненагруженной пружины $H_0 = i_{\Sigma} h(i_2 + 0,5)d$. При расчете пружин, работающих на сжатие, отношение высоты нагруженной пружины к ее диаметру должно быть не более двух. В противном случае возникает опасность потери устойчивости виброизолированной системой.

Проверяем выполнение требования

$$\frac{H_0}{D} < 2,0. \quad (38)$$

Если условие не выполняется, то необходимо изменить диаметр пружины и повторить расчет.

Задача 8

В соответствии с Федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» рассчитать по данным радиационной разведки прогнозируемые дозы ионизирующего внешнего облучения населения при аварии ядерной энергетической установки (ЯЭУ), сделать вывод о необходимости срочного вмешательства. Исходные данные приведены в табл. 22.

Методика расчета

Прогнозируемые (экспозиционные) дозы облучения X определяются по формуле

$$X = \frac{1,7(P_k t_k - P_n t_n)}{K_{\text{заш(осл)}}} [P], \quad (39)$$

где P_n и P_k – уровни радиации на начало и окончание работы людей на зараженной местности [P/ч]; t_n и t_k – относительное (после аварии) время начала и окончания работы людей на зараженной местности [ч, доли часов]; $K_{\text{заш}}$ – коэффициент защиты облучения.

Уровень радиации на местности на время t определяется по формуле

$$P_t = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-0,4} \left[\frac{P}{\text{ч}} \right], \quad (40)$$

где P_t – уровень радиации на время t (после аварии) [Р/ч]; P_0 – измеренный (разведкой) уровень радиации на время t_0 [Р/ч]; t, t_0 – относительное (после аварии) время, на которое необходимо рассчитать уровень радиации и время измерения уровня радиации [ч, доли часов].

Прогнозируемую поглощенную дозу [Грей] при облучении всего тела можно рассчитать по формуле

$$D = 0,95 \cdot X \cdot 10^{-2}, \text{ Грей} . \quad (41)$$

Если предполагаемая доза излучения за короткий срок (двое суток) достигает уровней, при превышении которых возможны детерминированные эффекты (табл. 23), необходимо срочное вмешательство (меры защиты).

Т а б л и ц а 22

Исходные данные

Вариант	Данные радиационной разведки		Время начала облучения, ч, мин	Продолжительность облучения, ч, мин	$K_{\text{защ}}$
	Время аварии ч, мин	Время измерения и уровни радиации на местности, $P_0, P/\text{ч}$			
1	6,00	7,00	8,00	4,00	1
2	6,15	7,00	8,30	5,00	3
3	6,30	7,30	9,00	6,00	5
4	6,45	8,00	9,30	7,00	7
5	7,00	8,30	10,00	4,30	9
6	7,15	8,30	10,30	5,30	2
7	7,30	9,00	11,00	6,30	4
8	7,45	9,00–5	11,30	7,30	6
9	8,00	10,00–8	12,00	2,00	8
10	8,15	10,00–7	12,30	3,00	1
11	8,30	10,30–8	13,00	2,30	3
12	8,45	11,00–10	13,30	3,30	5
13	9,00	11,00–9	14,00	8,00	7
14	9,15	11,30–10	14,40	8,30	9
15	9,30	12,00–6	15,00	9,00	2
16	9,45	12,15–6	15,30	10,00	4

Вариант	Данные радиационной разведки		Время начала облучения, ч, мин	Продолжительность облучения, ч, мин	$K_{\text{защ}}$
	Время аварии ч, мин	Время измерения и уровни радиации на местности, $P_0, P/\text{ч}$			
17	10,00	12,30–11	16,00	11,00	6
18	10,15	12,30–10	16,30	12,00	8
19	10,30	12,30–8	17,00	13,00	1
20	10,45	13,00–5	17,30	14,00	2

Порядок выполнения задания

1. С помощью исходных данных определить относительное к времени аварии время замера уровня радиации t_0 , относительное время начала выполнения работ в зоне $t_{\text{н}}$ и относительное время окончания работ $t_{\text{к}}$.

2. По формуле (40) определить уровни радиации на местности в момент начала и окончания работ в зараженной зоне.

3. По формуле (39) определить расчетную дозу облучения.

4. По формуле (41) определить поглощенную дозу.

5. Сравнить полученное значение с данными табл. 23 и сделать вывод о необходимости срочного вмешательства для спасения облученного.

Таблица 23

Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство

Орган или ткань	Поглощенная за двое суток доза, Грей
Все тело	1
Легкое	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

Задача 9

Источниками рентгеновского излучения являются не только установки рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа, но и многие высоковольтные приборы, например, электронные лампы, установки для плавления, катодно-лучевые осциллографы и пр. Требуется рассчитать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения, испускаемого анодом многорезонансного пролетного клистрона малой и средней мощности, а также толщину свинцового экрана для защиты от данного излучения.

Методика расчета

Мощность экспозиционной дозы W_3 (Р/с) рассчитывается по формуле

$$W_3 = \frac{\mu_a W}{0,114}, \quad (42)$$

где μ_a – коэффициент истинного поглощения рентгеновского излучения при максимальном пульсирующем напряжении [см^{-1}] (табл. 25); W – интенсивность излучения [$\text{Вт}/\text{см}^2$].

Интенсивность излучения W можно определить по формуле

$$W = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}, \quad (43)$$

где P – мощность излучения, создаваемая источниками рентгеновского излучения [Вт]; r – расстояние от источника рентгеновского излучения до объекта [м].

Мощность клистрона P рассчитывается по формуле

$$P = k_1 k_2 U^n I Z, \quad (44)$$

где k_1 – коэффициент, характеризующий вероятность торможения электронов в электрическом поле ядра, принимаемый равным $3 \cdot 10^6 - 10^7$; k_2 – коэффициент, учитывающий изменение электрического поля во времени, равный 1 при постоянном напряжении и $k_2 = Q^{-1,5}$ при им-

пульсном напряжении; Q – скважность, т. е. отношение периода повторения импульсов к длительности импульса; U – анодное напряжение [кВ]; n – коэффициент, равный 1,72...2; I – анодный ток [мА]; Z – порядковый (атомный) номер химического элемента материала анода (для меди равен 29).

Рентгеновское излучение анода клистрона в первую очередь ослабляет корпус клистрона, имеющий коэффициент ослабления L . Поэтому фактическая мощность излучения уменьшается в L раз:

$$P_{\phi} = \frac{P}{L}. \quad (45)$$

Если мощность экспозиционной дозы от источника рентгеновского излучения превышает допустимую (0,28 мР/час или 0,08 мкР/с), необходимо рассчитать толщину защитного экрана от рентгеновского излучения. Наилучшими защитными свойствами от излучения обладает свинец (табл. 3). Исходную толщину свинцового экрана выбирают в зависимости от необходимой кратности ослабления излучения, рассчитываемой по формуле

$$k = \frac{W_{\text{э}}}{W_{\text{доп}}}, \quad (46)$$

где $W_{\text{э}}$ – рассчитанная мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения [мкР/с]; $W_{\text{доп}}$ – допустимая мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения, равная 0,08 мкР/с.

Т а б л и ц а 24

Исходные данные

№	U , кВ	I , мА	Q	L	r , м
1	30	5	800	20	0,3
2	40	10	900	30	0,5
3	50	15	1000	40	0,7
4	60	20	1500	30	0,8
5	70	25	2000	35	0,9
6	60	30	2500	45	1,0
7	70	35	3000	50	1,2
8	80	40	3500	55	1,5

№	U , кВ	I , мА	Q	L	r , м
9	90	50	4000	60	1,7
10	30	10	4500	70	2,0
11	60	2	100	10	0,3
12	20	4	150	15	0,35
13	30	8	200	20	0,4
14	40	10	250	25	0,2
15	50	12	350	30	0,3
16	60	14	400	35	0,5
17	70	16	500	40	0,6
18	80	18	600	45	0,2
19	90	20	700	50	0,7
20	110	300	750	100	2,5

Порядок выполнения задания

1. По заданной в варианте скважности рассчитать коэффициент k_2 и выбрать коэффициент k_1 .
2. По формуле (44) рассчитать мощность рентгеновского излучения анода клистрона.
3. Учитывая коэффициент ослабления L , по формуле (45) рассчитать фактическую мощность рентгеновского излучения клистрона.
4. По формуле (42) рассчитать интенсивность излучения на заданном расстоянии.
5. По заданному анодному напряжению определить энергию квантов рентгеновского излучения $h\nu$ ($1 \text{ В} = 1 \text{ эВ}$).
6. Из табл. 25 в зависимости от определенной энергии квантов выбрать коэффициент истинного поглощения рентгеновского излучения при максимальном пульсирующем напряжении μ_a .
7. По формуле (42) рассчитать мощность экспозиционной дозы.
8. Если мощность экспозиционной дозы превышает значение $0,08 \text{ мР/с}$, по формуле (46) рассчитать необходимую кратность ослабления излучения k .
9. В зависимости от значения k и анодного напряжения клистрона из табл. 26 выбрать толщину защитного слоя свинца.

Таблица 25

**Значения коэффициента μ_a в зависимости от значения энергии
квантов рентгеновского излучения**

Энергия квантов рентгеновского излучения $h\nu$, МэВ	Коэффициент истинного поглощения μ_a (для воздуха) рентгеновского излучения, см^{-1}
0,03	$1,80 \cdot 10^{-6}$
0,04	$7,96 \cdot 10^{-5}$
0,05	$4,86 \cdot 10^{-5}$
0,06	$3,70 \cdot 10^{-5}$
0,08	$3,95 \cdot 10^{-5}$
0,1	$3,00 \cdot 10^{-5}$
0,15	$3,23 \cdot 10^{-5}$
0,2	$3,47 \cdot 10^{-5}$
0,3	$3,72 \cdot 10^{-5}$
0,4	$3,80 \cdot 10^{-5}$
0,5	$3,80 \cdot 10^{-5}$
0,6	$3,78 \cdot 10^{-5}$
0,8	$3,75 \cdot 10^{-5}$
1,0	$3,68 \cdot 10^{-5}$

Таблица 26

**Толщина защитного слоя свинца (мм) для ослабления рентгеновского
излучения высоковольтных электронных приборов**

Кратность ослабления k	Напряжение на аноде электронного прибора, кВ						
	30	40	50	60	70	80	90
2						0,2	0,2
5				0,1	0,1	0,4	0,4
10			0,1	0,2	0,2	0,5	0,6
20		0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,8
50		0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,1
100		0,2	0,2	0,4	0,5	1,0	1,3
200		0,2	0,3	0,5	0,6	1,2	1,5
500		0,2	0,4	0,6	0,8	1,4	1,7
1000	0,1	0,3	0,4	0,7	1,0	1,6	1,9

Кратность ослабления k	Напряжение на аноде электронного прибора, кВ						
	30	40	50	60	70	80	90
2000	0,2	0,3	0,5	0,8	1,1	1,7	2,1
5000	0,2	0,3	0,6	0,9	1,3	1,8	2,4
10000	0,2	0,4	0,6	1,1	1,5	2,1	2,7
20000	0,2	0,4	0,7	1,2	1,6	2,3	2,9
50000	0,2	0,4	0,7	1,3	1,8	2,5	3,2
100000	0,2	0,5	0,8	1,4	2,0	2,7	3,5
200000	0,3	0,5	0,9	1,5	2,1	2,8	3,7
500000	0,3	0,5	0,9	1,6	2,3	3,0	4,0
1000000	0,3	0,6	1,0	1,7	2,5	3,2	4,3
2000000	0,3	0,6	1,0	1,8	2,6	3,4	4,6
5000000	0,3	0,6	1,1	2,0	2,8	3,6	4,9

Задача 10

Рассчитать толщину защитного корпуса источника электромагнитных излучений, например, радиопередатчика.

Толщина защитного корпуса δ (м), обеспечивающая ослабление электромагнитного излучения до допустимого уровня, рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{|L|}{15,4 \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}}, \quad (47)$$

где L – уровень ослабления мощности потока энергии радиоволн [дБ]; f – частота электромагнитных волн [Гц]; μ – магнитная проницаемость материала корпуса [Гн/м] (табл. 28); σ – проводимость материала [См/м] (табл. 28).

Необходимое ослабление мощности потока энергии радиоволн L [дБ] определяется по выражению

$$L = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\text{доп}}}, \quad (48)$$

где W_{\max} – максимальная плотность потока энергии источника ЭМИ [мкВт/см²]; $W_{\text{доп}}$ – допустимая плотность потока энергии электромагнитного излучения, принимаемая 25 мкВт/см².

Максимальная плотность потока энергии W_{\max} (мкВт/см²) источника ЭМИ рассчитывается по формуле

$$W_{\max} = \frac{PG}{4\pi r^2}, \quad (49)$$

где P – мощность передатчика [кВт]; G – коэффициент усиления антенны; r – расстояние от источника ЭМИ [м].

Т а б л и ц а 27

Исходные данные

№	P , кВт	f , кГц	G	Материал	r , м
1	10	150	10	Железо	0,10
2	20	300	15	Медь	0,15
3	30	400	20	Алюминий	0,20
4	40	550	15	Никель	0,25
5	50	1000	10	Серебро	0,30
6	60	1500	15	Стекло	0,35
7	70	7500	20	Эбонит	0,40
8	80	9500	15	Железо	0,45
9	90	12000	10	Медь	0,50
10	100	13500	15	Алюминий	0,55
11	110	15500	20	Никель	0,60
12	120	17500	15	Серебро	0,65
13	130	21500	10	Стекло	0,70
14	140	26000	15	Эбонит	0,75
15	150	70000	20	Железо	0,80
16	160	90000	15	Медь	0,85
17	170	95000	10	Алюминий	0,90
18	180	100000	15	Никель	0,95
19	190	105000	20	Серебро	1,00
20	200	108000	15	Эбонит	0,50

Порядок выполнения задания

1. Выбрав по номеру варианта из табл. 27 исходные данные по формуле (49), рассчитать максимальную плотность потока энергии W_{\max} .

2. По формуле (50) рассчитать необходимое ослабление мощности потока радиоволн.

Необходимое ослабление мощности потока энергии радиоволн L (дБ) определяется по выражению

$$L = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\text{доп}}} . \quad (50)$$

Толщина защитного корпуса δ [м], обеспечивающая данное ослабление электромагнитного излучения, рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{|L|}{15,4 \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}} ,$$

где f – частота электромагнитных волн [Гц]; μ – магнитная проницаемость материала корпуса [Гн/м] (табл. 28); σ – проводимость материала [См/м] (табл. 28).

Таблица 28

Магнитная проницаемость и электропроводность некоторых материалов

Материал	μ	σ
Железо	~1000	$1,03 \cdot 10^7$
Медь	0,999912	$5,8 \cdot 10^7$
Алюминий	1,000023	$3,82 \cdot 10^7$
Серебро	0,999981	$6,25 \cdot 10^7$
Эбонит	1,000014	10^{-12}
Стекло	0,999987	10^{-11}
Никель	~50	$1,33 \cdot 10^7$

Задача 11

Одним из источников элетромагнитных излучений промышленной частоты являются высоковольтные линии электропередач. Напряженность электрической составляющей электромагнитного излучения E трехфазной воздушной ЛЭП на расстоянии r от ближайшего провода можно определить из выражения

$$E = \frac{Uk}{r \ln \left(1,26 \frac{l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр.э}}} \right)} \left(\frac{\text{кВ}}{\text{м}} \right), \quad (51)$$

где U – эффективное значение фазного напряжения [кВ]; k – коэффициент, учитывающий высоту подвеса проводов $H_{\text{пр}}$, расстояние между фазными проводами $B_{\text{пр}}$ и расстояние от проводов до точки, в которой определяется напряженность E ($k = 0,8 \dots 1$); r – кратчайшее расстояние от провода до точки, где определяется напряженность E [м]; $r_{\text{пр.э}}$ – эквивалентный радиус провода [м]; $l_{\text{пр}}$ – расстояние между фазными проводами [м].

Для устранения появления протяженного коронного разряда на проводах в ЛЭП применяют так называемые расщепленные провода, когда вместо одного фазного провода большого сечения подвешиваются несколько скрепленных между собой проводов меньшего сечения. Обычно в каждой фазе ВЛ напряжением до 220 кВ подвешивается по одному проводу, в ВЛ 330 кВ – два провода, в ВЛ 550 кВ – три провода, в ВЛ 750 кВ – четыре-пять проводов, в ВЛ 1150 кВ – восемь проводов. В этом случае эквивалентный радиус провода $r_{\text{пр.э}}$ рассчитывается по формуле

$$r_{\text{пр.э}} = P \cdot \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \cdot \alpha_p^{n-1}}, \quad (52)$$

где P – поправочный коэффициент, зависящий от числа проводов. При $n = 3$ поправочный коэффициент $P = 1$, а при $n = 4$ $P = 1,09$; n – число проводов в фазе; $r_{\text{пр}}$ – радиус провода [м] (табл. 29); α_p – расстояние между проводами, обычно принимаемое равным 0,4...0,6 м.

Минимальное расстояние между фазными проводами $l_{\text{пр}}$ на воздушных линиях свыше 35 кВ рассчитывается по формуле

$$l_{\text{пр}} = 1,0 + \frac{U}{110} + 0,6\sqrt{f}, \quad (53)$$

где U – напряжение ВЛ [кВ]; f – наибольшая стрела провеса провода, соответствующая габаритному пролету ВЛ [м].

Т а б л и ц а 28

Исходные данные

№	U , кВ	Марка провода	f , м	r , м
1	550	АС240	6	50
2	550	АС300	8	60
3	550	А500	10	70
4	550	АС400	4	80
5	550	А350	6	90
6	550	А500	8	100
7	550	АС400	10	120
8	550	А350	4	30
9	550	А500	6	40
10	750	АС300	8	30
11	750	АС400	10	40
12	750	А500	4	50
13	750	А350	6	60
14	750	А400	8	70
15	750	А500	10	80
16	750	А350	4	90
17	750	АС400	6	100
18	750	А500	8	110
19	750	А350	10	120
20	750	А400	12	130

Порядок выполнения задания

1. По заданному варианту из табл. 29 выбрать исходные данные.
2. По формуле (53), по заданным значениям наибольшей стрелы провеса f и напряжению ВЛ рассчитать минимальное расстояние между фазными проводами $l_{\text{пр}}$.
3. Из табл. 29, в зависимости от марки провода, выбрать его радиус $r_{\text{пр}}$. Радиус провода можно также определить по обозначению его марки, где цифры означают площадь сечения данного провода.
4. По формуле (52), учитывая число проводов в фазе n , рассчитать эквивалентный радиус $r_{\text{пр.э}}$.
5. По формуле (51) рассчитать напряженность электрической составляющей электромагнитного излучения E трехфазной воздушной ЛЭП на заданном расстоянии r от ближайшего провода.

Таблица 29

Радиус провода в зависимости от его сечения

Марка провода	Радиус провода, 10^{-2} м
АС185	0,95
АС240	1,08
АС300	1,21
АС400	1,4
А185	0,975
А240	1,0
А300	1,105
А350	1,21
А400	1,28
А500	1,455

Задача 12

Необходимо рассчитать безопасное время выполнения работ на различных участках в открытом распределительном устройстве с аппаратурой 110 кВ промышленной частоты 50 Гц. Работы выполняются без применения защитных средств на трех участках с различной напряженностью электрического поля. По условию задания (табл. 30) даны уровни напряженности электрического поля E на всех трех

участках и фактическое время работы персонала на участках *A* и *B*. Необходимо рассчитать допустимое время работы персонала на участке *C* и допустимое общее время выполнения работ.

Таблица 30

Исходные данные

Вариант	Напряженность <i>E</i> в зоне, кВ/м			Фактическое время работы, мин	
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
1	10	8	6	60	90
2	15	10	8	30	60
3	12	12	10	45	75
4	8	14	12	30	15
5	6	16	14	45	30
6	12	20	16	90	45
7	10	6	18	60	60
8	14	8	20	75	75
9	18	10	6	90	90
10	6	12	7	30	105
11	8	14	8	105	120
12	20	16	9	30	15
13	8	18	10	45	30
14	10	20	11	15	45
15	12	6	12	60	60
16	14	8	13	90	75
17	16	10	14	75	90
18	18	12	15	105	105
19	20	14	16	120	15
20	10	16	17	30	30

В рабочей зоне, где возможны различные уровни напряженности электромагнитного излучения, пребывание персонала ограничивается предельным временем $T_{\text{пред}}$, рассчитываемым по формуле

$$T_{\text{пред}} = 8 \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right), \quad (54)$$

где $t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$ – фактическое время пребывания персонала в конкретных зонах с напряженностью поля E_1, E_2, \dots, E_n [ч]; $T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$ – допустимое время пребывания персонала в конкретных зонах с напряженностью поля E_1, E_2, \dots, E_n [ч].

Допустимое время пребывания в электрическом поле промышленной частоты 50 Гц с напряженностью E от 5 до 20 кВ/м определяется по формуле

$$T_{\text{доп}} = \frac{50}{E} - 2, \quad (55)$$

где E – напряженность воздействующего электрического поля [кВ/м].

Пусть напряженность электрического поля на участке A составляет 10 кВ/м, фактическое время пребывания персонала на этом участке $t_{EA} = 15$ мин, на участке B соответственно $E = 8$ кВ/м, $t_{EB} = 60$ мин, на участке C напряженность $E_C = 20$ кВ/м. Тогда допустимое время пребывания персонала на участках будет равно:

$$T_A = \frac{50}{10} - 2 = 3 \text{ (ч)}; \quad T_B = \frac{50}{8} - 2 = 2,25 \text{ (ч)};$$

$$T_C = \frac{50}{20} - 2 = 0,5 \text{ (ч)}.$$

Подставив полученные значения допустимого времени в формулу (54) и принимая, что предельное время пребывания персонала под действием электромагнитного поля не должно превышать 8 ч, т. е. $T_{\text{пред}} = 8$, находим фактическое время нахождения персонала в зоне C :

$$T_{\text{пред}} = 8 = 8 \left(\frac{0,25}{3} + \frac{1}{2,25} + \frac{t_{EC}}{0,5} \right).$$

Расчетное фактическое время пребывания персонала на участке C $t_{EC} = 0,24$ ч.

Общее время на всех участках:

$$T_{\text{общ}} = t_{EA} + t_{EB} + t_{EC} = 0,25 + 1 + 0,24 = 1,49 \text{ ч}.$$

Задача 13

Определить толщину защитного экрана в случае экранирования полупространства от плоской электромагнитной волны бесконечным плоским однородным экраном (для заданного варианта в табл. 31).

Для обеспечения требуемой эффективности экранирования толщину защитного экрана следует взять несколько большей, чем значение расстояния проникновения электромагнитной волны в материал экрана.

Максимальное расстояние проникновения электромагнитной волны в экран x рассчитывается по формуле

$$x = \ln \left(\frac{\mathfrak{E} 4\sqrt{2}}{Z_0 \sigma \delta} \right) \delta, \quad (56)$$

где Z_0 – волновое сопротивление воздуха, равное 377 Ом; σ – удельная проводимость материала [См/м]; \mathfrak{E} – требуемая эффективность экранирования; δ – толщина поверхностного слоя, т. е. глубина проникновения поля в экранирующий материал, при прохождении которой электромагнитная волна ослабевает в e раз и отстает по фазе на $\pi/2$.

Толщина поверхностного слоя δ рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu' \mu_0 \sigma \pi f}}, \quad (57)$$

где μ' – относительная магнитная проницаемость материала; μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; f – частота ЭМП.

Требуемая эффективность экранирования \mathfrak{E} определяется для электрического и магнитного полей по формулам:

– в случае экранирования электрического поля

$$\mathfrak{E} = \frac{E_0}{E_{\text{ПДУ}}}; \quad (58)$$

– в случае экранирования магнитного поля

$$\mathfrak{E} = \frac{H_0}{H_{\text{ПДУ}}}, \quad (59)$$

где E_0 и H_0 – напряженности электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля соответственно; $E_{\text{ПДУ}}$ и $H_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимые уровни напряженности электрической $E_{\text{ПДУ}}$ и магнитной $H_{\text{ПДУ}}$ составляющих электромагнитного поля, рассчитываемые по формулам

$$E_{\text{ПДУ}} = \sqrt{\frac{\text{ЭЭ}_E}{T}}; \quad (60)$$

$$H_{\text{ПДУ}} = \sqrt{\frac{\text{ЭЭ}_H}{T}}, \quad (61)$$

где ЭЭ_E и ЭЭ_H – энергетические экспозиции ЭМП электрической и магнитной составляющей соответственно (табл. 32); T – время воздействия ЭМП по заданному варианту (табл. 31).

Т а б л и ц а 31

Исходные данные

№	Частота, f	E_0 , кВ/м	H_0 , кА/м	T , ч	Материал
1	30 кГц	10	5	8	Медь
2	40 кГц	15	20	8	Латунь
3	100 кГц	25	30	4	Алюминий
4	150 кГц	50	1	4	Алюминиевый сплав
5	5 МГц	5	3	6	Никель
6	200 кГц	20	15	8	Бронза
7	50 МГц	1	2,5	6	Медь
8	400 кГц	20	0,08	5	Олово
9	35 МГц	10	0,5	8	Сталь
10	60 МГц	25	0,03	8	Сталь нержавеющая
11	250 кГц	40	45	8	Свинец
12	350 кГц	30	0,08	8	Золото
13	50 кГц	80	100	8	Серебро
14	30 МГц	60	0,06	8	Сталь
15	300 кГц	2	20	8	Графит
16	40 МГц	40	0,5	8	Сталь автомобильная
17	45 МГц	35	1,5	6	Пермаллой

Порядок выполнения задания

1. В соответствии с гигиеническими стандартами по формулам (60) и (61) определить предельно допустимые уровни напряженности электрической $E_{ПДУ}$ и магнитной $H_{ПДУ}$ составляющих электромагнитного поля для заданного времени воздействия.

2. По формулам (58) и (59) определить требуемую эффективность экранирования.

3. По формуле (57) определить толщину поверхностного слоя, т. е. глубину проникновения поля в экранирующий материал, при прохождении которой электромагнитная волна ослабевает в e раз и отстает по фазе на $\pi/2$.

4. По формуле (56) рассчитать толщину защитного экрана при требуемой эффективности экранирования Δ .

5. Для обеспечения требуемой эффективности экранирования толщину защитного экрана d следует взять несколько большей, чем рассчитанное значение расстояния проникновения электромагнитной волны в экран, т. е. должно быть $d \geq x$.

Т а б л и ц а 32

Предельно допустимые уровни энергетической экспозиции ЭЭ в диапазоне частот от 30 кГц до 300 МГц

Параметр	ЭЭ в диапазоне частот (МГц)			
	0,03...3,0	3,0...30,0	30,0...50,0	50,0...300,0
$\text{ЭЭ}_E, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800	800
$\text{ЭЭ}_H, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	–	0,72	–

Т а б л и ц а 33

Параметры удельной проводимости σ и относительной магнитной проницаемости μ некоторых электропроводящих материалов

№	Материал	$\sigma \cdot 10^7$	μ'
1	Медь отожженная	5,7	1
2	Медь холоднокатаная	5,53	1
3	Алюминий	3,47	1
4	Алюминиевые сплавы	1,2...2,0	1
5	Латунь	1,48	1
6	Никель	1,14	1

№	Материал	$\sigma \cdot 10^7$	μ'
7	Бронза	1,03	1
8	Олово	0,85	1
9	Свинец	0,46	1
10	Сталь нержавеющая	1,1	50
11	Сталь	1	200
12	Сталь автомобильная	0,57	1000
13	Пермаллой	0,17	8000
14	Золото	4,54	1
15	Серебро	6,25	1
16	Графит	0,125	1
17	Железо	0,15...0,96	100...1000

Задача 14

Расчитать заземление трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ по допустимому сопротивлению растекания R_3 . Размеры подстанции ($A \times B$) даны в табл. 34. В качестве вертикальных электродов использовать прутковую сталь длиной l_c [м] и диаметром d [мм]. В качестве горизонтального электрода используется полосовая сталь сечением 40×4 мм. Расчетные удельные сопротивления грунта ($\text{Ом} \cdot \text{м}$) для горизонтальных и вертикальных электродов даны в табл. 35. Сопротивление

Таблица 34

Исходные данные

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A \times B$, м	6×12	8×2	8×15	6×6	6×8	6×12	10×15	8×12	6×12	8×12
l_c , м	5,0	4,5	4,8	4,2	4,0	4,6	3,0	2,5	2,8	3,5
d , мм	16	14	16	16	14	16	16	16	14	14
R_E , Ом	20	20	–	–	20	–	–	20	–	–
ρ рас. г.	180	200	175	160	155	170	190	185	165	170
ρ рас. в.	120	130	135	140	120	100	110	115	110	125

естественного заземлителя (для нескольких вариантов) $R_{\text{еc}} = 20 \text{ Ом}$.
 Глубина траншеи 0,8 м. Верхние концы вертикальных электродов выступают со дна траншеи на 0,2 м.

Методика расчета

Расчет заземления проводим методом коэффициента использования следующим образом.

В соответствии с требованиями ПУЭ находим необходимое сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{з.у}}$. Для этого определяем путем расчета или замерами сопротивление растекания естественных заземлителей $R_{\text{Е}}$.

Сопротивление растекания искусственного заземлителя $R_{\text{И}}$ рассчитываем по формуле

$$R_{\text{И}} = \frac{R_{\text{з.у}} R_{\text{Е}}}{R_{\text{Е}} - R_{\text{з.у}}} . \quad (62)$$

По экспериментальным данным определяем характер грунта, в котором предполагается заложить заземляющее устройство и удельное сопротивление грунта (при решении задачи удельное сопротивление грунта задано в табл. 35).

Таблица 35

Электрическое сопротивление грунтов

Вид грунта	Удельное электрическое сопротивление, Ом · м	
	Пределы колебаний	При влажности 10...20 %
Глина	8...70	40
Суглинок	40...150	100
Песок	400...700	700
Супесок	150...400	300
Торф	10...30	20
Чернозем	9...53	20
Каменистый	500...800	–

Сопротивление грунта с учетом коэффициента сезонности (табл. 36) для вертикальных стержней [Ом · м]

$$\rho_{o.c} = \psi_B \rho_0, \quad (63)$$

где ψ_B – коэффициент сезонности; ρ_0 – удельное сопротивление грунта.

Сопротивление растеканию тока одиночного стержня, Ом,

$$R_C = \frac{\rho_{o.c}}{2\pi l_c} \left[\ln\left(\frac{2l_c}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4t + l_c}{4t - l_c}\right) \right], \quad (64)$$

где l_c – длина стержня [м]; d – диаметр стержня из труб или приведенный диаметр для стержней из другого проката [м]; $t = H + (1/2)l_c$ – расстояние от поверхности земли до середины стержня, где H – глубина заложения стержня.

На площади размещения заземляющего устройства намечают, как будут расположены вертикальные электроды (стержни), и их предварительное количество $n_{пр}$:

$$n_{пр} = \frac{R_c}{\eta_c R_{И}}, \quad (65)$$

где η_c – коэффициент использования вертикальных электродов (определяется по табл. 38 с учетом: α – расстояния между электродами; l_c – длины электрода (стержня); обычно отношение α / l_c принимают 1, 2, 3.

Удельное сопротивление грунта с учетом сезонности для соединительной полосы (табл. 36) [Ом · м]:

$$\rho_{c.п} = \psi_{ГР} \rho_0. \quad (66)$$

Таблица 36

Коэффициент сезонности

Климатическая зона	Значения коэффициентов сезонности при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
Вертикальный электрод длиной до 3 м			
1	1,9	1,7	1,5
2	1,7	1,5	1,3

Климатическая зона	Значения коэффициентов сезонности при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
3	1,5	1,3	1,2
4	1,3	1,1	1,0
Вертикальный электрод длиной 4...5 м			
1	1,5	1,4	1,3
2	1,4	1,3	1,2
3	1,3	1,2	1,1
4	1,2	1,1	1,0
Горизонтальный электрод длиной до 50 м			
1	7,2	4,5	3,6
2	4,8	3,0	2,4
3	3,2	2,0	1,6
4	2,2	1,4	1,12

Таблица 37

Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности ψ

Характеристики климатических зон	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От -20 до -15	От -14 до -10	От -10 до 0	От 0 до +5
Средняя многолетняя низшая температура (июль), °С	От +16 До +18	От +18 До +22	От +22 До +24	От +24 До +26
Среднегодовое количество осадков, см	~40	~50	~50	30...50
Продолжительность замерзания вод, дни	190...170	~150	~100	0

Сопротивление растеканию тока соединительной полосы

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{с.п.}}{2\pi l_{\Pi}} \ln \left(\frac{2l_{\Pi}^2}{bH} \right), \quad (67)$$

где l_{Π} – длина полосы [м]; b – ширина полосы [м].

По табл. 38 определим коэффициент использования (взаимного экранирования) вертикальных стержней (η_c). По табл. 39 – коэффициент использования соединительной полосы (η_{Π}).

Таблица 38

Коэффициенты использования вертикальных стержней

Число стержней	Отношение расстояния между заземлителями к их длине (a/l_c) при размещении					
	1	2	3	1	2	3
	в ряд			по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	–	–	–
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
10	0,59	0,74	0,81	0,55	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	–	–	–	0,41	0,58	0,66
60	–	–	–	0,39	0,55	0,64
100	–	–	–	0,36	0,52	0,62

Таблица 39

Коэффициенты использования горизонтальных полосовых заземлителей

Отношение a/l_c	Число стержневых заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Стержни размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	–	–	–
2	0,94	0,89	0,8	0,75	0,56	–	–	–
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	–	–	–
Стержни размещены по контуру								
1	–	0,45	0,4	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
2	–	0,55	0,48	0,4	0,32	0,29	0,26	0,23
3	–	0,7	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Результирующее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{И} = \frac{R_c R_{\Pi}}{R_c \eta_{\Pi} + R_{\Pi} n_{\text{пр}} \eta_c}, \quad (68)$$

R_3 – сопротивление заземлителя в соответствии с требованиями ПУЭ ($R_3 \leq 4$ Ом).

Если условие $R_{И} \leq R_3$ не выполняется, то нужно увеличить количество стержней и снова провести расчет.

Задача 15

Произвести расчет зануления в сети 380/220 В (рис. 5).

Питание электродвигателей с короткозамкнутым ротором осуществляется по двум последовательно включенным участкам с различными видами электропроводок: от трансформаторной подстанции до силового щита – медным кабелем ВВГ ($3 \times 30 + 1 \times 25$) (для нечетного варианта) и алюминиевым кабелем АБВГ ($3 \times 30 + 1 \times 25$) (для четного варианта); на втором участке от силового шкафа до электродвигателя – проводами или кабелем, сечение которых нужно выбрать. Длины кабелей на первом участке (L_1), на втором участке (L_2), мощности двигателей (P), их КПД (η) и коэффициент нагрузки ($\cos \varphi$), мощности питающих трансформаторов (S_T) приведены в табл. 40.

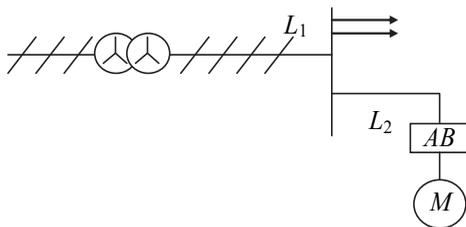


Рис. 5. Схема подключения электродвигателя

Таблица 40

Исходные данные

Вариант	L_1 , м	L_2 , м	P , кВт	S_T , кВА	$\cos \varphi$	η
1	30	15	2,2	63	0,87	0,83
2	25	16	3,0	100	0,88	0,84
3	45	10	4,0	160	0,89	0,86
4	48	14	5,5	250	0,91	0,87
5	25	12	2,2	63	0,83	0,80

Вариант	L_1 , м	L_2 , м	P , кВт	$S_{\text{Т}}$, кВА	$\cos \varphi$	η
6	30	14	3,0	100	0,83	0,82
7	28	20	4,0	160	0,84	0,84
8	28	20	4,0	160	0,84	0,84
9	24	20	4,25	160	0,82	0,78
10	30	12	4,2	160	0,79	0,75

Примечание. Напряжение первичной обмотки трансформатора 10 кВ.

Номер варианта (табл. 40) выбирается по порядковому номеру фамилии студента в групповом журнале.

Методика расчета

При решении задачи необходимо:

- 1) начертить схему однофазного короткого замыкания;
- 2) по расчетному (заданному) номинальному току выбрать сечения проводов;
- 3) определить сопротивления фазного и нулевого защитного проводников;
- 4) найти полное сопротивление обмоток трансформатора;
- 5) рассчитать ток короткого замыкания;
- 6) по напряжению прикосновения определить время срабатывания защиты $t_{\text{ГОСТ}}$;
- 7) определить K_p и время срабатывания защитного устройства $t_{\text{ср}}$.
- 8) пользуясь табл. 46, выбрать аппарат защиты.

Исходные данные: длина кабеля на первом и на втором участке L_1 и L_2 соответственно, $\cos \varphi$, КПД η , полная мощность трансформатора, от которой питается двигатель, $S_{\text{Тр}}$ (выбирается по табл. 40).

1. Схема замещения однофазного короткого замыкания при замыкании фазы A на корпус имеет вид, изображенный на рис. 6.

Здесь $Z_{\text{Тр}}$ – комплекс полного сопротивления фазы трансформатора; $Z_{\phi 1} = R_{\phi 1} + jX_{\phi 1}$ и $Z_{\phi 2} = R_{\phi 2} + jX_{\phi 2}$ – комплексы полных сопротивлений фазных проводов первого и второго участков; $Z_{\text{Н1}} = R_{\text{Н1}} + jX_{\text{Н1}}$ и $Z_{\text{Н2}} = R_{\text{Н2}} + jX_{\text{Н2}}$ – комплексы полных сопротивлений нулевых защит-

ных проводников соответствующих участков; X_{Π} – сопротивление взаимной индукции между фазным и нулевым защитными проводами. (Для медных и алюминиевых проводников сопротивлением взаимной индукции X_{Π} можно пренебречь).

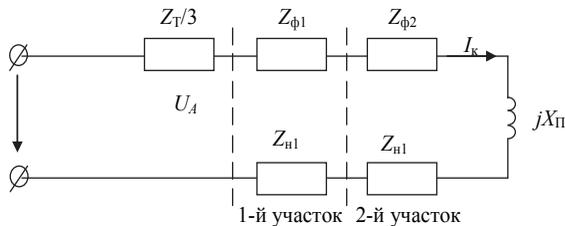


Рис. 6. Схема замещения однофазного короткого замыкания

2. Расчет номинального тока:

$$I_{\text{НДВ}} = \frac{P_{\text{ДВ}}}{\sqrt{3}U_{\text{Л}} \cos \varphi_{\text{н}}}. \quad (69)$$

3. Сечения проводников на первом участке $S_{\phi 1}$ и $S_{н1}$ известны; сечения проводников второго участка определяются по номинальному току двигателя (см. табл. 41 или 42).

Примечание. Считаем сечения нулевого и фазного проводников $S_{\phi 1}$ и $S_{н1}$ равными.

4. Определение активных сопротивлений фазных и нулевых защитных проводников:

$$R_{\phi} = 1,2 \frac{\rho_{\phi} L_{\phi}}{S_{\phi}}; \quad (70)$$

$$R_{н} = 1,2 \frac{\rho_{н} L_{н}}{S_{н}}. \quad (71)$$

Коэффициент 1,2 учитывает возрастание сопротивления при изменении температуры проводника от 20 до 70 °С.

**Допустимый длительный ток для проводов и шнуров
с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами**

Сечение токопроводя- щей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	от- кры- то	в одной трубе				
		двух од- ножиль- ных	трех од- ножиль- ных	четырёх одно- жилльных	одного двухжиль- ного	одного трехжиль- ного
0,5	11	–	–	–	–	–
0,75	15	–	–	–	–	–
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	–	–	–
185	510	–	–	–	–	–
240	605	–	–	–	–	–
300	695	–	–	–	–	–
400	830	–	–	–	–	–

В формулах (70) и (71) ρ_{ϕ} и ρ_{H} – удельное электрическое сопротивление фазного и нулевого проводников (для меди – 0,018 Ом · мм²/м,

для алюминия – $0,035 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$); $L_{\text{ф}}$ и $L_{\text{н}}$ – длины фазного и нулевого проводников [м]; $S_{\text{ф}}$ и $S_{\text{н}}$ – площади сечения фазного и нулевого проводников [мм^2].

Т а б л и ц а 42

Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	75	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	255	200	230	190
150	340	275	–	–	–	–
185	390	–	–	–	–	–
240	465	–	–	–	–	–
300	535	–	–	–	–	–
400	645	–	–	–	–	–

5. Определяем по табл. 43 внутреннее сопротивление трансформатора Z_{T} для заданной мощности трансформатора S_{T} .

**Приближенные значения расчетных полных сопротивлений Z_T , Ом,
обмоток масляных трехфазных трансформаторов**

Мощность трансформатора, кВА	Номинальное напряжение обмоток высокого напряжения, кВ	Z_T при схеме соединения обмоток, Ом	
		Y/Y_H	Δ/Y_H и Y/Δ_H
25	6–10	3,110	0,906
40	6–10	1,949	0,562
63	6–10	1,237	0,360
	20–35	1,136	0,407
100	6–10	0,799	0,226
	20–35	0,764	0,327
160	6–10	0,487	0,141
	20–35	0,478	0,203
250	6–10	0,312	0,090
	20–35	0,305	0,130

6. Находим ток короткого замыкания I_k .

Расчетная формула тока короткого замыкания имеет вид

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_H)^2 + (X_\phi + X_H + X_\Pi)^2}}, \quad (72)$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети; Z_T – модуль сопротивления обмотки трансформатора. Неточность этой формулы (5 %) ужесточает требования к безопасности. Таким образом, если защита будет выбрана по расчетному току короткого замыкания, то при реальном токе она работает еще быстрее.

7. Определяем необходимое время срабатывания защитного устройства в соответствии с требованиями ГОСТ.

Для правильного выбора защитного устройства необходимо проверить выполнение следующего условия: время срабатывания устройства должно быть меньше времени, указанного в ГОСТ для соответствующего напряжения прикосновения (см. табл. 44).

$$t_{cp} < t_{ГОСТ}, \quad (73)$$

где $t_{\text{ГОСТ}}$ – время срабатывания защиты в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038–82 (2001); $t_{\text{ср}}$ – время срабатывания выбранного защитного устройства. Для определения $t_{\text{ГОСТ}}$ необходимо определить напряжение прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{к}} R_{\text{н}}, \quad (74)$$

где $R_{\text{н}}$ – общее сопротивление нулевого защитного провода.

По напряжению прикосновения из табл. 44 определяется предельно допустимое значение продолжительности воздействия тока на человека и, соответственно, максимальное время срабатывания защиты $t_{\text{ГОСТ}}$ по ГОСТ 12.1.038–82 (2001).

Т а б л и ц а 44

Предельно допустимое $U_{\text{пр}}$ в зависимости от времени воздействия на человека в аварийном режиме

Характер тока	Нормир. величина	Предельно допустимые значения, не более при продолжительности воздействия тока, t , с											
		0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	>1
		0,08											
Переменный, 50 ГЦ	$U_{\text{пр}}$, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	I , МА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

8. Выбор автоматического выключателя.

Значение номинального тока $I_{\text{НР}}$ автоматического выключателя выбираем таким образом, чтобы автоматический выключатель не отключал установку при протекании рабочих токов. Особенно это важно для запуска асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, так как при этом могут возникать значительные пусковые токи. Для электродвигателей, запускаемых с малой нагрузкой (например, вентиляторов), должно быть:

$$I_{\text{НР}} = (4 - 5) I_{\text{НДВ}}, \quad (75)$$

где $I_{\text{НДВ}}$ – номинальный ток двигателя; $I_{\text{НР}}$ – номинальный ток автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем.

В соответствии с требованиями «Правил устройств электроустановок (ПУЭ)» время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 45.

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1.

Т а б л и ц а 45

Наибольшие допустимые времена защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение U_0 , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Для выбора автоматического выключателя необходимо определить кратность тока:

$$K_p = \frac{I_k}{I_{HP}}. \quad (76)$$

По табл. 46 выбираем автоматический выключатель с комбинированным расцепителем, который обеспечивает время отключения в соответствии с требованиями ПУЭ.

Задача 16

Определить категорию здания по взрывопожаробезопасности по характеристикам ЛВЖ и ГЖ, обращающихся в помещении.

Методика расчета

Категория здания по взрывопожаробезопасности определяется из следующих условий:

– здание относится к категории А, если суммарная площадь помещений, относящихся к категории А, превышает 200 м^2 или 5 % от площади всего здания;

– здание относится к категории Б, если оно не относится к категории А и суммарная площадь помещений, относящихся к категориям А и Б, превышает 200 м^2 или 5 % от площади всего здания.

Защитные характеристики автоматов с комбинированными расцепителями

Номер варианта	Тип автомата	$I_{нб}, А$	$I_{нр}, А$	3	4	5	6	7	8	9	10	12	Kp_{max}	Kp_{min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	АЕ-2040	63	32; 40; 50	66	40	29	20	16	10,2	8	6	2,6	5,5	4,5
				20	12	8,6	6,1	4,5	3,5	2,8	0,18	0,1		
2	АЕ-2530	25	0,6–12,5	70	38	26	16	11	7	5	4	2	5,3	4
				6	3,2	2	1,3	1	0,7	0,5	0,45	0,33		
3	АЕ-2540	63	31,5; 40; 50; 63	70	38	25	16	11	7	5	4	2	5,3	4
				6	3,2	2	1,3	1	0,7	0,5	0,45	0,33		
4	АЕ-2550	100	63; 80; 100	70	38	25	16	11	7	5	4	2	5,3	4
				6	3,2	2	1,3	1	0,7	0,5	0,45	0,33		
5	ВА14-26-34	32	16; 20; 25	25	15	9	6,5	5	4	2,5	–	–	6	4
				9	3	1,8	1,2	0,9	0,6	0,5	–	–		
6	ВА14-26-34	32	16; 20; 25; 32	25	15	9	6,5	5	4	2,5	–	–	10	8
				9	3	1,8	1,2	0,9	0,6	0,5	–	–		
7	АК53 с замедлителем	63	0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,25;	110	60	35	20	15	9	5	3	0,2	14	10,2
				21	10	8	2	0,6	0,12	0,02	0,01	0		

7	АК53 с за-медлителем	4,5; 8,0; 10; 16 20; 25; 32; 40 50; 63	45	15	0,2	-	-	-	1	5,6	4,6
8	АП50Б	1,6; 2,5; 4,0; 6,3	50	23	15	10	8	6	2	3,3	2,7
9	АП50Б	1,6; 2,5; 4,0; 6,3	50	23	15	10	8	6	2	8	6
10	АП50Б	10; 16; 25; 40; 50	50	20	12	7,5	5,1	4,1	3	3,3	2,7
11	АП50Б	10; 16; 25; 40; 50	50	20	12	7,5	5,1	4,1	3	8	6
12	АП50Б	63	80	38	21	15	10	8	-	3,3	2,7

Примечания.

1. Время срабатывания от 0,01 до 0,1 с при отключении электромагнитным расцепителем.
2. Значение Кр должно быть больше максимального значения, указанного в таблице.

Категорию помещения по взрывопожаробезопасности определяют в зависимости от свойств веществ и материалов, находящихся в данном помещении, и от избыточного давления, которое развивается при воспламенении данных веществ.

Расчетное избыточное давление, которое развивается при воспламенении паров жидкости, рассчитывается по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{100mz}{V_{\text{св}} \rho_{\text{п}} C_{\text{ст}} K_{\text{н}}}, \quad (77)$$

где P_{\max} – максимальное давление взрыва стехиометрической газозвушной или паровоздушной смеси в замкнутом пространстве, определяемое экспериментально или по справочным данным, опубликованным головными научно-исследовательскими организациями в области пожарной безопасности или выданных Государственной службой стандартных справочных данных. При отсутствии данных допускается принимать $P_{\max} = 900$ кПа; P_0 – начальное давление [кПа], допускается принимать $P_0 = 101$ кПа; m – масса паров жидкости, испарившихся при аварии в помещении [кг]; z – коэффициент участия горючего во взрыве, для паров жидкости принимается $z = 0,3$; $V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, допускается принимать $V_{\text{св}}$ равным 80 % от геометрического объема помещения [м^3]; $\rho_{\text{п}}$ – плотность испарившихся паров при расчетной температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$; $C_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация [%]; $K_{\text{н}}$ – коэффициент негерметичности помещения, допускается $K_{\text{н}} = 3$.

Стехиометрическая концентрация паров жидкости (% об.) рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (78)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания, определяемый как

$$\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{X}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2}, \quad (79)$$

где n_{C} , n_{H} , n_{X} , n_{O} – число атомов углерода, водорода, галоидов и кислорода, входящих в химическую формулу жидкости, соответственно.

Плотность паров жидкости при расчетной температуре определяется по формуле

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_p)} \cdot \frac{n_0}{2}, \quad (80)$$

где M – молярная масса [кг/кмоль]; V_0 – мольный объем, равный 22,423 м³/кмоль; t_p – расчетная температура, принимаемая как максимально возможная температура воздуха в данном помещении или максимально возможная температура по технологическому регламенту с учетом повышения температуры во время аварии, допускается $t_p = 61^\circ\text{C}$.

Масса паров жидкости рассчитывается по формуле

$$m = WF_{\text{и}}T, \quad (81)$$

где W – интенсивность испарения жидкости [кг/(с · м²)]; $F_{\text{и}}$ – площадь испарения жидкости, м²; T – время испарения жидкости, максимальное значение которого принимается за 3600 с.

Площадь испарения жидкости находится по выражению

$$F_{\text{и}} = \frac{m_{\text{ж}}}{h\rho_{\text{ж}}}, \quad (82)$$

где $m_{\text{ж}}$ – масса жидкости [кг]; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости [кг/м³]; h – толщина слоя разлившейся жидкости, на бетонной поверхности принимается равной 3 мм.

Интенсивность испарения паров с поверхности жидкости определяется по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{MP_{\text{н}}}, \quad (83)$$

где M – молярная масса [кг/кмоль]; η – коэффициент, учитывающий скорость и температуру воздушного потока над поверхностью испарения жидкости (табл. 3); $P_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости [кПа].

Давление насыщенного пара рассчитывается по формуле

$$P_{\text{н}} = 10^{A-B/(C_a+t_p)}, \quad (84)$$

или

$$\lg P_{\text{н}} = A - \frac{B}{(C_{\text{а}} + t_{\text{п}})}, \quad (85)$$

где $t_{\text{п}}$ – расчетная температура, °С; A , B и $C_{\text{а}}$ – константы уравнения Антуана (табл. 48).

Методика расчета

1. Для заданного в варианте горючего вещества (табл. 47) по справочным данным записать его химическую формулу, определить температуру вспышки жидкости, молярную массу, плотность (табл. 48).

2. По температуре вспышки вещества предварительно определить возможную принадлежность помещения к той или иной категории по взрывопожаробезопасности (табл. 49).

3. Исходя из химической формулы заданного вещества по формуле (79) рассчитывается стехиометрический коэффициент β .

4. По рассчитанному стехиометрическому коэффициенту β определяем стехиометрическую концентрацию $C_{\text{ст}}$ (формула (78)).

5. По формуле (80) определяем плотность паров жидкости при расчетной температуре 61 °С.

6. По заданному в варианте количеству жидкости и по ее плотности определяем площадь разлива жидкости в результате аварии (формула (82)).

7. Сопоставляем площадь аварийного разлива жидкости с площадью помещения. Если площадь разлива жидкости превышает площадь помещения, за площадь поверхности испарения принимается вся площадь помещения.

8. По выбранным из табл. 48 константам уравнения Антуана рассчитываем значение давления насыщенного пара $P_{\text{н}}$ (формула (84) или (85)).

9. В зависимости от скорости воздушного потока и температуры воздуха в аварийном помещении по табл. 50 выбираем коэффициент η .

10. По формуле (83) находим интенсивность испарения жидкости W .

11. Зная значения интенсивности испарения жидкости W , величину площади испарения $F_{\text{и}}$ и время испарения T , по формуле (81) находим массу паров испарившейся жидкости m .

Исходные данные

Вещество	Объем помещения, м ³	Скорость воздушного потока, м/с	Количество жидкости, л	Температура в помещении, °С	Высота помещения, м	Площадь здания, м ²
1. Амилацетат	50	0	15	10	3	100
2. н-Амиловый спирт	75	0,1	20	15	3	110
3. Анилин	100	0,2	20	35	4	200
4. н-Бутилацетат	125	0,5	25	30	4	250
5. н-Бутиловый спирт	150	1	30	20	5	300
6. н-Гексадекан	175	0	30	35	5	320
7. н-Гексиловый спирт	200	0,1	35	10	6	350
8. Гидразин	225	0,2	40	15	6	370
9. Глицерин	250	0,5	35	35	7	400
10. Декан	275	1	40	30	7	430
11. 1,2-Дихлорэтан	300	0	35	10	8	450
12. Изобутиловый спирт	325	0,1	40	15	8	500
13. Изопропилбензол	75	0,2	15	20	3	400
14. Изопропиловый спирт	100	0,5	30	10	4	800
15. м-Ксилол	125	1	25	15	4	100
16. н-Октан	150	0,1	50	10	3	200
17. н-Пентадекан	175	0,2	35	35	5	150
18. Пиридин	200	0,5	20	15	6	250
19. н-Пропиловый спирт	225	1	20	20	6	270
20. Этиловый спирт	250	0,5	30	10	7	300

Свойства легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

Вещество	$\rho_{ж}$, кг/м ³	M, кг/кмоль	$t_{всп}$, °C	Константы Антуана		
				A	B	C_a
1. Амилацетат C ₇ H ₁₄ O ₂	876	130,196	+43	6,29350	1579,510	221,365
2. н-Амиловый спирт C ₅ H ₁₂ O	810	88,149	+48	6,3073	1287,625	161,330
3. Анлин C ₆ H ₇ N	957	93,128	+73	6,04622	1457,02	176,195
4. н-Бутилацетат C ₆ H ₁₂ O ₂	938,7	116,16	+29	6,25205	1430,418	210,745
5. н-Бутиловый спирт C ₄ H ₁₀ O	810	74,122	+35	8,72232	2664,684	279,638
6. н-Гексадекан C ₁₆ H ₃₄	770	226,44	+128	5,91242	1656,405	136,869
7. н-Гексиловый спирт C ₆ H ₁₄ O	815	102,17	+60	6,17894	1293,831	152,631
8. Гидразин N ₂ H ₄	1008,5	32,045	+38	7,99805	2266,447	266,316
9. Глицерин C ₃ H ₈ O ₃	1260	92,1	+198	8,177393	3074,220	214,712
10. Декан C ₁₀ H ₂₂	735	143,28	+47	6,52023	1809,975	227,700
11. 1,2-Дихлорэтан C ₂ H ₄ Cl ₂	1253	98,96	+9	6,78615	1640,179	259,715
12. Изобутиловый спирт C ₄ H ₁₀ O	810	74,12	+28	7,83005	2058,392	245,642
13. Изопропилбензол C ₉ H ₁₂	870	120,20	+37	6,06756	1461,643	207,56
14. Изопропиловый спирт C ₃ H ₈ O	810	60,09	+14	7,51055	1733,00	232,380
15. м-Ксилол C ₈ H ₁₀	855	106,17	+28	6,13329	1461,925	215,073
16. н-Октан C ₈ H ₁₈	703	114,230	+14	6,09396	1379,556	211,896
17. н-Пентадекан C ₁₅ H ₃₂	770	212,42	+115	6,0673	1739,084	157,545
18. Пиридин C ₅ H ₅ N	982	79,10	+20	5,91684	1217,730	196,342
19. Хлорбензол C ₆ H ₅ Cl	1106	112,56	+29	6,38605	1607,316	235,351
20. Этиловый спирт C ₂ H ₆ O	789	46,07	+13	7,81158	1918,508	252,125

Категории помещений по взрывопожаробезопасности.

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (образующихся) в помещении
А – взрывопожароопасные	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б – взрывопожароопасные	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 – пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения не относятся к категории А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Таблица 50

Значения коэффициента η

Скорость воздушного потока, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значение коэффициента η при температуре t , °С, воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

12. По расчетной формуле (77) находим избыточное значение давления, возникающее при сгорании паров жидкости.

13. Если расчетное избыточное давление превышает 5 кПа, помещение относится к определенной в пункте 2 категории по взрывопожаро-безопасности.

Задача 17

Рассчитать плотность теплового потока на расстоянии 50 м от центра пожара и безопасное расстояние для человека при пожаре разлития ЛВЖ и ГЖ.

Таблица 51

Исходные данные

№	Вещество	M , г/моль	$\rho_{\text{ж}}$, кг/м ³	$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, кДж/кг	$L_{\text{исп}}$, ккал/кг	$m_{\text{ж}}$, кг	Грунт	w , м/с
1	Бензин	120	730	44 000	65	200	Бетон	2
2	Бензин	120	730	44 000	65	2900	Гравий	3
3	Бензин	120	730	44 000	65	8500	Песок	4
4	Бензин	120	730	44 000	65	700	Бетон	5
5	Бензин	120	730	44 000	65	11500	Гравий	3
6	Бензин	120	730	44 000	65	34500	Песок	2
7	Нефть	250	800	43050	75	200	Бетон	2
8	Нефть	250	800	43050	75	3200	Гравий	3

№	Вещество	M , г/моль	$\rho_{ж}$, кг/м ³	Q_n^p , кДж/кг	$L_{исп}$, ккал/кг	$m_{ж}$, кг	Грунт	w , м/с
9	Нефть	250	800	43050	75	9500	Песок	4
10	Нефть	250	800	43050	75	750	Бетон	5
11	Нефть	250	800	43050	75	12500	Гравий	3
12	Нефть	250	800	43050	75	38000	Песок	2
13	Нефть	250	800	43050	75	1600	Бетон	4
14	Дизтопливо	200	880	42500	45	3500	Гравий	3
15	Дизтопливо	200	880	42500	45	10500	Песок	2
16	Дизтопливо	200	880	42500	45	200	Бетон	4
17	Дизтопливо	200	880	42500	45	1400	Гравий	6
18	Дизтопливо	200	880	42500	45	41500	Песок	5
19	Дизтопливо	200	880	42500	45	850	Бетон	3
20	Дизтопливо	200	880	42500	45	31000	Гравий	2

Методика расчета

При нарушении герметичности емкостей горючие или легковоспламеняющиеся жидкости, содержащиеся в ней, растекаются по грунту. Площадь разлива в этом случае можно определить по формуле

$$F_{\text{раз}} = m_{\text{ж}} / h\rho_{\text{ж}} (\text{м}^2), \quad (86)$$

где $m_{\text{ж}}$ – масса разлившейся жидкости (кг); $\rho_{\text{ж}}$ – плотность разлившейся жидкости; h – толщина слоя разлившейся жидкости (м), зависящая от вида грунта (табл. 52).

Таблица 52

Толщина слоя разлившейся жидкости на различных грунтах

Характер поверхности	h , м
Бетонная	0,003
Водная	0,01
Гравий	0,05
Влажная песчаная	0,15
Сухая песчаная	0,20

Отличительной чертой пожара разлива является «накрытие» (рис. 7) с подветренной стороны, т. е. пламя пожара разлива можно представить в виде наклоненного конуса, причем угол наклона Θ зависит от безразмерной скорости ветра W_B .

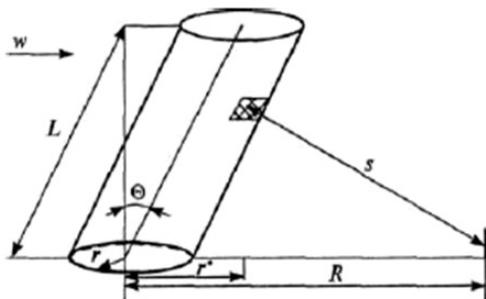


Рис. 7. Расчетная схема пожара разлива

Геометрические параметры факела пожара разлива находятся по формуле Томаса

$$\frac{L}{D} = a \left(\frac{m_{\text{ВЫГ}}}{\rho_{\text{В}} \sqrt{gD}} \right)^b W_B^c, \quad (87)$$

где L – высота пламени пожара разлива [м]; W_B – безразмерная скорость ветра; $m_{\text{ВЫГ}}$ – массовая скорость выгорания [кг/(м² · с)]; $\rho_{\text{В}}$ – плотность воздуха, равная 1,2 кг/м³; g – ускорение силы тяжести [м/с²]; D – диаметр зеркала разлива [м]; a , b , c – эмпирические коэффициенты по формуле Томаса, полученные в диапазоне $10^{-3} \leq L/D \leq 10$ и равные:

$$a = 55; b = 0,67; c = -21.$$

Безразмерная скорость ветра W_B рассчитывается по формуле

$$W_B = w \left(\frac{m_{\text{ВЫГ}} g D}{\rho_{\text{П}}} \right)^{-0,33}, \quad (88)$$

где w – скорость ветра [м/с]; $\rho_{\text{П}}$ – плотность паров жидкости [кг/м³].

Диаметр зеркала разлива D определяется по формуле

$$D = 2r = \sqrt{\frac{4F_{\text{раз}}}{\pi}}. \quad (89)$$

Скорость выгорания жидкостей определяют, как правило, экспериментально и является справочным данным. Для экспертной оценки скорости выгорания $m_{\text{выг}}$ [кг/(м² · с)] можно воспользоваться эмпирической формулой

$$m_{\text{выг}} = \frac{C\rho_{\text{ж}}Q_{\text{н}}^{\text{p}}}{L_{\text{исп}}}, \quad (90)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости [кг/м³]; $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – низшая теплота сгорания топлива [Дж/кг]; $L_{\text{исп}}$ – скрытая теплота испарения жидкости [Дж/кг]; C – коэффициент пропорциональности, значение которого, равное $1,25 \cdot 10^{-6}$ м/с, получено путем обработки многочисленных экспериментальных данных по выгоранию большинства органических жидкостей и их смесей.

Плотность паров жидкости $\rho_{\text{п}}$ рассчитывают по выражению

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_{\text{p}})}, \quad (91)$$

где M – молярная масса жидкости [г/моль]; V_0 – мольный объем, равный 22,4 м³/кмоль; t_{p} – расчетная температура [°С], принимаемая равной максимально возможной температуре воздуха в данной климатической зоне. При отсутствии соответствующих данных допускается принимать равной 61 °С.

Плотность теплового потока, падающего на элементарную площадку, расположенную на уровне грунта (см. рис. 1), $q^{\text{пад}}$ [кВт/м²] вычисляется по формуле

$$q^{\text{пад}} = q^{\text{соб}} \varphi \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4}(R - r)\right], \quad (92)$$

где φ – угловой коэффициент излучения с площадки на боковой поверхности пламени пожара разлива на единичную площадку, располо-

женную на уровне грунта, определяемый по графику на рис. 8; $q^{\text{соб}}$ – средняя по поверхности плотность потока собственного излучения пламени [кВт/м²]; R – расстояние до объекта [м]; r – радиус площади пожара разлития [м].

Таблица 53

Значения $q^{\text{соб}}$ некоторых горючих веществ

Горючее вещество	$q^{\text{соб}}$, кВт/м ²
Сжиженный природный газ (метан)	150...170
Сжиженный нефтяной газ	50...60
Бензин	120...140
Нефть	60...80
Дизтопливо	50...70
Керосин	80...100

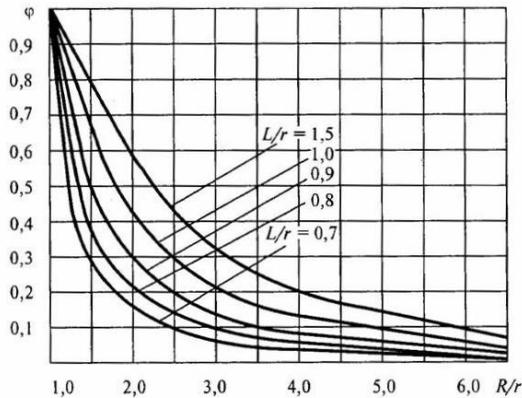


Рис. 8. Зависимость углового коэффициента излучения φ с цилиндрического пламени пожара разлития на элементарную площадку от R/r

Порядок выполнения задания

1. По номеру варианта из табл. 51 выбрать необходимые данные.
2. По выбранным данным с учетом толщины слоя разлившейся горючей жидкости (табл. 52) рассчитать площадь разлива $F_{\text{раз}}$.
3. По формуле (89) определить величину диаметра D и радиуса r площади разлива.
4. По формуле (90), не забывая перевести единицы измерения, взятые из табл. 51, в единицы, необходимые для расчетов, по формуле ($1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$) рассчитать скорость выгорания $m_{\text{выг}}$.
5. По формуле (91) определить плотность паров жидкости.
6. Исходя из рассчитанных значений плотности паров жидкости, скорости ее выгорания и диаметра разлива жидкости по формуле (88) определить безразмерную скорость ветра $W_{\text{в}}$.
7. По формуле (87) найти высоту пламени L .
8. По графикам, приведенным на рис. 8, по соотношениям L/r и R/r определить значение углового коэффициента излучения φ .
9. По формуле (92) с учетом данных табл. 53 рассчитать плотность теплового потока пламени $q^{\text{пад}}$ на расстоянии 50 м от центра пожара.
10. Изменяя значения R , найти безопасное расстояние от центра пожара для человека ($q^{\text{пад}} = 1,4 \text{ кВт/м}^2$).

Задача 18

Определить плотность теплового потока при взрыве парогазовоздушного (ПГВ) облака, образовавшегося при разгерметизации резервуара со сжиженным газом и степень термического поражения людей, находящихся на месте аварии.

Крупномасштабное диффузионное горение ПГВ облака, реализуемое при разгерметизации резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением, носит название «огненный шар». Плотность теплового потока, падающего с поверхности «огненного шара» на элементарную площадку на поверхности мишени $q^{\text{пад}}$ (кВт/м^2), равна

$$q^{\text{пад}} = q^{\text{соб}} \varphi \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{X^2 + H^2} - D_{\text{эф}} / 2 \right) \right], \quad (93)$$

где $q^{\text{соб}}$ – плотность потока собственного излучения «огненного шара» [$\text{кВт}/\text{м}^2$] (допускается принимать равной $450 \text{ кВт}/\text{м}^2$); φ – угловой коэффициент излучения с «огненного шара» на единую площадку на облучаемой поверхности; X – расстояние от точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» до облучаемого объекта [м]; H – высота центра «огненного шара» [м], которую допускается принимать равной $0,5D_{\text{эф}}$; $D_{\text{эф}}$ – эффективный диаметр «огненного шара» [м], определяемый по формуле

$$D_{\text{эф}} = 5,33m^{0,327}, \quad (94)$$

где m – масса горючего вещества [кг].

Масса горючего вещества определяется по формуле

$$m = V\rho_{\Gamma}a. \quad (95)$$

Угловой коэффициент излучения с «огненного шара» на единичную площадку на облучаемой поверхности при $H = 0,5D_{\text{эф}}$ определяется по формуле

$$\varphi = \frac{1}{4\left[1 + (X / D_{\text{эф}})^2\right]^{1,5}}. \quad (96)$$

Время существования «огненного шара» τ [с] рассчитывается по формуле

$$\tau = 0,92m^{0,303}. \quad (97)$$

Т а б л и ц а 54

Исходные данные

№ варианта	Газ	ρ_{Γ}	$V_{\text{емкости}}$	a (степень заполнения емкости)	r – расстояние до объекта
1	Пропан	$530 \text{ кг}/\text{м}^3$	600 м^3	80 %	500 м
2	Пропан	$530 \text{ кг}/\text{м}^3$	100 м^3	75 %	400 м
3	Пропан	$530 \text{ кг}/\text{м}^3$	54 м^3	70 %	300 м
4	Пропан	$530 \text{ кг}/\text{м}^3$	50 м^3	65 %	200 м

Окончание табл. 54

№ варианта	Газ	ρ_{Γ}	$V_{\text{емкости}}$	a (степень заполнения емкости)	r – расстояние до объекта
5	Пропан	530 кг/м ³	25 м ³	60 %	50 м
6	Пропан	530 кг/м ³	20 м ³	55 %	40 м
7	Пропан	530 кг/м ³	12 м ³	50 %	35 м
8	Пропан	530 кг/м ³	10 м ³	45 %	30 м
9	Пропан	530 кг/м ³	8 м ³	40 %	25 м
10	Пропан	530 кг/м ³	5 м ³	30 %	10 м
11	Бутан	580 кг/м ³	600 м ³	80 %	500 м
12	Бутан	580 кг/м ³	100 м ³	75 %	400 м
13	Бутан	580 кг/м ³	54 м ³	70 %	300 м
14	Бутан	580 кг/м ³	50 м ³	65 %	200 м
15	Бутан	580 кг/м ³	25 м ³	60 %	50 м
16	Бутан	580 кг/м ³	20 м ³	55 %	40 м
17	Бутан	580 кг/м ³	12 м ³	50 %	35 м
18	Бутан	580 кг/м ³	10 м ³	45 %	30 м
19	Бутан	580 кг/м ³	8 м ³	40 %	25 м
20	Бутан	580 кг/м ³	5 м ³	30 %	10 м
21	Ацетилен	1,173 кг/м ³	600 м ³	80 %	500 м
22	Ацетилен	1,173 кг/м ³	100 м ³	75 %	400 м
23	Ацетилен	1,173 кг/м ³	54 м ³	70 %	300 м
24	Ацетилен	1,173 кг/м ³	50 м ³	65 %	200 м
25	Ацетилен	1,173 кг/м ³	25 м ³	60 %	50 м
26	Ацетилен	1,173 кг/м ³	20 м ³	55 %	40 м
27	Ацетилен	1,173 кг/м ³	12 м ³	50 %	35 м
28	Ацетилен	1,173 кг/м ³	10 м ³	45 %	30 м
29	Ацетилен	1,173 кг/м ³	8 м ³	40 %	25 м

Порядок выполнения задания

1. Из табл. 54 по номеру своего материала выбирать исходные данные.
2. Исходя из объема резервуара, плотности вещества и степени заполнения резервуара определить массу сжиженного газа.
2. По значению массы вещества по формуле (95) рассчитать эффективный диаметр «огненного шара» $D_{эф}$.
3. По значениям расстояния X и эффективного диаметра $D_{эф}$ по формуле (96) определить угловой коэффициент излучения с поверхности «огненного шара» φ .
4. Рассчитать высоту центра «огненного шара» над землей.
5. По формуле (93) рассчитать плотность потока с поверхности «огненного шара».
6. По формуле (97) рассчитать время существования «огненного шара» $q_{пад}$.
7. По формулам из табл. 55 и по значениям пробит-функции табл. 56 определить степень термического поражения людей, находящихся на месте аварии.

Таблица 55

Формулы пробит-функций $R_{Г}$ в зависимости от степени термического поражения

Степень поражения	Формула
Ожог 1 степени	$R_{Г} = -34,8 + 3,02 \ln(q^{1,33} \cdot \tau)$
Ожог 2 степени	$R_{Г} = -38,1 + 3,02 \ln(q^{1,33} \cdot \tau)$
Смертельное поражение	$R_{Г} = -31,4 + 2,56 \ln(q^{1,33} \cdot \tau)$

Таблица 56

Зависимость степени поражения $R_{пор}$, %, от пробит-функции

	Пробит-функция									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72

	Пробит-функция									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,82
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Задача 19

Определить значение избыточного давления во фронте ударной волны, образовавшейся при сгорании газопаровоздушной смеси, и степень разрушения здания, расположенного в зоне взрыва.

Методика расчета

Избыточное давление ΔP [кПа], развиваемое при сгорании газопаровоздушных смесей, рассчитывают по формуле

$$\Delta P = P_0 \Delta \left(\frac{0,8 m_{\text{пр}}^{0,33}}{R} + \frac{3 m_{\text{пр}}^{0,66}}{R^2} + \frac{5 m_{\text{пр}}}{R^3} \right), \quad (98)$$

где P_0 – атмосферное давление [кПа] (допускается принимать равным 101 кПа); R – расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака [м]; $m_{\text{пр}}$ – приведенная масса газа или пара [кг], рассчитанная по формуле

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} \right) m_{\text{г,п}} Z, \quad (99)$$

где $Q_{\text{сг}}$ – удельная теплота сгорания газа или пара [Дж/кг]; Z – коэффициент участия, который допускается принимать равным 0,1; Q_0 –

константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; $m_{г,п}$ – масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство [кг].

Импульс волны давления I [Па · с] рассчитывают по формуле

$$I = \frac{123m_{пр}^{0,66}}{R}. \quad (100)$$

Т а б л и ц а 57

Исходные данные

Вариант	Вещество	Расстояние до здания, м	Масса вещества, кг	$Q_{сг}$, Дж/кг
1	Мазут	50	100	$39,2 \cdot 10^6$
2	Нефть	100	150	$41 \cdot 10^6$
3	Керосин	150	200	$40,8 \cdot 10^6$
4	Бензин	100	100	$44 \cdot 10^6$
5	Дизельное топливо	70	50	$42,7 \cdot 10^6$
6	Пропан	500	400	$47,54 \cdot 10^6$
7	Этилен	200	300	$48,0 \cdot 10^6$
8	Метан	1000	600	$50,1 \cdot 10^6$
9	Метанол	70	100	$22,7 \cdot 10^6$
10	Водород	1500	300	$120,9 \cdot 10^6$
11	Спирт этиловый	100	150	$25 \cdot 10^6$
12	Сжиженный газ	1000	400	$45,2 \cdot 10^6$
13	Природный газ	2000	500	$38,23 \cdot 10^6$
14	Сланцевый газ	50	60	$14,5 \cdot 10^6$
15	Сланцевый мазут	100	120	$38 \cdot 10^6$

Порядок выполнения задания

1. Из табл. 57 по номеру варианта выбрать исходные данные.
2. По выбранной из табл. 57 удельной теплоте сгорания газа или пара и массе рассчитать приведенную массу газа или пара.
3. По формуле (98) рассчитать избыточное давление во фронте волны на заданном расстоянии.
4. По формуле (100) определить значение импульса давления волны.
5. По данным табл. 58 найти степень разрушения здания.

Критические значения избыточного давления во фронте ударной волны

Степень разрушения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	70...100
50 %-ное разрушение зданий	50...70
Средние повреждения зданий	30...50
Слабые повреждения зданий	5...30

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность жизнедеятельности в техносфере: учеб. пособие / под ред. О.Н. Русака, В.Я. Кондрасенко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001.
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. СанПиН 2.21/2.1.1.1278–03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
4. Соболев Ю.И., Парахин А.М. Проектирование и расчет искусственного освещения. Ч. 1: метод. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
5. Соболев Ю.И. Парахин А.М. Проектирование и расчет искусственного освещения. Ч. 2: метод. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.
6. Парахин А.М., Тихонова О.В. Проектирование и расчет защитного заземления: метод. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013.
7. Соболев А.М., Бородин А.И. Расчет зануления на соответствие правилам безопасности: метод. указания. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
8. Баландина Е.А. Производственная санитария и гигиена труда: метод. указания. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011.
9. Баринов А.В., Батырев В.В. Теория горения и взрыва: учеб. пособие. – Химки, 2006.
10. Сугак Н.Ю., Мочалов С.В. Расчет взрывчатых характеристик ВВ: учебное пособие. – Бийск: АГТУ, 2013.
11. ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
12. Временные санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиотехническими объектами. – 19 января 1984 г. – № 2963–84.
13. Баклашов Н.И. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989.

ПРИЛОЖЕНИЕ

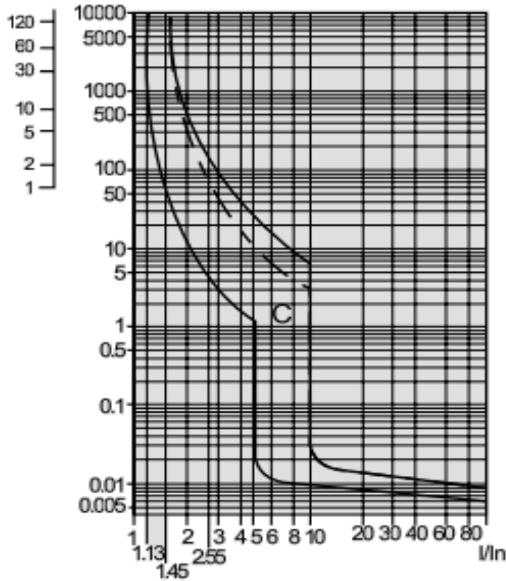
Выключатели автоматические типа ВА47-29

Автоматические выключатели ВА47-29 предназначены для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку:

- электроприборы, освещение – выключатели с характеристикой В;
- двигатели с небольшими пусковыми токами (компрессор, вентилятор) – выключатели с характеристикой С;
- двигатели с большими пусковыми токами (подъемные механизмы, насосы) – выключатели с характеристикой D.

Автоматические выключатели ВА47-29 рекомендуются к применению в вводно-распределительных устройствах для жилых и общественных зданий.

200 типоразмеров на 18 номинальных токов от 0,5 до 63 А.



Время-токовые характеристики автоматического выключателя типа ВА47-29 (при температуре окружающей среды 30 °С)

Примечание. Пунктирная линия – верхняя граница время-токовой характеристики для автоматических выключателей с номинальным током $I_n \leq 32$ А.

Выключатели автоматические типа ВА57-35

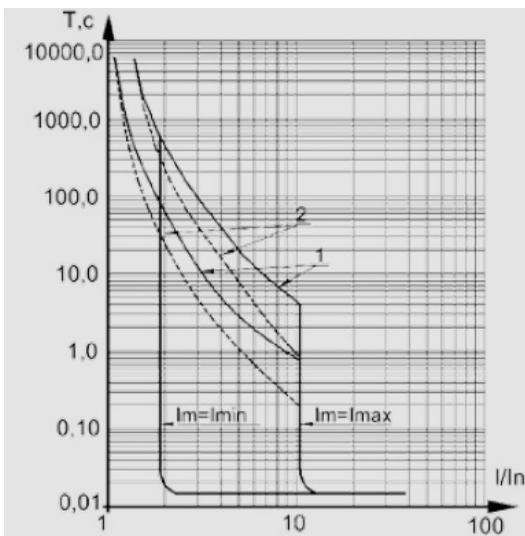
Выключатели данного типа имеют следующие особенности.

1. Трехполюсные автоматические выключатели КЭАЗ типа ВА57-35 предназначены для применения в электрических цепях с напряжением 400 / 690 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц и 440 В постоянного тока, их защиты от токов короткого замыкания, токов перегрузки, недопустимых снижений напряжения, а также для нечастых оперативных включений и отключений.

2. Номинальные токи выключателей до 250 А.

3. Отключающая способность – до 40 кА.

4. Широкий диапазон уставок электромагнитных расцепителей.



Время-токовые характеристики выключателей ВА57-39 при одновременной нагрузке всех полюсов при контрольной температуре $30 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$:

I – зона работы теплового максимального расцепителя тока, снятая с холодного состояния; 2 – зона работы теплового максимального расцепителя тока, снятая с нагретого состояния; I_m – уставка электромагнитного расцепителя тока короткого замыкания; T , с – время срабатывания; I/In – ток кратный номинальному

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Задачи.....	4
Библиографический список	86
Приложение.....	87
Выключатели автоматические типа ВА47-29	87
Выключатели автоматические типа ВА57-35	88

**Парахин Анатолий Михайлович
Илюшов Николай Яковлевич**

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

Учебное пособие

Редактор *М.О. Мокшанова*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Корректор *И.Е. Семенова*
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 21.06.2016. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 200 экз.
Уч.-изд. л. 5,34. Печ. л. 5,75. Изд. № 352/15. Заказ № 943. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20