

Министерство образования и науки РФ
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Тимофеева С.С.
Цветкун Н.В.

Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности

Практические работы

Издательство
Иркутского государственного технического университета
2015

УДК 331.47:613.6:614.8

Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности: практические работы и методические указания к выполнению / Тимофеева С.С., Цветкун Н.В.. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015.- 84с.

Учебное пособие соответствует требованиям ФГОС для магистрантов по направлению 20.04.01 «Техносферная безопасность» профиль подготовки: «Народосбережение. Управление профессиональными, экологическими и аварийными рисками»

Предназначено для магистрантов технических университетов, обучающимися по направлению магистратуры 20.04.01 «Техносферная безопасность», также слушателями курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров, специалистов по охране труда промышленных предприятий и широкого круга заинтересованных читателей.

Рецензенты:

доктор биологических наук профессор кафедры гидробиологии ИрГТУ
Д.И. Стом

канд. техн. наук доцент кафедры экологии и БЖД ИрГУПС **С.Е. Съемщиков**

© Иркутский государственный
технический университет, 2015

Развитие промышленности требует создания высокоэффективных, надежных и безопасных в эксплуатации технологических процессов, машин, механизмов и аппаратов.

Воздействие на человека в процессе труда химически и физически опасных и вредных производственных факторов, обуславливает необходимость детальной проработки вопросов, выбора средств защиты обслуживающего персонала. Существующие специфические требования безопасности труда рассредоточены по большому количеству документов различного уровня. Это затрудняет принятие решения при проектировании аппаратов, что, в конечном итоге, отрицательно влияет на уровень безопасности разрабатываемого оборудования.

Общие методические указания по выполнению практических работ

Практические работы рассчитаны на двухчасовые занятия в аудитории подготовленных магистрантов. Каждый магистрант выполняет индивидуальное задание по условиям, приведенным в работе. Номер задания, выполняемого магистрантом соответствует номеру, под которым он записан в журнале. При необходимости преподаватель может изменить объем и содержание работ или предложить выполнить работы по отдельным частям задания либо их части.

По каждой выполненной расчетной работе оформляется отчет по ниже приведенной форме.

Отчет

по практической работе

1. Цель и задачи работы
2. Краткое описание сущности методики и принципов расчетов.
3. Расчеты.
4. Графики.
5. Выводы по работе

Работу выполнил

магистрант группы

Ф. И. О.

Проверил

Ф. И. О.

При оформлении расчетной работы необходимо указать определяемую величину, привести общую расчетную формулу с последующей расшифровкой всех составляющих формулы и указанием их количественных значений, размерности, подставить значения составляющих и произвести расчет. Недостающие данные принимаются по таблицам, приведенным в пособии или самостоятельно.

Выводы по работе должны содержать основные расчетные значения определяемых величин.

Полностью подготовленный отчет предоставляется преподавателю на проверку и защиту выполненной работы. Защита работ производится в установленные преподавателем сроки.

Практическая работа №1

Расчет предохранительных устройств

Цель работы: освоить методики расчета предохранительных устройств.

Основные положения

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления, представляет серьезную опасность при эксплуатации из-за разрушения под действием давления газов. Поэтому во всех случаях, когда в аппарате может быть превышено предельно допустимое давление, определяемое его прочностью, аппарат должен быть надежно защищен от разрушения с помощью различных предохранительных устройств (ПУ), работающих по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды. Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут являться внезапные, не предусмотренные рабочим процессом случаи:

а) приток в аппарат газа, пара или жидкости при закрытом выходе из него;

б) обогрев или нарушение охлаждения аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции;

в) взрыв среды в аппарате.

Причинами аварийного повышения давления могут являться:

а) ошибки обслуживающего персонала;

б) отказ запорно-регулирующей арматуры;

в) нарушение функционирования системы автоматического управления;

г) внезапное разрушение внутренних устройств аппарата: труб, змеевиков, рубашек и др.;

д) замерзание охлаждающей воды;

е) выход из-под контроля химических реакций;

ж) интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т. п.

Для выбора предохранительного устройства необходимо знать величину аварийного притока среды и характер его изменения в зависимости от источника повышения давления.

Наиболее опасной аварийной ситуацией является та, при которой в аппарат поступает наибольшее количество среды или давление растет с максимальной скоростью. Выбор ПУ следует выполнять именно на такие экстремальные условия.

Под аварийным расходом m_a понимают массовый расход среды через ПУ при давлении, превышающем рабочее давление в аппарате на величину, определяемую Правилами Росгортехнадзора России.

Аварийный расход среды m_a , кг/с, в различных случаях определяют следующим образом. При постоянной подаче рабочей среды в аппарат

поршневыми компрессором и насосом в случае перекрытия выхода среды из аппарата аварийный расход равен массовой подаче компрессора (m_k) или насоса (m_n)

$$m_a = m_k; m_a = m_n \quad (1)$$

При внезапном разрушении элементов внутренних устройств с выходом среды из них в корпус аппарата, имеющего давление ниже, чем в разрушенных элементах, аварийный расход определяют как максимально возможный расход среды через максимально возможную площадь сечения разрушенного элемента (элементов). Он зависит от площади сечения разрушения F_a , давления P_{1a} и температуры t_{1a} в разрушенном элементе, рабочего давления в корпусе аппарата P_{2a} физико-химических свойств среды в разрушенном элементе (показателя адиабаты k_a , удельной газовой постоянной R_a , молярной массы (M) и коэффициента расхода через отверстие разрушения α_a . При отказе запорной арматуры и перетекании среды из полости более высокого давления в полость более низкого давления аварийный расход определяют аналогично предыдущему случаю, но при площади сечения и коэффициенте расхода полностью открытой арматуры. Расчетные формулы для определения аварийного расхода в этом случае те же, что и при определении пропускной способности ПУ.

При пожаре вблизи аппарата, заполненного жидкостью и имеющего закрытый выход, аварийный расход определяют по формуле

$$m_a = k F_{\text{ап}} \frac{(t_r - t_{\text{ж}})}{r}, \quad (2)$$

где $F_{\text{ап}}$ – площадь наружной поверхности аппарата, м^2 ; t_r – температура азотовоздушной смеси, омывающей при пожаре наружную поверхность аппарата, (принимают $t_r = 600-700$ °С); $t_{\text{ж}}$ – температура кипения жидкости при давлении внутри аппарата; r – теплота испарения жидкости при температуре $t_{\text{ж}}$, Дж/кг ; k – общий коэффициент теплопередачи от окружающей газовой смеси через стенку аппарата к содержащейся в нем жидкости, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; для неизолированных неохлаждаемых аппаратов принимают $k = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; для изолированных и охлаждаемых аппаратов k определяют в зависимости от степени охлаждения, толщины и коэффициента теплопроводности изоляции.

Для аппаратов, имеющих специальное водное оросительное устройство, в числителе формулы (2) вводят понижающий коэффициент 0,5. Избыточное давление для системы определенного объема зависит от интенсивности тепловыделения и теплового обогрева, а аварийный расход, т. е. количество рабочей среды, подлежащей сбросу в аварийном режиме, может быть различным в каждом конкретном случае. Например, в аппаратах, где химические реакции протекают с выделением тепла и недостатком его

отводе вследствие нарушения системы охлаждения, а также при непредусмотренном технологическим процессом обогреве.

Для определения величины аварийного притока среды в случае выхода из-под контроля химических реакций или прорыва легкокипящих жидкостей необходимо знать динамику развития процессов. Во многих случаях наиболее опасной аварийной ситуацией является взрыв технологической среды внутри аппарата.

Основной характеристикой динамики развития взрыва является скорость роста давления $dp/d\tau$, которая зависит от физико-химических свойств взрывоопасной среды, степени ее турбулизации в аппарате, от объема и формы аппарата и других факторов. Аварийный расход в этом случае связан с соответствующей ему скоростью нарастания давления уравнением состояния

$$m_a = \frac{MV}{R_y T_m} \frac{dp}{d\tau}, \quad (3)$$

где M – молярная масса технологической среды в аппарате, кг/кмоль; V – емкость аппарата, м³; R_y – универсальная газовая постоянная ($R_y = 8314$ Дж/(кмоль·К); T_m – средняя абсолютная температура продуктов взрыва, К; p – абсолютное давление, Па; $dp/d\tau$ – скорость роста давления в аппарате при взрыве, Па/с. Максимальную скорость роста давления в аппарате определяют по следующей формуле

$$\frac{dp}{d\tau} = K_T \left(\frac{dp_0}{d\tau_0} \right) \frac{p_p + 0,1}{0,1} \sqrt{\frac{V_0}{V}}, \quad (4)$$

где K_T – коэффициент турбулизации фронта пламени; $(dp_0/d\tau_0)$ – максимальная скорость роста давления в экспериментальной бомбе емкостью $V_0 = 0,01$ м³ при взрыве смеси технологической среды с воздухом, имеющей оптимальную концентрацию и содержащейся без начального избыточного давления при температуре 300 К; p_p – рабочее давление технологической среды в аппарате до возникновения взрыва, МПа.

Расчет предохранительных устройств

В соответствии с требованиями Росгортехнадзора РФ для аппаратов, работающих под давлением пара или газа, число предохранительных устройств (ПУ), их размеры и пропускную способность выбирают таким образом, чтобы избыточное давление в аппарате p_1 при действии ПУ не превышало следующих допустимых значений:

p_p , МПа	$\leq 0,3$	от $> 0,3$ до $\leq 0,6$	$> 0,6$
p_1 , МПа	$p_p + 0,05$	$1,15 p_p$	$1,1 p_p$

В обоснованных случаях, например при резких колебаниях давления рабочей среды в защищаемой системе, допускается во время действия ПУ

повышение давления в аппарате до 25 % от рабочего при условии, что это превышение давления предусмотрено проектом и отражено в паспорте аппарата.

Для аппаратов, работающих под давлением жидкости, превышение давления над избыточным рабочим при работе ПУ допускается не более чем на 0,1 МПа для рабочих давлений до 0,4 МПа включительно и на 25 % от p_p для более высоких рабочих давлений. Кроме того, следует учитывать, что при допущении повышения давления в аппарате во время действия ПУ более чем на 10 % от p_p этот аппарат необходимо рассчитывать на прочность по давлению, равному 90 % от давления при полном открытии ПУ, но не менее, чем рабочее давление.

Рабочее давление (p_p) – наибольшее избыточное давление в аппарате при нормальном протекании технологического процесса без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия ПУ.

Расчетное давление (p_R) – наименьшее избыточное давление, принятое при расчете на прочность элементов аппарата, работающего под давлением, равное рабочему давлению или превышающее его.

Максимально допустимое давление в аппарате (p_1) – максимальное избыточное давление в защищаемом ПУ аппарате, допускаемое официальными нормами при сбросе среды через ПУ.

Давление настройки (p_n) предохранительного клапана (ПК) – наибольшее избыточное давление на входе в ПК, при котором обеспечивается заданная герметичность в затворе. Давление p_n равно рабочему или превышает его, но не более чем на 25 %.

Давление потери герметичности ПК ($p_{п.г}$) – избыточное давление на входе в ПК, при котором начинается протечка, превышающая допустимую; значение $p_{п.г}$ несколько выше p_n .

Давление начала открытия ПК ($p_{н.о}$) – избыточное давление на входе в ПК, при котором сила, направленная на открытие клапана, уравновешена силами, удерживающими золотник на седле. При этом давлении заданная герметичность в затворе нарушена и начинается подъем золотника

$$p_{н.о} \geq 1,05 p_p.$$

Давление полного открытия ПК ($p_{п.о}$) – наименьшее избыточное давление на входе в ПК, при котором золотник клапана поднят на расчетную высоту, обеспечивающую заданную пропускную способность ПК.

Давление закрытия ПК (p_3) – избыточное давление на входе в ПК, при котором после сброса технологической среды происходит посадка золотника на седло с обеспечением заданной герметичности.

Давление срабатывания ПМ (p_1) – избыточное давление в аппарате на входе в ПМ, при котором происходит разрушение мембраны. Назначают минимальное и максимальное значения p_1 в зависимости от p_p и p_R в защищаемом аппарате. При этом минимальное значение $p_{1 \min}$ принимают не

менее чем $1,05p_p$ для исключения возможности ложных срабатываний ПМ, а максимальное $p_{1\max}$ должно быть не больше $1,1 p_R$.

Противодавление (p_2) – максимальное избыточное давление за ПУ, равное статическому давлению в закрытой емкости, куда сбрасывается среда из ПУ, или атмосферному давлению при сбросе среды на свечу.

В зависимости от давления перед ПУ и размеров сбросной системы в ней при работе ПУ может образоваться динамическое противодавление, которое прибавляется к статическому давлению p_2 .

Предохранительные устройства (ПУ) – вид арматуры, используемой для автоматического выпуска рабочей среды из аппарата при чрезмерном повышении давления в нем.

По кратности использования ПУ подразделяют на две основные группы:

а) многократно используемые устройства – предохранительные клапаны с самодействующим замыкающим элементом;

б) устройства однократного действия – предохранительные мембраны – специально ослабленные элементы с точно рассчитанным порогом разрушения по давлению.

Примеры расчета предохранительных устройств

При расчете предохранительных устройств (ПУ) может стоять одна из двух задач:

а) рассчитать размеры ПУ для заданных условий работы, выбрать его по каталогу, стандарту или другой документации;

б) рассчитать пропускную способность ПУ заданного типоразмера и определить его пригодность для работы в заданных условиях.

Порядок расчета при определении размеров и выборе предохранительного устройства следующий.

1. Определить характер и величину аварийного расхода.
2. Определить допускаемое превышение давления в аппарате при работе ПУ.
3. Определить характеристику среды перед и за ПУ.
4. Рассчитать характеристики размера ПУ.
5. Выбрать соответствующий тип ПУ.
6. Выбрать ПУ по каталогу, стандарту или чертежам с гарантированными значениями α и F_R так, чтобы расчетные значения отвечали условиям:

$$(\alpha F)_R \leq \alpha F$$

Порядок расчета при определении пропускной способности заданного ПУ следующий.

1. Определить характер и величину аварийного расхода
2. Определить допускаемое превышение давления в аппарате при работе ПУ.
3. Определить характеристику среды перед и за ПУ.

4. Рассчитать пропускную способность предохранительного устройства.

5. Сопоставить расчетную пропускную способность m_R с аварийным расходом m_a . Устройство пригодно для заданных условий работы, когда $m_R \geq m_a$.

Пример 1. Рассчитать и выбрать ПУ для защиты аппарата, в который поршневой компрессор подает воздух в количестве $m_k = 7200$ кг/ч. Избыточное рабочее давление в аппарате $p_p = 0,8$ МПа, температура $T_p = 420$ К. Воздух из ПУ сбрасывается в атмосферу. Максимальный аварийный приток воздуха может появиться при ошибочном перекрытии запорного вентиля за аппаратом. В этом случае $m_a = m_k = 7200$ кг/ч.

Решение.

Максимально допустимое давление в аппарате при срабатывании ПУ, согласно Правилам Ростехнадзора, составляет:

$p_1 = 1,15p_p = 1,15 \cdot 0,8 = 0,92$ МПа. Давление сброса $p_2 = 0$; молярная масса воздуха $M = 28,96$ кг/кмоль; показатель изэнтропы при нормальных условиях $k_n = 1,4$; параметры критической точки: $p_{кр} = 3,77$ МПа; $T_{кр} = 132,5$ К (см. таблицу 1).

Температура T_1 при давлении p_1 несколько выше, чем при рабочем давлении p_p , и может быть определена по формуле:

$$T_1 = T_p \left(\frac{p_1 + 0,1}{p_p + 0,1} \right)^{\frac{k_n - 1}{k_n}}$$

При этом следует учитывать, что определять температуру в зависимости от давлений следует не по k , а по k_n . При расчете по T_p пропускная способность ПУ завышается.

Температура воздуха при давлении p_1

$$T_1 = 420 \left[\frac{(0,92 + 0,1)}{(0,8 + 0,1)} \right]^{(1,4 - 1)/1,4} = 435 \text{ К.}$$

Приведенные параметры: $\pi_1 = (0,92 + 0,1)/3,77 = 0,27$; $\tau_1 = 435/132,5 = 3,28$.

Так как $\pi_1/\tau_1 = 0,27/3,28 = 0,082 < 0,5$, то, следовательно, $k_1 = k_n = 1,4$; $k_2 = k_n = 1,4$ и $k = k_n = 1,4$. Критическое отношение давлений $\beta^* = 0,528$ К (см. таблицу 1); коэффициент сжимаемости при p_1 и T_1 имеет значение $z_1 = 1,0$

Отношение давлений за и перед ПУ

$$\beta = (0 + 0,1)/(0,92 + 0,1) = 0,098,$$

что меньше значений $\beta^* = 0,528$ и $p^*_{кл} = 0,3$. Следовательно, $B_2 = 1$.

При $k = 1,4$ $B_3 = 0,484$ и $B_1(z=1) = 0,68$. Тогда $B_1 = 0,68 / \sqrt{1} = 0,68$.

При $m = m_a$ расчетная величина

$$(\alpha_1 F)_R = \frac{7200}{10 \cdot 0,68 \cdot 1 \cdot (0,92 + 0,1)} = 1035 \text{ мм}^2.$$

В соответствии с рекомендациями выбираем в качестве ПУ пружинный полноподъемный предохранительный клапан с $\alpha_1 = 0,6$

Площадь узкого сечения седла ПК

$$(F_c)_R = \frac{(\alpha_1 F)_R}{\alpha_1} = \frac{1035}{0,6} = 1727 \text{ мм}^2$$

Диаметр узкого сечения седла

$$(d_c)_R = \sqrt{\frac{(F_c)_R}{0,785}} = 47 \text{ мм}^2$$

Выбираем клапан пружинный полноподъемный фланцевый типа СППК4Р–16 (17с17нж) для неагрессивных сред с температурой до 450 °С, имеющий следующие параметры: $p_y = 1,6 \text{ МПа}$ ($>p_p = 0,8 \text{ МПа}$); $d_c = 50 \text{ мм}$ ($>(d_c)_R = 47,0 \text{ мм}$); $\alpha_1 = (\alpha_1)_R = 0,6$; пружина № 123 на давление открытия $p_n = 0,35\text{--}0,95 \text{ МПа}$

$D_y = 100 \text{ мм}$; $D_{y1} = 125 \text{ мм}$.

Применение ПК с проходным сечением $(\alpha_1 F)_D$, большим расчетной величины $(\alpha_1 F)_R$, вызовет снижение давления в защищаемом аппарате при полностью открытом клапане. Это давление (в данном случае при $\beta \leq \beta_{\text{кл}}^*$ и $B_2 = q = 1$) находят по формуле: $(p_1)_D = (p_1 + 0,1)(\alpha_1 F)_R / (\alpha_1 F)_R - 0,1$;

Таблица 1

Характеристика газов и паров

Газ	Химическая формула	кн	β	М, кг/кмоль	Параметры критической точки	
		При 0 °С и избыточном давлении 0,101 МПа			р _{кр.т} (абс.), МПа	Т _{кр.т} , К
Азот	N ₂	1,40	0,528	28,02	3,35	126,0
Аммиак	NH ₃	1,32	0,543	17,03	11,30	405,4
Аргон	Ar	1,67	0,488	39,94	4,80	150,6
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,23	0,559	26,04	6,24	308,5
Бутан	C ₄ H ₁₀	1,10	0,585	58,12	3,89	425,0
Водород	H ₂	1,41	0,527	2,02	1,28	32,8
Воздух	-	1,40	0,528	28,96	3,77	132,5
Двуокись углерода	CO ₂	1,31	0,546	44,01	7,53	304,4
Дифтордихлорметан	CF ₂ Cl ₂	1,14	0,576	120,92	3,96	384,7
Кислород	O ₂	1,40	0,528	32,00	5,01	154,6
Метан	CH ₄	1,30	0,546	16,04	4,64	190,5
Окись углерода	CO	1,40	0,528	28,01	3,45	133,0
Пропан	C ₃ H ₈	1,14	0,576	44,09	4,27	369,8
Сероводород	H ₂ S	1,30	0,546	34,08	9,00	373,4
Хлор	Cl ₂	1,34	0,540	70,91	7,61	417,0
Этан	C ₂ H ₆	1,22	0,560	30,07	4,86	305,3
Этилен	C ₂ H ₄	1,24	0,557	28,05	5,03	282,9

так как $(\alpha_1)_R = (\alpha_1)_D$, то в аппарате устанавливается давление:

$$(p_1)_D = (p_1 + 0,1)(d_c)_R^2 / (d_c)^2_D - 0,1 = (0,92 + 0,1)47^2 / 50^2 - 0,1 = 0,805 \text{ МПа}$$

Если бы при тех же условиях было $m_k = 500 \text{ кг/ч}$, то

$$(\alpha_1 F)_R = \frac{500}{10 \cdot 0,68 \cdot 1(0,92 + 0,1)} = 72,1 \text{ мм}^2;$$

$$(F_c)_R = \frac{72,1}{0,6} = 121 \text{ мм}^2;$$

$$(d_c)_R = \sqrt{\frac{121}{0,785}} = 12,4 \text{ мм.}$$

Так как по табл. наименьший диаметр ПК $d_c = 30$ мм, то при использовании такого клапана проходное сечение по сравнению с расчетным было бы завышено в $(30/12,4)^2 \approx 6$ раз, что неэкономично с точки зрения металлоемкости ПК и неблагоприятно с точки зрения динамики его работы. При полном открытии ПК давление в защищаемом аппарате резко упадет, вследствие чего клапан начнет закрываться.

При продолжении действия источника аварийного повышения давления это приведет к повторным открытиям ПК, т. е. к вибрации золотника и ударам его по седлу и ограничителю.

В данном случае целесообразнее применить специальный ПК в соответствии, имеющий $F_s = 95 \text{ мм}^2 > (\alpha_1 F)_R = 72,1 \text{ мм}^2$ при $d_c = 12$ мм и $\alpha_1 \approx 0,8$. Тогда при открытом ПК в аппарате установится давление $(p_1)_d = (0,92 + 0,1)72,1^2 / 95^2 - 0,1 = 0,635$ МПа.

Пример 2. Рассчитать пропускную способность предохранительной мембраны диаметром $d = 25$ мм, $\alpha_1 = 0,8$ и определить ее пригодность для защиты от повышения давления вследствие пожара вблизи аппарата, содержащего жидкий пропан при давлении 0,7 МПа и температуре 20 °С. Диаметр аппарата $D = 2$ м, длина $L = 4$ м. Аппарат без теплоизоляции и без специального охлаждения.

Решение.

Площадь наружной поверхности аппарата:

$$F = \pi DL = 3,14 \cdot 2 \cdot 4 = 25,12 \text{ м}^2.$$

Максимальный аварийный расход жидкого пропана по формуле (2) при $k = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $t_r = 700$ °С; $t_{ж} = 20$ °С; $r = 350 \cdot 10^3$ Дж/кг

$$m_a = \frac{25 \cdot 25,12 \cdot (700 - 200)}{350 \cdot 10^3} = 1,22 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \text{ или } 4400 \text{ кг/ч.}$$

Определим пропускную способность мембраны при условиях:

$p_1 = 1,15 \cdot 0,7 = 0,805$ МПа; $p_2 = 0$; $T_1 = 293$ К. Для пропана К (см. таблицу

1) $p_{кр} = 4,27$ МПа; $T_{кр} = 369,8$ К; $M = 44,09$ кг/кмоль; $k_n = 1,14$. Тогда

$$\pi = \frac{0,805+0,1}{4,27} = 0,212; \tau_1 = \frac{293}{369,8} = 0,795; \frac{\pi_1}{\tau_1} = \frac{0,212}{0,795} = 0,366 < 0,5.$$

Принимаем $k = k_n = 1,14$; $\beta^* = 0,576$; $z_1 = 0,84$. Вычисляем β :

$$\beta = \frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1} = \frac{0 + 0,1}{0,805 + 0,1} = 0,11 < \beta^* = 0,576.$$

Так как $\beta < \beta^*$ и $\beta < \beta_{кл}^* = 0,57 \cdot \beta^* = 0,33$, то принимаем $B_2 = 1$.

При $t = 20^\circ\text{C}$ для пропана $B_{1(z=1)} = 0,93$, тогда

$$B_1 = \frac{0,93}{\sqrt{0,84}} = 1,01.$$

Откуда находим

$$m = 10 \cdot 1,01 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,785 \cdot 252 \cdot (0,805 + 0,1) = 3570 < m_a = 4400 \text{ кг/ч.}$$

Следовательно, мембрана диаметром 25 мм не обеспечивает защиту аппарата при заданных условиях.

Задание на расчет

Задача 1. Рассчитать и выбрать ПУ для защиты аппарата, в который поршневой компрессор подает воздух в количестве m_k , кг/ч. Избыточное рабочее давление в аппарате p_p , МПа, температура T_p , К. Воздух из ПУ сбрасывается в атмосферу. Максимальный аварийный приток воздуха может появиться при ошибочном перекрытии запорного вентиля за аппаратом. В этом случае $m_a = m_k$

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Подаваемый воздух m_k , кг/ч.	7250	7300	7400	7350	7250	7300	8000	7250	7300	7400	7350	7250
Избыточное рабочее давление в аппарате p_p , МПа	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,7	0,9	1,0	0,9
Температура T_p , °C	350	380	420	430	420	380	390	420	380	450	390	450

Задача 2. Рассчитать пропускную способность предохранительной мембраны диаметром $d = 25$ мм, $\alpha_1 = 0,8$ и определить ее пригодность для защиты от повышения давления вследствие пожара вблизи аппарата, содержащего жидкий пропан при давлении 0,7 МПа и температуре 20°C . Диаметр аппарата $D = 2$ м, длина $L = 4$ м. Аппарат без теплоизоляции и без специального охлаждения.

Практическая работа №2

Определение огнестойкости зданий и сооружений

Цель работы: освоить методики оценки огнестойкости конструкции, зданий и сооружений.

Общие положения

Пожарная безопасность - это состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Все здания и сооружения представляют собой объекты, которые имеют ту или иную степень пожарной опасности. Это значит, что здания и сооружения в подавляющем своем большинстве содержат горючие вещества в количествах, достаточных для нанесения ущерба, окислитель (кислород воздуха) и возможные источники зажигания, т.е. совокупность условий, способствующих возникновению пожара и определяющих его возможные масштабы и последствия.

Основной проблемой пожарной безопасности зданий является приведение изначально пожароопасных объектов в такое состояние, при котором исключается возможность пожара на объекте, а в случае возникновения пожара обеспечивается защита людей и материальных ценностей от опасных факторов пожара.

Пожарная безопасность объекта и его составных частей должна обеспечиваться на всех этапах их существования, как при строительстве, эксплуатации, так и в случаях реконструкции, ремонта или аварийной ситуации.

Согласно ГОСТ 12.1.004-85 пожарная безопасность объекта обеспечивается:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

В основу противопожарного нормирования заложено обязательное требование о выполнении общего условия пожарной безопасности зданий и сооружений.

Общее условие обеспечения пожарной безопасности объекта можно сформулировать следующим образом: пожарная безопасность объекта будет обеспечена, если фактическая совокупность мер по обеспечению пожарной безопасности объекта $\sum M^{\phi}$ будет соответствовать (равняться или превышать) совокупность этих мер ($\sum M^{mp}$), требуемую специальными нормами и правилами, утвержденными в установленном порядке, т.е.

$$\sum M^{\phi} \geq \sum M^{mp} \quad (1)$$

$$\text{где} \quad \sum M^{\phi} = \sum M_{\text{пр.п.}} + \sum M_{\text{защ.п.}} + \sum M_{\text{орг.техн.}}, \quad (2)$$

где $\sum M_{\text{пр.п.}} + \sum M_{\text{защ.п.}} + \sum M_{\text{орг.техн.}}$ - соответственно сумма мер по

предотвращению пожара, защите от пожара, организационно-техническим мероприятиям.

Основные требования к системе предотвращения пожара и организационно-техническим мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности изложены в ГОСТ 12.1.004-85.

Так как основной объем инженерных решений по обеспечению пожарной безопасности строительных объектов, осуществляемых на стадии проектирования, относится к разработке системы мер по противопожарной защите помещений, зданий и других строительных сооружений, то ниже более подробно будет рассмотрен вопрос о том, из каких основных элементов состоит система противопожарной защиты зданий.

Элементы системы противопожарной защиты зданий по способу реализации своих защитных функций при возникновении пожара, делятся на две группы:

1. Элементы пассивной защиты помещений и зданий от пожара, реализующие свои защитные функции «пассивно», не воздействуя непосредственно на очаг пожара.

2. Элементы активной защиты помещений и зданий от пожара, реализующие свои защитные функции «активно», путем прямого воздействия на очаг пожара или подачи сигнала о его возникновении.

Пассивная защита помещений и зданий включает следующие основные элементы:

- применение основных строительных конструкций объектов с регламентируемыми пределами огнестойкости;
- применение противопожарных преград, обеспечивающих ограничение распространения пожара из одной части здания в другую;
- организация своевременной эвакуации людей из помещений и зданий до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, путем установления требуемого количества, размеров и соответствующего конструктивного исполнения эвакуационных путей, выходов;
- применение систем противодымной защиты обеспечивающих незадымление, снижение температуры и удаление продуктов горения на путях эвакуации в течение времени, достаточного для эвакуации людей;
- обеспечение необходимых разрывов между зданиями и сооружениями для ограничения распространения пожара от одного здания к другому, возможности использования противопожарной техники и доступа в любое помещение с ее помощью;
- применение технических решений по взрывозащите зданий, имеющих взрывоопасные помещения, назначение которых состоит в снижении избыточного давления при возможном взрыве в помещении до величин, безопасных для основных несущих конструкций здания.

Активная защита помещений и зданий включает следующие элементы:

- применение установок пожарной сигнализации;

- применение средств пожаротушения, в том числе автоматического действия.

Оценка огнестойкости строительных конструкций и зданий

Понятие об огнестойкости конструкций

Различные строительные материалы, элементы конструкций, здания в целом по-разному ведут себя в условиях воздействия пожара. В связи с этим, при разработке системы мер по противопожарной защите помещений и зданий, возникла необходимость в специальном показателе, с помощью которого можно было бы сравнивать способность объектов сопротивляться воздействию пожара.

В качестве такого показателя было принято понятие об огнестойкости объектов.

Огнестойкость является международной пожарно-технической характеристикой, регламентируемой строительными нормами и правилами, и характеризует способность конструкций и зданий сопротивляться воздействию пожара.

Количественной характеристикой огнестойкости конструкций является «предел огнестойкости».

Предел огнестойкости - это промежуток времени (в минутах) от начала огневого испытания конструкции при стандартном температурном режиме до наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции, признаков предельных состояний:

1) потеря несущей способности - обрушение или недопустимый прогиб (обозначение - «R»);

2) потеря целостности - образование в конструкциях или стыках сквозных трещин или сквозных отверстий (обозначение в нормах - «E»);

3) потеря теплоизолирующей способности - повышение температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем больше чем на 160°C или в любой точке этой поверхности более чем до 190°C по сравнению с температурой конструкции до нагрева или более чем до 220°C независимо от температуры конструкции до нагрева («I»).

С учетом этих обозначений, значение предела огнестойкости в современных нормах и технической документации включает в себя обозначение предельного состояния (буквы R, E, I) и цифру, соответствующую пределу огнестойкости конструкции (в мин.) при достижении того или иного предельного состояния.

Например, в строительных нормах и правилах указывается, что предел огнестойкости конструкции равен R 120. Это значит, что конструкция должна иметь предел огнестойкости не менее 120 минут по признаку «R» - потеря несущей способности. Или предел огнестойкости конструкции равен REI 30. Это значит, что предел огнестойкости конструкции равен 30 минутам, независимо от того, какое из трех предельных состояний (R, E или I) наступило первым.

Экспериментальные методы и средства оценки огнестойкости включают в себя: натурные наблюдения пожаров, огневые испытания фрагментов зданий, огневые стандартные и нестандартные испытания элементов конструкций в натуральную величину, огневые испытания модельных конструкций.

Однако организация и проведение натурных испытаний конструкций на огнестойкость требует значительных материальных затрат и времени. В ряде случаев это не позволяет достаточно быстро находить приемлемые решения в области оценки огнестойкости конструкций на стадии проектирования зданий и сооружений, затрудняет качественную оценку влияния различных факторов на поведение конструкций в условиях пожара.

Указанные обстоятельства привели к необходимости наряду с натурными испытаниями разрабатывать более оперативные и экономичные методы оценки огнестойкости. Особенно большое внимание в последние годы уделяется разработке методов и средств расчетной оценки огнестойкости строительных конструкций.

Огнестойкость зданий и общий подход к ее оценке

Огнестойкость зданий характеризует способность зданий в целом сопротивляться воздействию пожара. В качестве характеристики огнестойкости зданий используется понятие о «степени огнестойкости» здания.

Здания и пожарные отсеки подразделяются на пять степеней огнестойкости: I, II, III, IV, V.

Для установления соответствия огнестойкости зданий требованиям пожарной безопасности используется понятие о «фактической степени огнестойкости» здания и «требуемой степени огнестойкости» здания.

Фактическая степень огнестойкости здания $D_{f.r}^{\phi}$ определяется фактическими пределами огнестойкости его основных конструкций $\tau_{f.r}^{\phi}$.

Требуемая степень огнестойкости $D_{f.r}^{mp}$ характеризует такую степень огнестойкости здания, которую требуют строительные нормы и правила для удовлетворения условиям пожарной безопасности объекта.

Показатели требуемой степени огнестойкости для зданий различного назначения приведены в СНиПах и СП 2.13130.2009 для проектирования соответствующих зданий и определяются в зависимости от класса, категории здания по взрывопожарной и пожарной опасности, площади этажа или пожарного отсека, числа этажей, класса конструктивной пожарной опасности здания (см. табл. 1)

Таблица 1

Требуемая степень огнестойкости производственных зданий в зависимости от категории зданий, их высоты, класса конструктивной пожарной опасности и площади этажа

Категория зданий или пожарных отсеков	Высота здания*, м	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Площадь этажа, м ² , в пределах пожарного отсека здания		
				одно-этажных	в два этажа	в три этажа и более
А, Б	36	I	CO	Не огр.	5200	
А	36	II	CO	Не огр.	5200	3500
	24	III	CO	7800	3500	2600
	-	IV	CO	3500	-	-
Б	36	II	CO	Не огр.	10400	7800
	24	III	CO	7800	3500	2600
	-	IV	CO	3500	-	-
В	48	I, II	CO	Не огр.	25000	10400
					7800**	5200**
	24	III	CO	25000	10400	5200
					5200**	3600**
	18	IV	C0,C1	25000	10400	-
	18	IV	C2,C3	2600	2000	—
	12	V	Не норм.	1200	600**	--
Г	54	I, II	CO	Не ограничивается		
	36	III	CO	Не огр.	25000	10400
	30	III	C1	Тоже	10400	7800
	24	IV	CO	«	10400	5200
	18	IV	C1	6500	5200	-
Д	54	I, II	CO	Не ограничивается		
	36	III	CO	Не огр.	50000	15000
	30	III	C1	Тоже	25000	10400
	24	IV	C0,C1	«	25000	7800
	18	IV	C2,C3	10400	7800	
	12	V	Не норм.	2600	1500	-

*Высота здания в данной таблице измеряется от пола 1-го этажа до потолка верхнего этажа, включая технический; при переменной высоте потолка принимается средняя высота этажа.

Высота одноэтажных зданий класса пожарной опасности CO и C1 не нормируется.

**Для деревообрабатывающих производств.

***Для лесопильных цехов с числом рам до четырех, деревообрабатывающих цехов первичной обработки древесины и рубильных станций дробления древесины.

Условие противопожарной защиты здания по показателю огнестойкости, с учетом вышеизложенного, формулируется следующим образом: если значения фактических пределов огнестойкости основных конструкций здания превышают или равны требуемым нормами значениям пределов огнестойкости этих конструкций, то фактическая степень огнестойкости здания $D_{f,r}^{\phi}$ соответствует требуемой $D_{f,r}^{mp}$, т.е.:

$$\text{если } (\tau_{f,r}^{\phi} \geq \tau_{f,r}^{mp})_{\text{осн. конструкции}}, \text{ то } D_{f,r}^{\phi} \text{ соответствует } D_{f,r}^{mp} \text{ ,. (3)}$$

Общий подход к оценке огнестойкости зданий предполагает решение следующих задач:

- определение требуемой степени огнестойкости здания по СНиП СП для соответствующего типа здания, в зависимости от его категории взрывопожарной опасности класса, площади этажа или пожарного отсека, числа этажей, класса конструктивной пожарной опасности здания;
- определение требуемых значений пределов огнестойкости основных конструкций здания в зависимости от полученного значения $D_{f,r}^{mp}$.
- по СНиП «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- определение фактических значений пределов огнестойкости основных конструкций здания по соответствующим справочным пособиям или с помощью расчета;
- проверка условия противопожарной защиты здания по показателю огнестойкости.

Расчет пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций

Пределы огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций могут быть определены путем расчета для двух предельных состояний: потеря несущей способности (R) и потеря теплоизолирующей способности (I).

В общем случае для расчета пределов огнестойкости рассматриваемых конструкций необходимо решение 2-х задач:

теплотехнической: расчет температур прогрева сечений бетонных и железобетонных конструкций при воздействии "стандартного" пожара;

прочностной: расчет изменения несущей способности конструкций в результате их прогрева при пожаре и определение момента времени, когда несущая способность конструкций снизится до уровня рабочих нагрузок.

Температуру бетона и арматуры конструкций при одной обогреваемой поверхности определяют по формуле

$$T(x, \tau) = 20 + 1200(1-r)^2, \quad (4)$$

$$\text{где } r = x^*/l \leq 1,0 \quad (5)$$

где l - толщина начавшего прогреваться слоя бетона, м;

$$l = \sqrt{12\alpha_{red}\tau} \quad (6)$$

α_{red} - значения приведенного коэффициента температуропроводности бетона ($\text{м}^2/\text{ч}$), которые определяются по таблице 6; τ - время воздействия пожара, ч; x^* - параметр, который определяется из выражения: при определении температуры прогрева бетона –

$$x^* = \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} \quad (7)$$

при определении температуры прогрева арматуры –

$$x^* = x + \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 * d_s \quad (8)$$

где x^* - расстояние от обогреваемой поверхности конструкции до рассматриваемого сечения бетона (в формуле (7)), или до ближайшего края арматуры (в формуле 8)), м; φ_1, φ_2 - коэффициенты, зависящие от плотности бетона и определяемые по табл. 7; d_s - диаметр рабочей арматуры, м.

Для плоских изгибаемых конструкций, подвергаемых при пожаре одностороннему высокотемпературному воздействию, значения предела огнестойкости может быть определено из выражения:

$$\tau_{f,r} = 1/12 * \alpha_{red} * \left((x + \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 * d_s) / 1 - \sqrt{(T_s^{cr} - 20)/1200} \right)^2 \quad (9)$$

где T_s^{cr} - критическая температура прогрева рабочей арматуры изгибаемой плоской железобетонной конструкции, при которой, в условиях пожара, наступает ее предел огнестойкости $\tau_{f,r}$, по потере несущей способности (R).

Значения критических температур прогрева для различных арматурных сталей, при значении коэффициента условий работы арматуры при пожаре $\gamma_{st} = 0.5$, приведены в табл. 8.

Таблица 2

Фактические пределы огнестойкости свободноопертых железобетонных плит

	Минимальная толщина плиты t и	Пределы огнестойкости, мин.

		расстояние до оси арматуры а, мм							
			15	30	60	90	120	150	180
	Толщина плиты	t	30	50	80	100	120	140	155
Тяжелый	Опираение по двум сторонам или по контур у при $l_y/1_x \geq 1,5$	a	10	15	25	35	45	60	70
	Опираение по контур у $l_y/1_x < 1,5$	a	10	10	10	15	20	30	40
	Толщина плиты	t	30	40	60	75	90	105	120
Легкий $\gamma_b = 1,2$ т/м ³	Опираение по двум сторонам или по контур у при $l_y/1_x \geq 1,5$	a	10	10	20	30	40	50	55
	Опираение по контур у $l_y/1_x < 1,5$	a	10	10	10	10	15	25	30

Примечания:

- 1). Минимальная толщина плиты t обеспечивает значение предела огнестойкости признаку «I», а расстояние до оси арматуры - значение предела огнестойкости по признаку «R».
- 2). Пределы огнестойкости многопустотных и ребристых с ребрами вверх панелей и настилов следует принимать по таблице, умножая их на коэффициент 0,9.
- 3). Пределы огнестойкости статически неопределимых конструкций больше, чем пределы огнестойкости статически определимых на 25%, если отношение площади арматуры над опорой к площади арматуры в пролете равно 0,5, и на 50%, если это отношение равно 1,0.
- 4). Эффективная толщина многопустотной плиты для оценки предела огнестойкости определяется делением площади поперечного сечения плиты, за вычетом площади пустот, на ее ширину.

Таблица 3.

Фактические пределы огнестойкости статически определимых свободно опертых балок из тяжелого бетона, нагреваемых с 3-х сторон.

Пределы огнестойкости балок из тяжелого бетона, мин	Ширина балки b и расстояние до оси арматуры a	Минимальные размеры железобетонных балок, мм				Минималь- ная ширина ребра b_w , мм
30	b	80	120	160	200	80
	a	25	15	10	10	
60	b	120	160	200	300	100
	a	40	35	30	25	

90	b a	150 55	200 45	280 40	400 35	100
120	b a	200 65	240 55	300 50	500 45	120
150	b a	240 80	300 70	400 65	600 60	140
180	b a	280 90	350 80	500 75	700 70	160

Таблица 4

Фактические пределы огнестойкости железобетонных колонн

Вид бетона	Воздействие огня	Ширина b колонны и расстояние до оси арматуры a	Минимальные размеры, мм железобетонных колонн с пределами огнестойкости, мин					
			30	60	90	120	150	180
тяжелый	Со всех сторон	b a	150 10	200 25	240 35	300 40	400 50	450 50
легкий ($\gamma_b=1,2$ т/м ³)	Со всех сторон	b a	150 10	160 25	190 35	240 40	320 40	360 40

Примечания: 1). Для колонн сплошного сечения в качестве размера b следует принимать их диаметр.

2). Данные таблицы применимы для армирования колонн не менее 3% от поперечного сечения бетона.

Таблица 5

Фактические пределы огнестойкости некоторых конструкций стен и перегородок

№ п/п	Краткая характеристика конструкций	Размер a , см	Предел огнестойкости
1	Стены и перегородки из сплошных и щетотельных керамических и силикатных кирпича и камня, толщиной a	6,5 12,0 $\geq 2,5$	REI45 REI 150 $\geq$ REI 330
2	Кирпичные колонны и столбы	25x25 >25 x38	R150 R180
3	Стены из трехслойных панелей, состоящие из двух ребристых железобетонных плит и утеплителей из несгораемых или трудносгораемых минераловатных или фибролитовых плит при общей толщине сечения a	25	>REI 180

4	Стены наружные из двухслойных панелей, состоящие из ограждающего слоя, толщиной не менее 24 см из крупнозернистого керамзитобетона класса В2-В4 ($\rho = 0.6-0.9 \text{ кг/м}^3$), и несущего слоя, толщиной не менее 10 см	--	>REI 180
---	---	----	----------

Таблица 6

Значение коэффициента температуропроводности различных бетонов

Тип бетона	Плотность бетона $\rho \text{ кг/м}^3$	Приведенный коэффициент температуропроводности $\alpha_{\text{ред}} \text{ м}^2/\text{ч}$
Тяжелый бетон с заполнителем из силикатных пород	2350	0,00133
Тяжелый бетон с заполнителем из карбонатных пород	2350	0,00116
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита	1600	0,000734
Керамзитоперлитобетон	1200	0,000722

Таблица 7

Значение коэффициентов φ_1, φ_2 в зависимости от плотности бетона

ρ	500	1000	1500	2000	2350	2450
$\varphi_1, \text{ч}^{1/2}$	0,46	0,55	0,58	0,60	0,62	0,65
φ_2	1,0	0,85	0,65	0,50	0,5	0,5

Таблица 8

Значение критической температуры прогрева при пожаре различных арматурных стержней при значении коэффициента условий работы арматуры при пожаре $\gamma_{st} = 0,5$

Класс стержневой арматуры	$T_s^{cr} \text{ } ^\circ\text{C}$, при $\gamma_{st} = 0,5$
A-I	550
A-II	550
A-IIв	525
A-III	575
A-IIIв	525
A-IV	550
A-V	525
AT-IV; AT-V	500
B-I; Bp-I	450
B-II; Bp-II; K-7	420
A-VI	475

Пример оценки огнестойкости жилого здания

Дано: Проектируемое жилое здание. Число этажей - 16.

Основные конструкции:

Наружные стены - двухслойные панели, ограждающий слой - керамзитобетон, толщиной 0,30м; несущий слой - тяжелый бетон, толщиной 0,10м.

Стены лестничных клеток - кирпичные, толщиной 0,51м.

Плиты перекрытий - железобетонные многопустотные, толщиной 0,16м, защитный слой бетона до оси арматуры - 0,026м.

Колонны - железобетонные, сечением 0,4х0,4м, расстояние до оси арматуры 45мм.

Балки - железобетонные, шириной 0,16м, толщина защитного слоя бетона до оси арматуры 0,035м.

Решение:

1. Определяем требуемую степень огнестойкости проектируемого здания.

Согласно (п.1.11 СНиП 2.08.01-89* «Жилые здания» и таблицы 6.8 СП 2.13130.2009) принимаем $D_{f,r}^{mp} = I$, т.к. здание имеет число этажей больше 10.

3. Определяем значение требуемых пределов огнестойкости основных конструкций здания согласно таблицы 9.

Таблица 9

**Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости
строительных конструкций зданий, сооружений, строений и пожарных
отсеков**

Степень огнестойкости и здания, сооружений, строений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные и ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные (в т. ч. чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				Настилы (в том числе с утеплителем)	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки и лестницы
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R15	REI 45	R 15
V	не нормируется						

Примечание. Порядок отнесения строительных конструкций к несущим элементам здания сооружения и строения устанавливается нормативными документами по пожарной безопасности.

Требуемые пределы огнестойкости

Требуемая степень огнестой- кости здания $D_{f,r}^{mp}$	Требуемые пределы огнестойкости τ_{cr}^{mp} конструкций
---	--

	Несущие элементы	Наружные ненесущие стены	Перекрытия	Стены лестничных клеток
I	R120	E30	REI60	REI 120

3. Определяем значение фактических пределов огнестойкости основных конструкций здания.

3.1. Стены наружные - двухслойные панели: согласно табл. 5

$$\tau_{f,r}^{\phi} = \text{REI } 180$$

3.2. Стены лестничных клеток: кирпичные, толщиной 0,51м. Согласно таблицы 5 имеем:

$$\tau_{f,r}^{\phi} = \text{REI } 330$$

3.3. Плиты перекрытий: железобетонные, многопустотные, $h=0,16\text{м}$; $a=0,026\text{м}$.

Согласно табл. 2 имеем:

$$\tau_{f,r}^{\phi} = \text{REI } 54$$

3.4. Колонны железобетонные, сечением 0,4 x 0,4м, толщина защитного слоя бетона до оси арматуры $a=45\text{мм}$.

Согласно табл. 4, раздела 2.4. при $b=400\text{мм}$ и $a=45\text{мм}$ имеем:

$$\tau_{f,r}^{\phi} = \text{REI } 135$$

3.5. Балки: железобетонные, шириной 0,16м, толщина защитного слоя бетона до оси арматуры 35мм.

Согласно табл. 3, при $b=160\text{мм}$ и $a=35\text{мм}$, имеем:

$$\tau_{f,r}^{\phi} = \text{REI } 60$$

4. Проверяем соответствие запроектированных конструкций здания требованиям СП 2.13130.2009 по показателю их огнестойкости (см. таблицу):

Наименование конструкций здания	Требуется по СП $\tau_{f,r}^{\phi}$	Принято по проекту $\tau_{f,r}^{\phi}$	Соответствие требованиям норм
Стены наружные	E30	REI 180	соответствует
Стены лестничных клеток	REI 120	REI 330	соответствует
Плиты перекрытий	REI 60	REI 54	не соответствует
Колонны	R 120	R 135	соответствует
Балки	R 120	R 60	не соответствует

Таким образом, две из запроектированных конструкций (плиты перекрытия и балки) не соответствуют требованиям СП по показателю огнестойкости. Необходимо разработать меры по повышению предела огнестойкости этих конструкций.

5. Разработка мер по повышению огнестойкости конструкций огнестойкость которых не удовлетворяет требованиям норм.

5.1. Повышение огнестойкости железобетонных плит перекрытий - увеличиваем толщину защитного слоя бетона до оси рабочей арматуры на 1см. Тогда значение $a=0,036$ м.

Определяем значение фактического предела огнестойкости плит перекрытий при $a=0,036$ м. Согласно табл. 2, при $a=0,036$ имеем:

$$\tau_{f,r}^{\phi} = 0,9-90 = R 60$$

5.2. Повышение предела огнестойкости железобетонных балок - чтобы увеличить предел огнестойкости железобетонных балок до R 120, необходимо (см. табл. 3,) увеличить ширину b до 200мм, а толщину защитного слоя бетона до оси арматуры увеличить до 65мм.

6. Проверяем соответствие требованиям СП (СНиП) по показателям огнестойкости конструкций, для которых разрабатывались меры по повышению огнестойкости (см. таблицу):

Наименование конструкций здания	Требуется по СНиП $\tau_{f,r}^{\phi}$	Принято по проекту $\tau_{f,r}^{\phi}$	Соответствие требованиям норм
Плиты перекрытий	REI 60	REI 81	соответствует
Балки	R 120	R 120	соответствует

Общий вывод: Так как все основные конструкции рассматриваемого проектируемого здания соответствуют требованиям норм по показателю огнестойкости, то фактическая степень огнестойкости $D_{f,r}^{\phi}$ рассматриваемого здания также соответствует требуемой степени огнестойкости $D_{f,r}^{mp}=I$.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать огнестойкость жилого здания с числом этажей - 24.

Основные конструкции:

Наружные стены - двухслойные панели, ограждающий слой - керамзитобетон, толщиной 0,36м; несущий слой - тяжелый бетон, толщиной 0,14м.

Стены лестничных клеток - кирпичные, толщиной 0,51м.

Плиты перекрытий - железобетонные многопустотные, толщиной 0,16м, защитный слой бетона до оси арматуры - 0,026м.

Колонны - кирпичные, сечением 0,25х0,25м, расстояние до оси арматуры 20мм.

Балки - железобетонные, шириной 0,18м, толщина защитного слоя бетона до оси арматуры 0,030м. Недостающие данные принять самостоятельно.

2. Ознакомиться с порядком определения огнестойкости конструкции.

3. Провести оценку степени огнестойкости здания. Результаты представить в виде таблицы.

Практическая работа № 3

Расчет защитного заземления

Цель работы: Изучить принцип действия защитного заземления и методики расчета сопротивления заземляющих устройств

Основные понятия

Назначение и принцип устройства защитного заземления. При обслуживании производственного оборудования, использующего электроэнергию, работающие прикасаются к его нетоковедущим металлическим частям. Такой контакт обычно является нормальной операцией. В процессе эксплуатации может происходить повреждение изоляции электрооборудования. Повреждение изоляции, как правило, сопровождается замыканием на корпус электроустановки, т.е. случайным соединением токоведущих частей с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. В результате чего корпус электроустановки, а через него все оборудование и обслуживающий персонал могут оказаться под напряжением, что приводит к поражению электротоком.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции и замыкании на корпус «Правилами устройства электроустановок» предусматривается ряд защитных мер, одним из них является применение защитного заземления.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциалов, разряд молнии, наведение статического электричества и др.).

Принцип действия защитного заземления можно рассмотреть на примере схемы питания электроустановки (рис. 1). Человек, с сопротивлением тела касаясь корпуса электроустановки, на которой произошел пробой изоляции, оказывается под защитой сопротивления заземления r_3 , которое включено параллельно $R_{чел}$. Так как $R_{чел} \gg r_3$, то ток короткого замыкания, протекает по пути наименьшего сопротивления, т. е. через заземлитель и ток $I_{чел} \ll I_{кз}$.

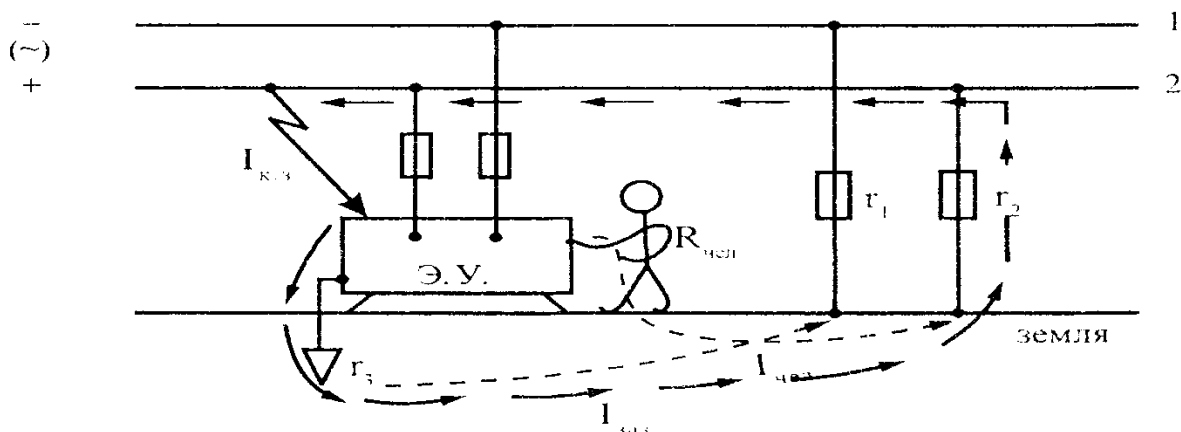


Рис.1. Принцип действия защитного заземления

R_q – электрическое сопротивление человека; r_3 – сопротивление заземлителя; r_1 и r_2 – сопротивление изоляции проводов 1 и 2, соответственно; $I_{кз}$ – ток короткого замыкания; $I_{зaz}$ – ток, протекающий через заземлитель; $I_{чел}$ – ток, протекающий через тело человека $I_{кз} = I_{зaz} + I_{чел}$.

При замыкании одной фазы на корпус электроустановки, корпус окажется под напряжением, в случае отсутствия соединения корпуса с землей, прикосновение к нему также опасно, как и прикосновение к фазе.

Защитное заземление, как мера защиты людей от поражения электрическим током, при возникновении напряжения на нетоковедущих частях электроустановок в результате повреждения изоляции и замыкании на корпус заключается в электрическом соединении корпусов электроустановок с заземляющим устройством. Защитное действие заземления состоит в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения и тока протекающего через человека, обусловленных замыканием на корпус.

Эффективность заземления зависит от его сопротивления, чем меньше сопротивление, тем выше его защитная эффективность.

Область применения защитного заземления:

- В трехфазных трехпроводных сетях напряжения до 1000В переменного тока с изолированной нейтралью или изолированным выводом источника однофазного тока, а также в сетях постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока;
- В сетях напряжения выше 1000В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали или средней точки.

В соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» заземлению подлежат:

- все электроустановки при напряжении 380В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока при эксплуатации в любых помещениях;
- наружные электроустановки напряжением 42В и выше переменного тока и 110В и выше постоянного тока, работающих в условиях с повышенной опасностью и в особо опасных условиях;
- электроустановки любого напряжения, работающие во взрывоопасных помещениях.

В заземляющее устройство входит заземлитель (металлический проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом) и заземляющие проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Заземлителем называется металлический проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в соприкосновении с землей.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные

(сосредоточенные) и контурные (рис.2). Заземлители выносных заземлений располагают сосредоточенно на расстоянии свыше 20 м от заземляемого оборудования, т. е. вне зоны растекания тока замыкания на землю. Заземлители контурного заземления располагают по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование. Все эти заземлители электрически соединены друг с другом.

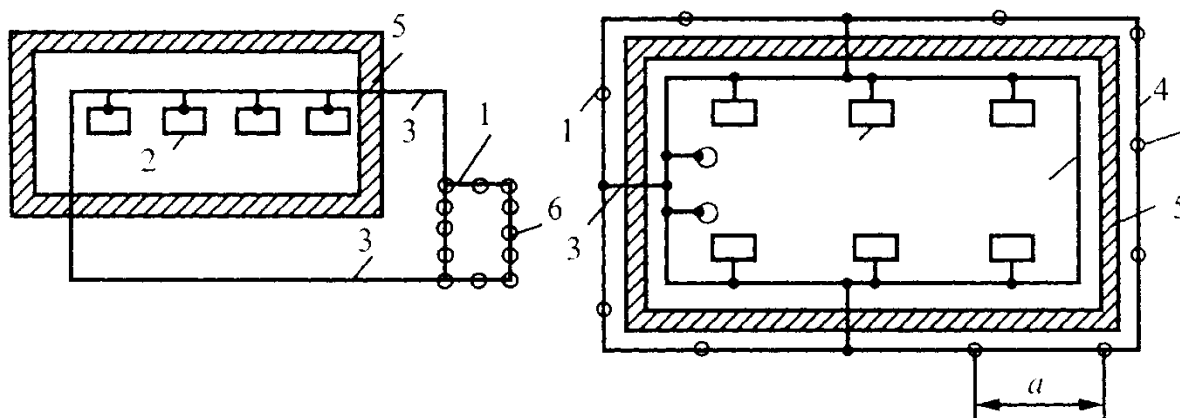


Рис. 2. Схема защитного заземления

1 – заземлители; 2 – электроустановки;
3 – заземляющие проводники (внутренний контур); 4 – внешний контур заземления; 5 – электропомещение или площадка с размещенным электрооборудованием;
6 – заземлители.

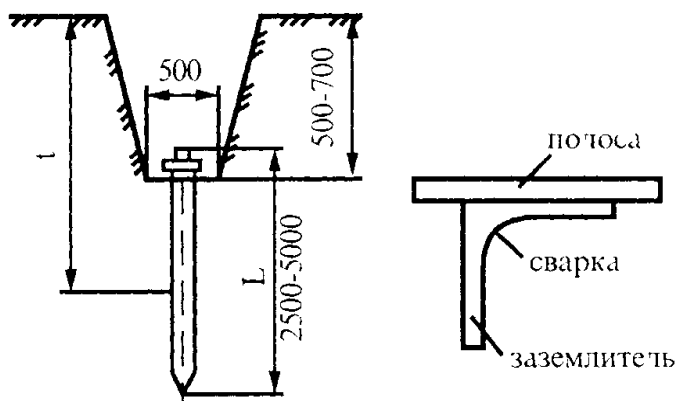


Рис. 3. Заземлители

Заземлители могут быть естественными и искусственными. Искусственные заземлители выполняются в виде электродов. По расположению в грунте и по форм электродов заземлители делятся на углубленные, состоящие из полос или круглой стали, укладываемых глубоко на дно котлована горизонтально по периметру фундаментов, вертикальные, состоящие из электродов, верхний конец которых заглубляется на 0,5-0,7 м от поверхности земли; в качестве их используют стальные вертикальные заложённые стержни диаметром 10-16 мм, (или отрезки стальных труб, различного диаметра), длиной 3-5 м, а также уголовая сталь длиной 2,5-3м (рис.3); горизонтальные (протяженные), состоящие из электродов, применяемых для связи между собой вертикальных заземлителей, соединяемых сваркой. В качестве таких заземлений используется круглая сталь диаметром не менее 10 мм или стальные полосы толщиной не менее 4 мм, сечением 48 мм².

В качестве заземляющих проводников-ответвлений к оборудованию, где по условиям работы не требуются гибкие проводники, применяются медные или алюминиевые проводники. В качестве заземляющих проводников, образующих заземляющую магистраль, применяется полосовая или круглая сталь, сечением порядка 48 мм².

Таблица 1

Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников, мм

<i>Заземлитель</i>	<i>Место расположения</i>		
	<i>в зданиях</i>	<i>в наружных установках</i>	<i>в земле</i>
Круглые, диаметром, мм	5	6	10
Прямоугольные, сечением, мм ²	24	48	48
Прямоугольные, толщиной, мм ²	3	4	4
Угловая сталь с толщиной полос, мм	2	2,5	4
Стальные водо- газопроводные (некондиционные) трубы с толщиной стенок, мм	2,5	2,5	3,5

Таблица 2

Наименьшие сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 В

<i>Проводники</i>	<i>Сечением, мм</i>	
	<i>медь</i>	<i>алюминий</i>
Без изоляции при открытой прокладке	4	6
Изолированные	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов, водящихся в общей защитной оболочке с средними жилами	1	1,5

Заземляющий проводник присоединяется к заземлению сваркой внахлестку не менее чем в двух местах. Длина нахлестки должна быть равна двойной ширине проводника при прямоугольном сечении или круглом шести диаметрам. Болты (винты, шпильки) для крепления заземляющего проводника должны изготавливаться из стойкого в отношении коррозии металла. Диаметр болта (винта, шпильки), зависит от номинального тока потребителя: при токе потребителя до 16 А, диаметр болта 4 мм потребителя 250-300 А диаметр болта 10 мм. Нельзя применять для выполнения заземления крепежные детали машин, оборудования.

Таблица 3

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок

<i>Характеристика объекта</i>	<i>Сопротивление, Ом</i>
Электроустановки напряжением 110 кВ и выше сетей с эффективным заземлением нейтрали, выполненные по нормам на сопротивление	0,5 0,002·0,5ρ

Электроустановки 3-35 кВ сетей с изолированной нейтралью	$250/I_p^*$, но не более 10 Ом $0,002\rho \cdot 250/I_p$
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью напряжением: 660/380 В 380/220 В 220/127 В	15^{**} ($15 \cdot 0,01\rho$) 30^{**} ($30 \cdot 0,01\rho$) 60^{**} ($60 \cdot 0,01\rho$)
Электроустановки сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью при мощности источника питания: более 100 кВА до 100 кВА	$50/I_p^*$, но не более 4 Ом $50/I_p^*$, но не более 10 Ом

* I_p - расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается:

в сетях без компенсации емкостного тока замыкания на землю – ток замыкания на землю;

в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю:

- для электроустановок, к которым присоединены компенсирующие аппараты, - ток, равный 125% номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

- для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, - ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

** - сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Таблица 4

Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств

<i>Грунт, вода</i>	<i>Удельное сопротивление, Ом·м</i>	<i>Грунт, вода</i>	<i>Удельное сопротивление, Ом·м</i>
Торф	20	Гравий, щебень	2000
Чернозем	30	Каменистый грунт	4000
Садовая земля	50	Скалистый грунт	10^4 - 10^7
Глина	60	Вода морская	0,2-1
Суглинок	100	Вода речная	10-100
Лесс	250	Вода прудовая	40-50
Супесь	300	Вода грунтовая	20-70
Песок	500	Каменный уголь	100-150

Таблица 5

Значение сезонных повышающих коэффициентов K

<i>Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых электродов</i>	<i>Климатические зоны</i>			
	1	2	3	4
<i>1. Климатические признаки зон</i>				
Средняя температура января	-20...-15	-14...-10	-14...0	0...+5
Средняя температура июля	16-18	18-22	22-24	24-26

Продолжительность замерзания воды, дней	170-190	150	100	0
2. Значения коэффициента K				
При применении вертикальных электродов длиной 3 м и глубиной заложения $t=0,7-0,8$ м	1,65	1,45	1,3	1,1
То же при длине электродов 5 м.	1,35	1,25	1,15	1,1
То же при применении горизонтальных электродов длиной 20 м и $t=0,7-0,8$ м	5,5	3,5	2,5	1,5
То же при длине 50 м.	4,5	3,0	2,0	1,4

Алгоритм расчета заземления

Расчет производится в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с рекомендациями по использованию заземляющих устройств и составить эскиз заземляющего устройства.
2. Определить допустимое сопротивление заземляющего устройства - R_z по таблице 3 или правилам устройства электроустановок
3. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта, в котором предполагается размещать электроды заземления, по данным таблиц 4 и 5

$$\rho_{расч} = \rho \cdot k \quad (1)$$

4. В случае возможности использования естественных заземлителей определяется сопротивление току растекания этих заземлителей R_e путем измерения или расчетным путем.

5. Определяется предварительно конфигурация заземлителя (в ряд, прямоугольник и т. п.) с учетом возможности размещения его на отведенной территории, участке.

6. Выбирается тип и размеры заземлителей - вертикальных электродов и соединительной полосы или протяженных заземлителей или других.

7. Определяется сопротивление растеканию тока с одного заземлителя $R_1=R_z$ по соответствующим формулам таблицы 6 (в формулу подставляется $\rho_{расч}$ вместо ρ).

8. Определяется требуемое сопротивление искусственного заземляющего устройства по формуле

9.

$$R_{imp} = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e - R_z} \quad (2)$$

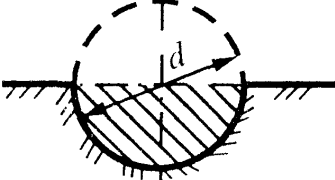
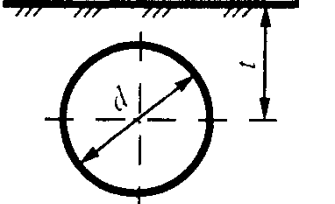
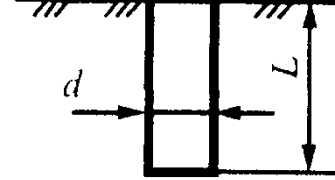
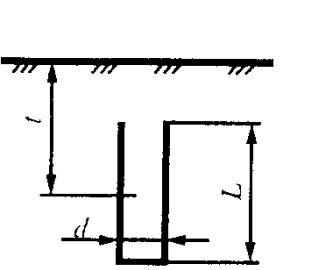
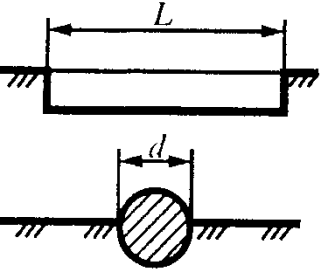
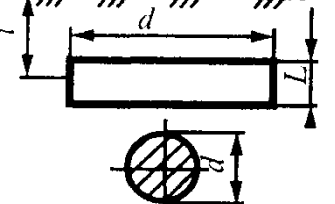
10. Определим, предварительно, необходимое количество вертикальных заземлителей по формуле

$$n = \frac{L_r}{a} \quad (3)$$

где L_r – длина горизонтального электрода, м; a – расстояние между вертикальными заземлителями, которое может быть равно одной, двум или трем длинам вертикальных заземлителей $a = (1 \div 3)L_B$ (рис.2).

Таблица 6

Формулы для вычисления сопротивления единичных заземлителей

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
1	2	3	4
1. Полушаровой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi \cdot d}$	-
2. Шаровой в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot d} \left(1 + \frac{D}{4t} \right)$	$2 \cdot t \gg d$
3. Трубчатый или стержневой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d$ Для уголка с шириной b $d = 0,95 \cdot b$
4. То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L}{4t - L} \right)$ или приближенно $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d, t \geq 0,5m$ Для уголка с шириной b $d = 0,95 \cdot b$
5. Протяженный на поверхности земли (труба, стержень, кабель)		$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$	$L \gg d$ Для колонны: $d = 0,5 \cdot b$ b – ширина полосы
6. Протяженный в земле (труба, стержень, кабель)		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{dt}$	$L \gg d$ $L \gg 4t$ Для колонны $d = 0,5 \cdot b$

7. Кольцевой круглого сечения на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	Для полосы шириной b : $d = 0,5 \cdot b$ $D \gg d$
8. Кольцевой круглого сечения в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{4\pi D^2}{dt}$ или приближенно $R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	$D \gg d$ $D \gg 2t$ Для полосы шириной b : $d = 0,5 \cdot b$
9. Круглая пластина на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2D}$	$2t \gg d$
10. То же в земле		Приближенно (погрешность 30%): $R = \frac{\rho}{2D}$	-
11. Пластиноччатый в земле (пластина поставлена на ребро)		Приближенно: $R = \frac{\rho}{4\sqrt{a \cdot b}}$	$t = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}$
Примечание: В формулах ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м.			

Таблица 7

Коэффициенты использования η_6 вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т. п.) без учета влияния полосы связи

Число заземлителя, n	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	электроды размещены в ряд (рис.4а)			электроды размещены по контуру (рис.4б)		
9	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	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	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 8

Коэффициенты использования η_2 вертикальных электродов группового

заземления (труб, уголков и т. п.) без учета влияния полосы связи

<i>Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине</i>	<i>Число вертикальных электродов</i>							
	2	4	6	10	20	40	60	100
<i>Вертикальные электроды размещены в ряд (рис.4а)</i>								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
<i>Вертикальные электроды размещены по контуру (рис.4б)</i>								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Таблица 9

**Коэффициенты использования $\eta_{г.п.}$ параллельно уложенных
горизонтальных полосовых электродов группового заземлителя
(ширина полосы $b=20 \times 40$ мм, глубина заложения $t_0=0,3-0,8$ м) (рис.4в)**

<i>Длина каждой полосы, м</i>	<i>Число параллельных полос</i>	<i>Расстояние между параллельными полосами, м</i>				
		1	2,5	5	10	15
1	2	3	4	5	6	7
15	2	0,63	0,75	0,83	0,92	0,96
	5	0,37	0,49	0,60	0,73	0,79
	10	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72
	20	0,16	0,27	0,39	0,57	0,64
25	5	0,35	0,45	0,55	0,66	0,73
	10	0,23	0,31	0,43	0,57	0,66
	20	0,14	0,23	0,33	0,47	0,57
50	2	0,60	0,69	0,78	0,88	0,93
	5	0,33	0,40	0,48	0,58	0,65
	10	0,20	0,27	0,35	0,46	0,53
	20	0,12	0,19	0,25	0,36	0,44

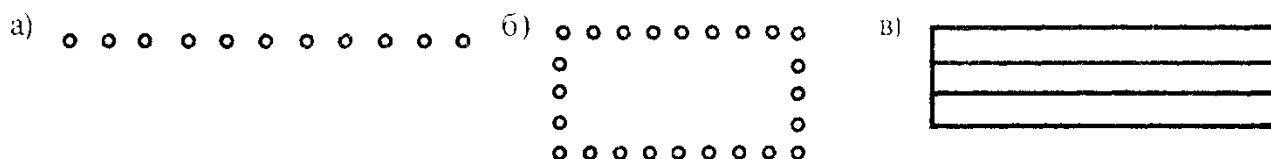


Рис.4. Способы размещения электродов группового заземлителя (вид в плане) а – вертикальные электроды размещены в ряд; б – вертикальные электроды размещены по контуру; в – горизонтальные электроды уложены параллельно друг другу на одинаковой глубине

11. Определяется сопротивление $R_2=R_r$ растеканию тока горизонтального электрода по соответствующей формуле табл. 6 (в формулу подставляется вместо ρ вместо $\rho_{расч}$).

12. Определяется сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей:

$$R'_u = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 \cdot \eta_2 + R_2 \cdot \eta_6 \cdot n} \quad (5)$$

где η_2 – коэффициент использования горизонтального электрода с учетом вертикальных электродов, определяется по табл.8; η_6 – коэффициент использования вертикальных электродов (по табл. 7); n – число вертикальных электродов.

Полученное сопротивление искусственных электродов не должно превышать требуемое сопротивление

$$R'_u < R_{umr} \quad (6)$$

Если это условие не удовлетворяется, то необходимо выбрать другие параметры заземлителей или изменить их количество и провести перерасчет.

13. При отсутствии естественных заземлителей R_e пункты 3 и 7 опускаются и условие (6) принимает вид

$$R'_u < R_{дон} = R_n \quad (7)$$

14. Сопротивление заземления состоит из суммы сопротивления заземлителей растеканию тока и сопротивления заземляющих проводников:

$$R_э = R'_э + R_{np} \quad (8)$$

Сопротивление проводников R_{np} учитывается при большой протяженности проводников (несколько десятков метров).

Сопротивление заземления не должно превышать допустимого значения

$$R_э < R_n = R_{дон} \quad (9)$$

В противном случае требуется изменить параметры заземлителей и провести перерасчет.

В заключение расчета приводится схема размещения заземлителей, например, как это показано на рис.5.

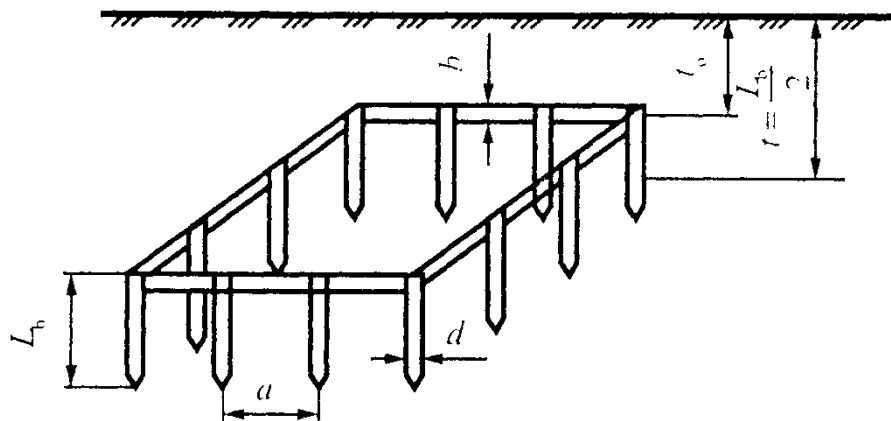


Рис.5. Пример схемы размещения заземлителей при контурном заземлении

Пример расчета

Задание: Рассчитать сопротивление защитного заземления для электропитающей установки мощностью 35кВт, распределяющей энергию напряжением 380/220В. Электропитающая установка размещена на первом этаже производственного здания, имеющего металлические конструкции, имеющего хороший контакт с землей. Желательно, чтобы заземляющее устройство включало в себя естественные заземлители, сопротивление растеканию тока, которых $R_e=200\text{Ом}$. Здание имеет периметр 70 м. Грунт - суглинок. Производственное здание размещено во второй климатической зоне.

Решение: 1. Требуемое сопротивление защитного заземления в соответствии с таблицей 3 не должно превышать $R_z = R_n = 4 \text{ Ом}$.

2. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта в соответствии с данными таблиц 4 и 5: $\rho_{расч} = \rho \cdot k = 100 \cdot 1,45 = 145 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

3. Принимаем сопротивление естественных заземлителей равным $R_e = 200\text{Ом}$.

4. Определяем предварительно конфигурацию заземлителя (в ряд, прямоугольник, и т. п. в соответствии с рис.4) с учетом возможности размещения его на отведенной территории участка. Выбираем контурное размещение заземлителей. Контурный заземлитель размещается по периметру здания, длина которого $L_e=70 \text{ м}$.

5. В качестве искусственных вертикальных заземлителей выбираем стальные стержни длиной $L=2,5\text{м}$, диаметром $d = 12\text{мм}$, верхние концы которых соединяются стальной полосой сечением $20 \times 4\text{мм}^2$, уложенной в грунт (суглинок), при глубине заложения $t_0=0,5 \text{ м}$.

6. Определяем сопротивление растеканию тока с одного заземлителя R_1 по соответствующей формуле, приведенной в табл. 6.:

$$R_1 = \frac{\rho_{расч}}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + L}{4t - L} \right) = \frac{145}{2 \cdot 314} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 55 \text{ Ом}.$$

7. Определяем требуемое сопротивление искусственного заземляющего устройства: $R_{imp} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} = \frac{20 \cdot 4}{20 - 4} = 5 \text{ Ом.}$

8. Определим предварительно необходимое количество вертикальных заземлителей n , приняв расстояние между ними $\alpha = 2L = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м,}$
 $n = \frac{L_z}{\alpha} = \frac{70}{5} = 14 \text{ штук.}$

9. Определяем сопротивление растеканию тока с горизонтального заземлителя по формуле, приведенной в табл. 6:

$$R_z = \frac{\rho_{рас}}{2\pi L_z} \ln \frac{2L_z^2}{0,5b \cdot t_0} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 70} \ln \frac{2 \cdot 70^2}{0,5 \cdot 0,0004 \cdot 0,5} = 6 \text{ Ом}$$

10. Коэффициент использования вертикальных и горизонтальных электродов определяем по табл. 7 и 8, соответственно с учетом интерполяции $\eta_6 = 0,66$ и $\eta_z = 0,36$.

11. Сопротивление растеканию группового искусственного заземлителя определяем по формуле $R'_u = \frac{R_6 \cdot R_z}{R_6 \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_6 \cdot n} = \frac{55 \cdot 6}{55 \cdot 0,36 + 6 \cdot 0,66 \cdot 14} = 4,4 \text{ Ом.}$

12. Общее сопротивление (действительное) заземляющего устройства $R_{zy} = \frac{R_e \cdot R'_u}{R_e + R'_u} = \frac{20 \cdot 4,4}{20 + 4,4} = 3,66 \text{ Ом,}$ что меньше требуемого по ГОСТ 12.1.030-81*.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя и необходимые исходные данные для расчета. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.
2. Познакомиться с принципом действия, порядком расчета защитного заземления.
3. Выполнить расчет защитного заземления.
4. Привести схему размещения заземлителей.
5. Оформить отчет.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Варианты заданий

Задача 1. Используя алгоритм расчета защитного заземления рассчитать сопротивление защитного заземления для электропитающей установки мощностью 10кВт, распределяющей энергию напряжением 380/220В. Электропитающая установка размещена в одноэтажном производственном здании, имеющем металлические конструкции и хороший контакт с землей. Заземляющее устройство включает в себя естественные заземлители, сопротивление растеканию тока, которых $R_e = 30 \text{ Ом.}$ Здание имеет периметр 100

м. Вид грунта и климатическая зона принимаются для расчета по вариантам табл.10.

Задача 2. Определить сопротивление естественного заземлителя, используемого для сооружения заземляющего устройства электроустановки мощностью $100\text{кВ}\cdot\text{А}$ и напряжением 1кВ . В качестве заземлителя используется горизонтальный трубопровод длиной 100м , диаметром 245мм , пролегающий на глубине $0,5\text{м}$ от поверхности земли. Заземлитель расположен в однородном грунте (вид грунта и климатическая зона принимаются по табл.10). Сравнить сопротивление естественного заземлителя (R_e) с наибольшим допустимым сопротивлением заземляющего устройства (R_n) по условию $R_e \leq R_n$. Сделать вывод о эффективности применения данного заземлителя.

Задача 3. Определить сопротивление естественного заземлителя, используемого для сооружения заземляющего устройства электроустановки мощностью $100\text{кВ}\cdot\text{А}$ и напряжением 1кВ . В качестве заземлителя используется вертикальный трубопровод, расположенный в земле, длиной 30 м , диаметром 325 мм . Расстояние от поверхности земли до верхнего края трубопровода $0,4\text{м}$. Заземлитель расположен в однородном грунте (вид грунта и климатическая зона принимаются по табл.10). Сравнить сопротивление естественного заземлителя (R_e) с наибольшим допустимым сопротивлением заземляющего устройства (R_n) по условию $R_e \leq R_n$. Сделать вывод о эффективности применения данного заземлителя.

Задача 4. Определить сопротивление естественного заземлителя, используемого для сооружения заземляющего устройства электроустановки мощностью $100\text{кВ}\cdot\text{А}$ и напряжением 1кВ . В качестве заземлителя используется железобетонная плита на поверхности земли размером $3,5 \times 5\text{м}$. Сравнить сопротивление естественного заземлителя (R_e) с наибольшим допустимым сопротивлением заземляющего устройства (R_n) по условию $R_e \leq R_n$. Сделать вывод о эффективности применения данного заземлителя.

Задача 5. Определить сопротивление естественного заземлителя, используемого для сооружения заземляющего устройства электроустановки мощностью $100\text{кВ}\cdot\text{А}$ и напряжением 1кВ . В качестве естественного заземлителя используется железобетонная свая. Глубина залегания в землю $1,5\text{м}$. Свая прямоугольного сечения с размерами сторон $300 \times 400\text{мм}$. Сравнить сопротивление естественного заземлителя (R_e) с наибольшим допустимым сопротивлением заземляющего устройства (R_n) по условию $R_e \leq R_n$. Сделать вывод о эффективности применения данного заземлителя.

Задача 6. Используя алгоритм расчета защитного заземления рассчитать сопротивление защитного заземления для электропитающей установки мощностью 35кВт , распределяющей энергию напряжением $380/220\text{В}$. Электропитающая установка размещена в одноэтажном производственном здании, имеющем металлические конструкции и хороший контакт с землей. Естественные заземлители отсутствуют. Здание имеет периметр 200 м . Вид грунта и климатическая зона принимаются для расчета по вариантам табл.10.

Таблица 10

Исходные данные для расчета защитного заземления

<i>Вариант</i>	<i>Вид грунта</i>	<i>Климатическая зона</i>
1.	Чернозем	IV
2.	Садовая земля	II
3.	Глина пластинчатая	III
4.	Суглинок полутвердый	I
5.	Песок	II
6.	Гравий	II
7.	Щебень	I
8.	Почва	II
9.	Глина полутвердая	I
10.	Супесь	II
11.	Песок	I
12.	Каменистый грунт	III
13.	Скалистый грунт	IV
14.	Торф	I
15.	Лесс	II
16.	Гравий	III
17.	Щебень	IV
18.	Песок	III
19.	Чернозем	III
20.	Каменистый грунт	I
21.	Песок	IV
22.	Гравий	I
23.	Каменный уголь	II
24.	Почва	III
25.	Глина пластинчатая	I

Контрольные вопросы

1. Что такое защитное заземление?
2. Назначение, область применения защитного заземления.
3. Принцип действия защитного заземления.
4. Что собой представляет заземляющее устройство?
5. Перечислите типы заземляющих устройств.
6. Каков порядок расчета защитного заземления?
7. В каком случае заземление является эффективным?

Практическая работа №4

Защитное зануление

Цель работы: Изучить принцип действия и методику расчета защитного зануления.

Основные понятия

Защитное зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым поводом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением, в случае пробоя электрической изоляции.

Принцип действия зануления – это превращение замыкания на корпус токоведущих частей на корпус электроустановки в однофазное короткое замыкание (т.е. между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты, и тем самым отключить поврежденную электроустановку от питающей сети (рис.1).

Область применения – трехфазные четырехпроводные сети до 1000 В с заземленной нейтралью. Зануление применяется в однофазных сетях переменного тока с заземленным нулевым проводом.

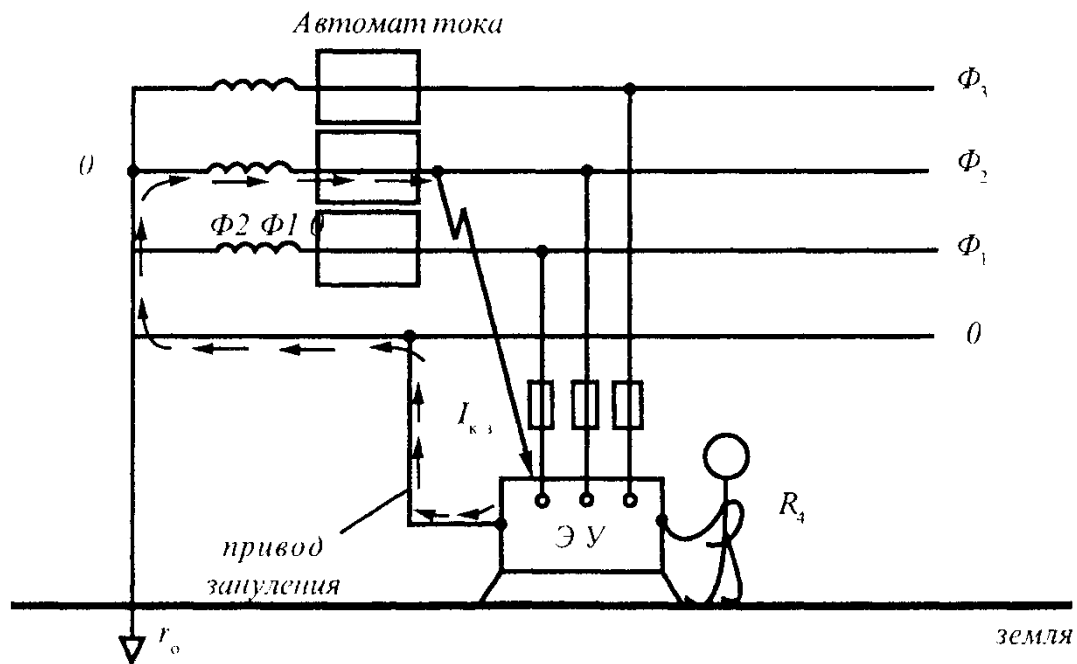


Рис.1. Принцип действия защитного зануления

В случае аварии ток короткого замыкания проходит по "петле": фазный провод "2" – металлический корпус электроустановки – провод зануления – нулевой провод – нейтральная точка трансформатора "0" – вторичная обмотка трансформатора – фазный провод 2.

Ток короткого замыкания определяется по формуле

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{\left(\frac{Z_T}{3} + Z_{\phi} + Z_{н.з} + jx_n \right)} \quad (1)$$

где $Z_T, Z_{\phi}, Z_{н.з}$ – комплексы полных сопротивлений трансформатора, фазного и нулевого защитного проводника, соответственно, Ом; jx_n – индуктивное сопротивление проводников петли фазы–нуль, Ом.

Полное сопротивление петли фазы–нуль не более 1 Ом, тогда $I_{кз}$ будет порядка 400 А и при таких токах токовая защита срабатывает мгновенно, так как срабатывают автоматы тока и отключают поврежденный участок.

На рис. 2 показана схема устройства защитного зануления.

Алгоритм расчета зануления

Расчет производится на отключающую способность защитного зануления. При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключается, если значение тока однофазного короткого замыкания удовлетворяет условию:

$$I_{кзо} \geq kI_{ном} \quad (2)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя, А;

k – коэффициент кратности тока, определяется по табл. 1.

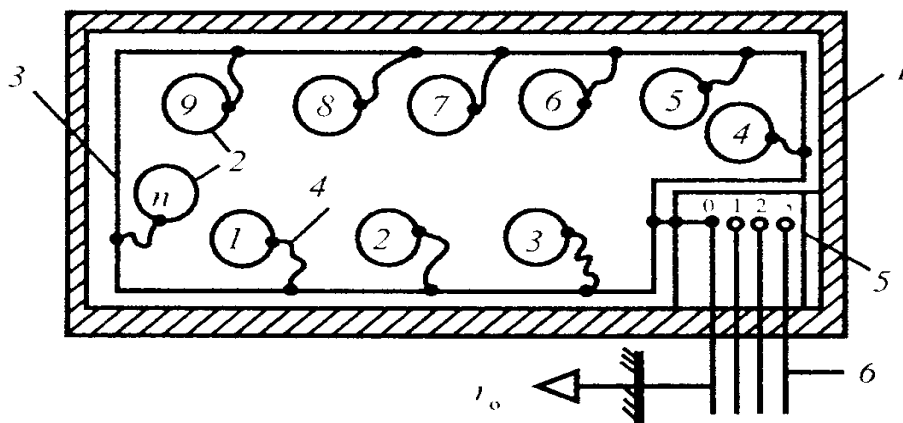


Рис. 2. Схема устройства защитного зануления

1 – производственное помещение; 2 – электроустановки; 3 – внутренний контур (магистраль зануления) из стали; 4 – гибкие медные проводники; 5 – силовой щит (распределительный щит) 6 – силовой кабель.

Таблица 1

Значение коэффициента k

Тип защиты электроустановки	k
Автоматический выключатель, имеющий только электромагнитный расцепитель, то есть который срабатывает без выдержки времени.	1,25-1,4
Плавкий предохранитель.	>3
Плавкий предохранитель (во взрывоопасных помещениях).	>4
Автоматический выключатель с обратно зависимой от тока характеристикой (как предохранитель).	>3
Автоматический выключатель с обратно зависимой от тока характеристикой (во взрывоопасных помещениях).	>6

Номинальный ток плавкой вставки $I_{ном} = I_{пл.вст.}^H$ (табл.2) должен соответствовать условию

$$I_{пл.вст.}^H < I_{ном} = I_{ном.тр.} \quad (3)$$

где I – номинальный ток трансформатора, определяемый по формуле

$$I_{ном.тр.} = \frac{P_{ном}}{3 \cdot U_{\phi}} \quad (4)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; U_{ϕ} – фазное напряжение, В.

Таблица 2

Значения $I_{пл.вст.}^H$ стандартных предохранителей для сетей напряжением 220 и 380 В

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки $I_{пл.вст.}^H$, А
НПИ 15	6; 10; 15
НПН 60М	20; 25; 35; 45; 60
ПН-2-100	30; 40; 50; 60; 80; 100
ПН-2-250	80; 100; 120; 150; 200; 250
ПН-2-400	200; 250; 300; 350; 400
ПН-2-600	300; 400; 500; 600
ПН-2-1000	500; 600; 750; 800; 1000

Значение тока короткого замыкания $I_{кз}$ зависит от U_{ϕ} , и сопротивления цепи и определяется по формуле (1) и (2).

Расчетная формула вытекает из выражений (1) и (2) и имеет вид:

$$k \cdot I_{ном} = \frac{U_{\phi}}{\left(\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{\phi} + R_{н.н.})^2 + (X_{\phi} + X_{н.н.} + X_n)^2}\right)} \quad (5)$$

где $R_\phi + R_{н.л.}$ – активные сопротивления фазного и н проводников соответственно, Ом; $X_\phi + X_{н.л.}$ – внутренние индуктивные сопротивления проводников, соответственно, Ом; X_n – внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль.

Сечение нулевого защитного проводника и его материал принимаются заранее из условия:

$$Z_{н.л.} < 2Z_\phi \quad (6)$$

Согласно ПУЭ

$$I_{кз} > k \cdot I_{ном} \quad (7)$$

В качестве нулевых защитных проводников ПУЭ рекомендуют применять голые или изолированные проводники, металлические конструкции зданий и сооружений, трубы электропроводок, трубопроводы.

Значения Z_T , Ом, зависят от мощности трансформатора, напряжения принимаются по табл. 3 или табл. 4.

Таблица 3

**Приближенные расчетные полные сопротивления Z_T , Ом,
масляных трансформаторов**

Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	Z_T, Ом при схеме соединения обмоток	
		Y/Y_n	Д/Y_n и Y/Z_n
25	6-10	3,110	0,906
40	6-10	1,949	0,562
63	6-10	11,237	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
400	6-10	0,195	0,056
	20-35	0,191	-
630	6-10	0,129	0,042
	20-35	0,121	-
1000	6-10	0,081	0,027
	20-35	0,077	0,032
1600	6-10	0,054	0,017
	20-35	0,051	0,020

Примечание. Данные таблицы относятся к трансформаторам с обмотками низшего напряжения 400/230 В. При низшем напряжении 230/127 В значения сопротивлений, приведенные в таблице, необходимо уменьшить в 3 раза.

Таблица 4

**Условные расчетные сопротивления трансформаторов,
приведенных к напряжению 400В**

Мощность трансформатора, кВ·А	20	30	50	100	180	320	560
$Z_T / 3, \text{ Ом}$	1,44	1,11	0,682	0,358	0,203	0,117	0,067

Значения $R_\phi + R_{из}$ (Ом) определяются по известным данным – сечению, длине, материалу проводника. При этом для проводников из цветных металлов:

$$R = (\rho \cdot L) / S \quad (8)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·мм²/м (для меди $\rho=0,018$ Ом·мм²/м, для алюминия $\rho=0,028$ Ом·мм²/м); L – длина проводника, м; S – сечение проводника, мм².

Активное сопротивление стальных проводников определяется по табл. 5, в Ом/км.

Для этого необходимо знать профиль и сечение проводника, его длину, ожидаемое значение тока короткого замыкания $I_{кзо}$, который будет проходить по этому проводнику в аварийный период, а также плотность тока, которая определяется по формуле (9).

$$\delta = I_{кзо} / S \quad (9)$$

где δ – плотность тока, А/мм²; $I_{кзо}$ – ожидаемый ток короткого замыкания, А; S – сечение проводника, мм².

Для определения значений активного и индуктивного сопротивлений проводников необходимо провести вычисления по формулам (10) и (11)

$$R = r_\omega \cdot L_n \quad (10)$$

$$R = X_\omega / L_n \quad (11)$$

где r_ω и X_ω – сопротивления стальных проводников, определенных по табл. 5; L_n – длина проводника, км.

В приближенных расчетах индуктивное сопротивление петли фаза-нуль X_n принимают равным 0,3 Ом/км для внутренней проводки и 0,6 Ом/км для воздушной линии. При короткой линии или малом расстоянии между проводами, или если проводка выполнена кабелем или в стальных трубах, индуктивным сопротивлением пренебрегать из-за его малости.

Таблица 5

Активные r и индуктивные X сопротивления стальных проводников при переменном токе (50 Гц), Ом/км

Размер или диаметр сечения, мм	Сечение e , S мм ²	Плотность тока 5, А/мм ²							
		0,5		1,0		1,5		2,0	
		r_{ω}	X_{ω}	r_{ω}	X_{ω}	r_{ω}	X_{ω}	r_{ω}	X_{ω}
Полосы прямоугольного сечения									
20x4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78
30x4	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,38	1,43	2,04	1,22
30x5	150	3,38	2,03	2,56	1,54	2,08	1,25	-	-
40x4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,54	0,92
50x4	200	2,28	1,37	1,79	1,07	1,15	0,87	1,24	0,74
50x5	250	2,10	1,26	1,60	0,96	1,28	0,77	-	-
60x5	300	1,77	1,06	1,34	0,80	1,08	0,63	-	-
Проводники круглого сечения									
5	19,63	17,0	10,2	14,4	8,65	12,4	7,45	10,7	6,4
6	20,27	13,7	8,20	11,2	6,70	9,4	5,65	8,0	4,8
8	50,27	9,60	5,75	7,5	4,50	6,4	3,84	5,3	3,2
10	78,54	7,20	4,32	5,4	3,24	4,2	2,52	-	-
12	113,1	5,60	3,36	4,0	2,40	-	-	-	-
14	150,9	4,55	2,73	3,2	1,92	-	-	-	-
16	201,1	3,72	2,23	2,7	1,60	-	-	-	-

Значения X_ϕ и $X_{н.н.}$ для медных и алюминиевых проводников сравнительно мало (около 0,0156 Ом/км), поэтому ими, как правило, можно пренебречь.

Значение $R_\phi + R_{н.н.}$, Ом, для провода круглого сечения диаметром D , м и длиной $L=1$ км, проложенной в воздушной среде, определяется по формуле (12)

$$X_n = 0,1256 \ln \frac{2D}{d} \quad (12)$$

где D – расстояние между проводами, м; d – диаметр провода, м.

При малых значениях D , соизмеримых с диаметром проводов, сопротивление $X_n < 0,1$ Ом/км можно пренебречь.

Алгоритм расчета зануления

1. Вычисляем номинальный ток $I_{ном}$ по формуле (4).
2. Определяем коэффициент кратности тока k по табл. 1.

3. Если не задан номинальный ток плавкой вставки $I_{пл.вст.}^H$, то выбираем его значение по табл.2 таким образом, чтобы выполнялось неравенство (3).
4. Определяем ожидаемый ток короткого замыкания $I_{кз}$ по формуле (2).
5. Определяем полное сопротивление трансформатора Z_T по табл.3 и 4.
6. Определяем проводник (магистраль), зануление и его длину, профиль, материал, если это не дано в условиях задачи.
7. Вычисляем значение активного сопротивления фазных проводников R_ϕ по формуле (8).
8. Вычисляем значение активного сопротивления нулевого проводника $R_{н.л.}$ по табл.5 и формуле (10).
9. Вычисляем значение индуктивного сопротивления фазных проводов X_ϕ по табл.5 и формуле (11), если они стальные. Если фазные проводники медные или алюминиевые, то принимаем $X_\phi = 0$.
10. Вычисление значения индуктивного сопротивления нулевого проводника $X_{н.л.}$ по табл.5 и формуле (11).
11. Вычисляем значение индуктивного сопротивления "петли фаза-нуль" X_n по формуле (12).
12. Проверяем, выполняется ли неравенство (5), если оно выполняется, то плавкая вставка или автомат тока сработают и отключат поврежденный участок, в противном случае необходимо произвести перерасчет.
13. Выбираем тип предохранителя по табл. 2 (если он не задан).

Пример расчета

Задание. Проверить отключающую способность зануления электропитающей установки механического цеха, которая получает электроэнергию от трансформатора D/V_u ($\Delta/\lambda.$) напряжением 10/0,4 кВ, мощностью $P=25\text{кВ}\cdot\text{А}$. Расстояние от трансформатора до места расположения потребителей энергии $L=250\text{м}$ (0,25км). Потребитель энергии защищен плавкими вставками.

В качестве фазных проводов используется кабель с медными жилами диаметром $d=3,56\text{мм}$ и сечением 10мм^2 . Нулевой провод выполнен из стальной шины сечением $S_{н.л.}=20\times 4\text{ мм}^2$ и проложен на расстоянии $D=50\text{см}$ от кабеля.

Решение. 1. Вычисляем номинальный ток $I_{ном}$ по формуле (4)

$$I_{ном.тр.} = \frac{P_{ном}}{3 \cdot U_\phi} = \frac{25000}{660} = 37,8\text{А}$$

2. Определяем коэффициент кратности тока k по табл.1. $k=3$.

1. Выбираем номинальный ток плавкой вставки по табл.2 с учетом выражений (3) и (4): $I_{пл.вст.}^H < I_{ном} = I_{ном.тр.}$

В нашем случае подходит номинальный ток плавкой вставки $I_{пл.вст.}^H = 35\text{А}$.

2. Определяем ожидаемый ток короткого замыкания $I_{кзо} \geq kI_{ном} = 3 \cdot 37,8 \text{ А} = 113,4 \text{ А}$.

3. Определяем полное сопротивление трансформатора Z_T по табл.3 $Z_T = 0,906 \text{ Ом}$.

4. Определяем проводник (магистраль), зануление и его длину. В нашем случае это стальная шина сечением $S_{см} = 20 \times 4 \text{ мм}^2$ и длиной $L_n = 250 \text{ м}$ (0,25 км).

5. Вычисляем значение активного сопротивления фазных проводников R_ϕ по формуле (8)

$$R_\phi = (\rho \cdot L_n) / S = (0,018 \cdot 250) / 10 = 0,45 \text{ Ом}$$

6. Вычисляем значение активного сопротивления нулевого проводника $R_{н.н.}$. Для этого предварительно определяем плотность тока короткого замыкания S по формуле (9):

$$\delta = I_{кзо} / S = 113,4 / 80 = 1,42 \text{ А/мм}^2$$

По этой плотности тока по табл.5 находим $r_\omega = 3,53 \text{ Ом/км}$.

По формуле (10) вычисляем значение $R_{н.н.} = r_\omega \cdot L_n = 3,48 \cdot 0,25 = 0,87 \text{ Ом}$.

7. Вычисляем значение индуктивного сопротивления фазного проводника. Так как фазные проводники сделаны из меди, то их индуктивное сопротивление мало и им можно пренебречь. $X_\phi = 0$.

8. Вычисляем значение индуктивного сопротивления нулевого проводника $X_{нн}$, аналогично вычислению $R_{н.н.}$.

$$X_\omega = 2,09 \text{ Ом/км}; X_{н.н.} = X_\omega \cdot L_n = 2,09 \cdot 0,25 = 0,52 \text{ Ом}.$$

9. Вычисляем значение индуктивного сопротивления "петли фаза-нуль" X_n по формуле (12)

$$X_{n/L} = 0,1256 \ln \frac{2D}{d} = 0,1256 \ln((2 \cdot 50 \cdot 100) / 3,56) = 0,66 \text{ Ом/км};$$

$$X_n = L_n \cdot X_{n/L} = 0,66 \cdot 0,25 = 0,16 \text{ Ом}.$$

10. Проверяем, выполняется ли неравенство (2) или (3)

$$\begin{aligned} kI_{ном} < I_{кз.} &= \frac{U_\phi}{\left(\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_{н.н.})^2 + (X_\phi + X_{н.н.} + X_n)^2}\right)} = \\ &= \frac{200}{\left(\frac{0,906}{3} + \sqrt{(0,45 + 0,88)^2 + (0 + 0,53 + 0,16)^2}\right)} = 120 \text{ А}. \end{aligned}$$

Действительные значения токов короткого замыкания больше ожидаемого тока короткого замыкания, т.е. $I_{кз} > 3I_{ном}$ ($120 \text{ А} > 113 \text{ А}$). Отключающая способность системы обеспечена.

11. Тип предохранителя подбираем по табл.2. Выбираем предохранитель типа НПН-60М на номинальный ток плавкой вставки $I_{пл.вст.}^H = 35 \text{ А}$.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя и необходимые исходные данные для расчета. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.
2. Познакомиться с принципом действия, порядком расчета зануления.
3. Проверить отключающую способность зануления электропитающей установки деревообрабатывающего цеха, которая получает электроэнергию от трансформатора D/Y_u (Δ/λ) напряжением 10/0,4кВ, мощностью P . Расстояние от трансформатора до места расположения потребителей энергии L . Потребитель энергии защищен плавкими вставками.

В качестве фазных проводов используется кабель с алюминиевыми жилами диаметром d и сечением 12мм². Нулевой провод выполнен из стальной шины сечением $S_{н.н}=30 \times 4$ мм² и проложен на расстоянии $D=50$ см от кабеля.

4. Оформить отчет.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 6

Исходные данные для расчета защитного зануления

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P, \text{кВ}\cdot\text{А}$	25	40	63	100	25	40	63	100	25	40	63	100	160	160	160
$L, \text{м}$	150	200	250	300	300	250	200	150	80	75	70	100	150	200	260
$d, \text{мм}$	3,0	3,5	4,0	3,2	3,4	3,6	3,0	3,5	4,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2

Контрольные вопросы

1. Что такое защитное зануление?
2. Назначение, область применения защитного зануления.
3. Принцип действия защитного зануления.
4. Каков порядок расчета защитного зануления?
5. В каком случае зануление является эффективным средством защиты?

Практическая работа № 5

Расчет устройств молниезащиты зданий и сооружений

Цель работы: познакомиться с устройством молниезащиты, типами молниеотводов, принципом выбора молниеотводов. Освоить методику расчета устройств молниезащиты.

Основные понятия

Молния представляет собой электрический разряд длиной в несколько километров, развивающийся между грозовым облаком и землей или каким-либо наземным сооружением.

Воздействия молнии принято подразделять на две основные группы:

- первичные, вызванные прямым ударом молнии;
- вторичные, индуцированные близкими ее разрядами или занесенные в объект протяженными металлическими коммуникациями.

Опасность прямого удара и вторичных воздействий молнии для зданий и сооружений и находящихся в них людей или животных определяется, с одной стороны, параметрами разряда молнии, а с другой – технологическими и конструктивными характеристиками объекта (наличием взрыво- или пожароопасных зон, огнестойкостью строительных конструкций, видом вводимых коммуникаций, их расположением внутри объекта и т.д.).

Прямой удар молнии вызывает следующие воздействия на объект: *электрические*, связанные с поражением людей или животных электрическим током; *термические*, связанные с резким выделением теплоты при прямом контакте молнии с объектом; *механические*, обусловленные ударной волной, распространяющейся от канала молнии, и электродинамическими силами, действующими на проводники с токами молнии.

Вторичные проявления молнии связаны с действием на объект электромагнитного поля близких разрядов – электростатической и электромагнитной индукцией.

Электростатическая индукция проявляется в виде перенапряжения, возникающего на металлических конструкциях объекта и зависящего от тока молнии, расстояния до места удара и сопротивления заземлителя. При отсутствии надлежащего заземлителя перенапряжение может достигать сотен киловольт и создавать опасность поражения людей и перекрытий между разными частями объекта.

Электромагнитная индукция заключается в наведении потенциалов в незамкнутых металлических контурах, величина которых зависит от изменений тока молнии и площади, охватываемой контуром, и может достигать нескольких десятков киловольт.

Еще одним видом опасного воздействия молнии является **занос высокого потенциала** по вводимым в объект коммуникациям (проводам воздушных линий электропередачи, кабелям, трубопроводам). Он представляет собой

перенапряжение, возникающее на коммуникации при прямых и близких ударах молнии и распространяющееся в виде набегающей на объект волны.

Удары молнии могут быть особо опасны для информационных систем, систем управления, контроля и электроснабжения.

Молниезащита зданий и сооружений проектируется в соответствии с "Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" СО 153-34.21.122-2003, утвержденной приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. №280.

Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты

Классификация объектов определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (табл. 1).

По устройству молниезащиты здания и сооружения делятся на обычные объекты и специальные объекты.

Обычные объекты – жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства.

Специальные объекты:

- объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения (нефтеперерабатывающие предприятия, заправочные станции);
- объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);
- прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита (строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты).

Таблица 1

<i>Объект</i>	<i>Тип объекта</i>	<i>Последствия удара молнии</i>
1	2	3
Обычный	Жилой дом	Отказ электроустановок, пожар и повреждение имущества. Обычно небольшое повреждение предметов, расположенных в месте удара молнии или задетых ее каналом
	Ферма	Первоначально - пожар и занос опасного напряжения, затем - потеря электропитания с риском гибели животных из-за отказа электронной системы управления вентиляцией, подачи корма и т.д.
	Театр; школа; универмаг; спортивное сооружение	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий
	Банк; страховая компания; коммерческий офис	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбои компьютеров с потерей данных

	Больница; детский сад; дом для престарелых	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбой компьютеров с потерей данных. Необходимость помощи тяжелобольным и не подвижным людям
	Промышленные предприятия	Дополнительные последствия, зависящие от условий производства, - от незначительных повреждений до больших ущербов из-за потерь продукции
	Музеи и археологические памятники	Невосполнимая потеря культурных ценностей
Специальный с ограниченной опасностью	Средства связи; электростанции; пожароопасные производства	Недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций). Косвенная опасность пожара для соседних объектов
Специальный, представляющий опасность для непосредственно го окружения	Нефтеперерабатывающие предприятия; заправочные станции; производства петард и фейерверков	Пожары и взрывы внутри объекта и в непосредственной близости
Специальный, опасный для экологии	Химический завод; атомная электростанция; биохимические фабрики и лаборатории	Пожар и нарушение работы оборудования с вредными последствиями для окружающей среды

При строительстве и реконструкции для каждого класса объектов определяется необходимый уровень надежности защиты от прямых ударов молнии (ПУМ). Надежность защиты определяется как $1-P$.

Таблица 2

Уровни защиты от ПУМ для обычных объектов

Уровень защиты	Надежность защиты от ПУМ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9-0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ по согласованию с органами государственного контроля.

УСТРОЙСТВО МОЛНЕЗАЩИТЫ

Молниезащита представляет собой комплекс мероприятий, направленных на предотвращение прямого удара молнии в объект или на

устранение опасных последствий, связанных с прямым ударом; к этому комплексу относятся также средства защиты, предохраняющие объект от вторичных воздействий молнии и заноса высокого потенциала.

Средством защиты от прямых ударов молнии служит **молниеотвод** – устройство, рассчитанное на непосредственный контакт с каналом молнии и отводящее ее ток в землю.

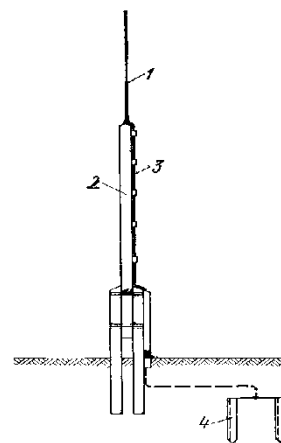
Молниеотводы разделяются на *отдельно стоящие*, обеспечивающие растекание тока молнии минуя объект, и *устанавливаемые на самом объекте*. При этом растекание тока происходит по контролируемым путям так что обеспечивается низкая вероятность поражения людей от взрыва или пожара.

Установка отдельно стоящих молниеотводов исключает возможность термического воздействия на объект при поражении молниеотвода, для объектов с постоянной взрывоопасностью принят этот способ защиты. Для объектов, характеризующихся меньшим риском взрыва или пожара, в равной мере допустимо использование отдельно стоящих молниеотводов и устанавливаемых на защищаемом объекте.

Молниеотвод представляет собой возвышающееся над защищаемым объектом устройство, воспринимающее прямой удар молнии и отводящее токи молнии (посредством определенной системы заземления) в землю.

Молниеотвод состоит из следующих элементов:

1. молниеприемник (воспринимает прямой удар молнии);
2. опора (несущая конструкция, предназначенная для установки молниеприемника);
3. токоотвод (обеспечивает отвод тока молнии к заземлителю);
4. заземлитель (отводит ток молнии в землю и обеспечивает контакт с землей молниеприемника и токоотвода).



На практике молниеотводы могут образовывать единую конструкцию, например металлическая мачта или ферма здания представляет собой молниеприемник, опору и токоотвод одновременно.

По типу молниеприемника молниеотводы разделяются на **стержневые (вертикальные)**, **тросовые (горизонтальные протяженные)**, **замкнутые тросовые** и **сетки**, состоящие из продольных и поперечных горизонтальных электродов, соединенные в местах пересечения.

Стержневые и тросовые молниеотводы могут быть как отдельно стоящие, так и устанавливаемые на объекте, молниеприемные сетки укладываются на неметаллическую кровлю защищаемых зданий и сооружений в случае если крыша горизонтальная.

Защитное действие молниеотводов

Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии с большой вероятностью поражать более высокие и хорошо заземленные

предметы по сравнению с расположенными рядом объектами меньшей высоты. Поэтому на молниеотвод, возвышающийся над защищаемым объектом, возлагается функция перехвата молний, которые в отсутствии молниеотвода поразили бы объект.

Каждый молниеотвод имеет **зону защиты** – пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения. Наименьшей и постоянной надежностью обладает поверхность зоны защиты; в глубине зоны защиты надежность выше, чем на ее поверхности.

Выбор молниеотводов

Выбор типа и высоты молниеотводов производится исходя из значений требуемой надежности P_z . Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты не менее P_z .

Во всех случаях система защиты от прямых ударов молнии выбирается так, чтобы максимально использовались естественные молниеотводы, а если обеспечиваемая ими защищенность недостаточна - в комбинации со специально установленными молниеотводами.

В общем случае выбор молниеотводов должен производиться при помощи соответствующих компьютерных программ, способных вычислять зоны защиты или вероятность прорыва молнии в объект (группу объектов) любой конфигурации при произвольном расположении практически любого числа молниеотводов различных типов.

При прочих равных условиях высоту молниеотводов можно снизить, если вместо стержневых конструкций применять тросовые, особенно при их подвеске по внешнему периметру объекта.

Если защита объекта обеспечивается простейшими молниеотводами (одиночным стержневым, одиночным тросовым, двойным стержневым, двойным тросовым, замкнутым тросовым), размеры молниеотводов можно определять, пользуясь заданными в Инструкции зонами защиты (табл.2-4 методических указаний).

Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (рис.1). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .

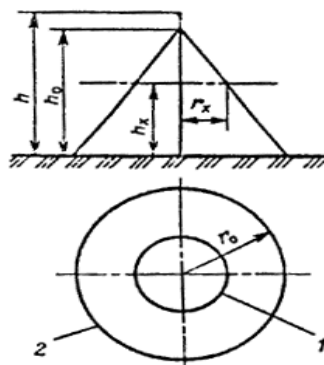


Рис. 1. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

1 - граница зоны защиты на уровне h_x , 2 - то же на уровне земли

Приведенные ниже расчетные формулы (табл. 2) применяются для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

Таблица 2

Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	от 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	от 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 - 10^{-3} \cdot (h - 100)] \cdot h$
0,99	от 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	от 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 30)] \cdot h$
	от 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3} \cdot (h - 100)] \cdot h$	$0,7h$
0,999	от 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	от 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4} \cdot (h - 30)] \cdot h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 30)] \cdot h$
	от 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3} \cdot (h - 100)] \cdot h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 100)] \cdot h$

Для зоны защиты требуемой надежности (рис. 1) радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x определяется по формуле

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (1)$$

Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Стандартные зоны защиты одиночного тросового молниеотвода высотой h ограничены симметричными двускатными поверхностями, образующими в вертикальном сечении равнобедренный треугольник с вершиной на высоте $h_0 < h$ и основанием на уровне земли $2r_0$ (рис. 2).

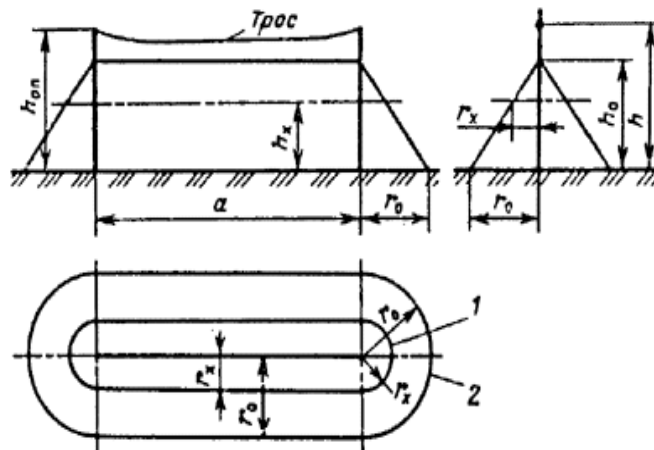


Рис. 2. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

Приведенные ниже расчетные формулы (табл.3) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При большей высоте следует пользоваться специальным программным обеспечением. Под h понимается минимальная высота троса над уровнем земли (с учетом провеса).

Таблица 3

Расчет зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	от 0 до 150	$0,87h$	$1,5h$
0,99	от 0 до 30	$0,8h$	$0,95h$
	от 30 до 100	$0,8h$	$[0,95 - 7,14 \cdot 10^{-4} \cdot (h - 30)] \cdot h$
	от 100 до 150	$0,8h$	$[0,9 - 10^{-3} \cdot (h - 100)] \cdot h$
0,999	от 0 до 30	$0,75h$	$0,7h$
	от 30 до 100	$[0,75 - 4,28 \cdot 10^{-4} \cdot (h - 30)] \cdot h$	$[0,7 - 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 30)] \cdot h$
	от 100 до 150	$[0,72 - 10^{-3} \cdot (h - 100)] \cdot h$	$[0,6 - 10 \cdot (h - 100)] \cdot h$

Полуширина r_x зоны защиты требуемой надежности (рис.2) на высоте h_x от поверхности земли определяется выражением:

$$r_x = r_0 \frac{h_0 - h_x}{h_0} \quad (2)$$

При необходимости расширить защищаемый объем к торцам зоны защиты собственно тросового молниеотвода могут добавляться зоны защиты несущих опор, которые рассчитываются по формулам одиночных стержневых молниеотводов, представленным в табл. 2. В случае больших провесов тросов, например у воздушных линий электропередачи, рекомендуется рассчитывать обеспечиваемую вероятность прорыва молнии программными методами, поскольку построение зон защиты по минимальной высоте троса в пролете может привести к неоправданным затратам.

Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Молниеотвод считается двойным, когда расстояние между стержневыми молниеприемниками L не превышает предельной величины L_{max} . В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

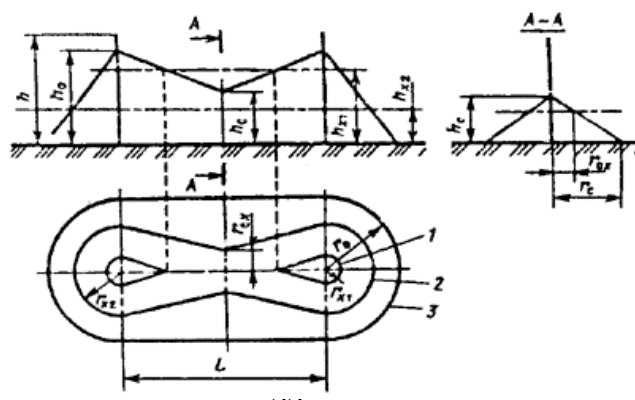


Рис.3. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода:

1 - граница зоны защиты на уровне h_{x1} ; 2 - то же на уровне h_{x2} , 3 - то же на уровне

Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного стержневого молниеотвода (высотой h и расстоянием L между молниеотводами) представлена на *рис.3*. Построение внешних областей зон двойного молниеотвода (полуконусов с габаритами h_0, r_0) производится по формулам табл. 2 для одиночных стержневых молниеотводов. Размеры внутренних областей определяются параметрами h_0 и h_c , первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у молниеотводов, а второй - минимальную высоту зоны посередине между молниеотводами. При расстоянии между молниеотводами $L \leq L_c$ граница зоны не имеет провеса ($h_c = h_0$). Для расстояний $L_c \leq L \leq L_{\max}$ высота h_c определяется по выражению:

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0 \quad (3)$$

Входящие в него предельные расстояния $L_{\max}$ и L_c вычисляются по формулам табл.4, применяемым для молниеотводов высотой до 150 м. При большей высоте молниеотводов следует пользоваться специальным программным обеспечением.

Таблица 4

Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_z	Высота молниеотвода h , м	$L_{\max}$, м	L_c , м
0,9	от 0 до 30	$5,75h$	$2,5h$
	от 30 до 100	$[5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 30)] \cdot h$	$2,5h$
	от 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	от 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	от 30 до 100	$[4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 30)] \cdot h$	$[2,25 - 0,01007 \cdot (h - 30)] \cdot h$
	от 100 до 150	$4,5h$	$1,5h$
0,999	от 0 до 30	$4,25h$	$2,25h$
	от 30 до 100	$[4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3} \cdot (h - 30)] \cdot h$	$[2,25 - 0,01007 \cdot (h - 30)] \cdot h$
	от 100 до 150	$4,0h$	$1,5h$

Размеры горизонтальных сечений зоны вычисляются по следующим формулам, общим для всех уровней надежности защиты:

максимальная полуширина зоны r_x в горизонтальном сечении на высоте h_x :

$$r_x = r_0 \frac{h_0 - h_x}{h_0} \quad (4)$$

длина горизонтального сечения l_x на высоте $h_x \geq h_c$:

$$l_x = L \frac{h_0 - h_x}{2(h_0 - h_c)} \quad (5)$$

причем при $h_x < h_c$, $L_x = L / 2$;

ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами $2r_{cx}$ на высоте $h_x \leq h_c$:

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (6)$$

Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с устройством молниезащиты, типами молниеотводов, принципом выбора молниеотводов.

2. Рассчитать зону защиты молниеотвода (по заданию преподавателя). Ответить на контрольные вопросы.

Задание 1. Определить зону защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h , защищающего дымовую трубу высотой h_x , с диаметром основания $d_{осн.}$, наружный диаметр верхнего отверстия d_6 . Надежность защиты $P_3=0,99$. Привести схему молниезащиты объекта в масштабе (рис.4).

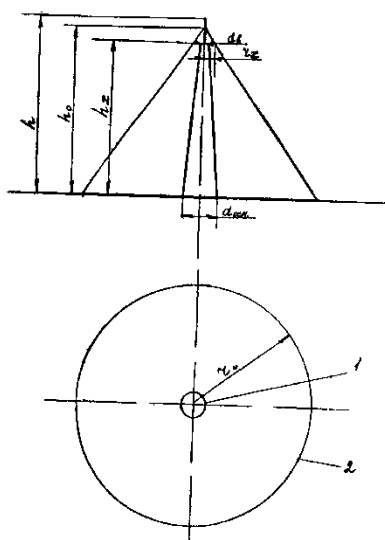
Исходные данные	Варианты										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
h , м	53	51	49	47	45	43	41	39	37	35	33
h_x , м	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30
$d_{осн.}$, м	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2
d_6 , м	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6

Задание 2. Рассчитать высоту стержневого молниеотвода, установленного на водонапорной башне. Высота башни h_x , диаметр верхней части d_6 . Надежность защиты $P_3=0,9$. Привести схему молниезащиты объекта в масштабе (рис.5).

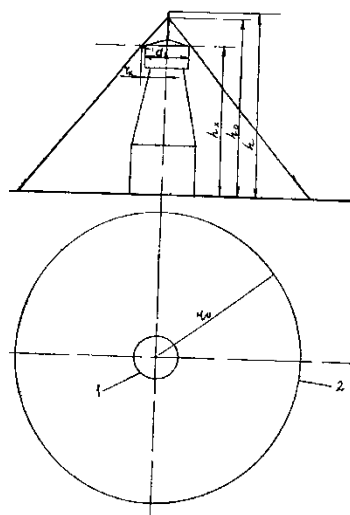
Исходные данные	Варианты										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
h_x , м	26	25	24	23	21	20	19	18	17	16	15
d_6 , м	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7

Задание 3. Определить зону защиты отдельно стоящего тросового молниеотвода. Защищается склад ЛВЖ. Размеры склада L – длина, S – ширина, h_x – высота здания. Опоры высотой $h_{опр.}$. Расположены на расстоянии 5 м от склада. Надежность защиты $P_3=0,99$. Привести схему молниезащиты объекта в масштабе (рис.6).

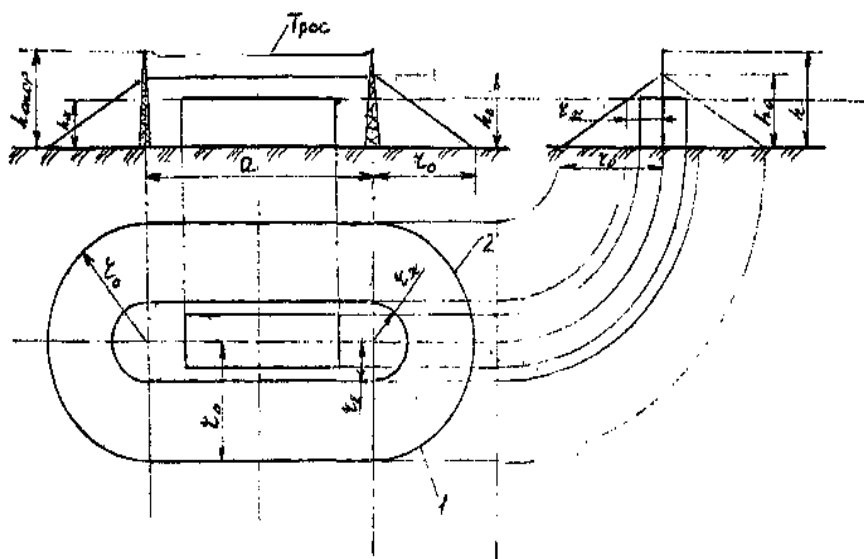
Исходные данные	Варианты										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L , м	10	14	16	12	18	20	10	21	14	15	19
S , м	4	6	8	4	8	10	4	6	7	6	9
h_x , м	5	5	6	5	6	7	4	5	6	6	7
$h_{опр.}$, м	8	8	10	10	12	10	8	8	8	10	9



**Рис.4. Зона защиты одиночного
стержневого молниеотвода
защищающего дымовую трубу**



**Рис.5. Зона защиты одиночного
стержневого молниеотвода
защищающего
водонапорную башню**



**Рис.6. Зона защиты отдельно
стоящего
тросового молниеотвода**

Контрольные вопросы

1. Молниезащита. Определение.
2. В чем заключается опасность воздействия прямого удара молнии?
3. Молниеотвод. Устройство. В чем заключается защитное действие молниеотвода?
4. Укажите типы молниеотводов.

5. Какие молниеотводы целесообразно использовать для защиты цеха по производству горючих и легковоспламеняющихся жидкостей?

6. Что собой представляет зона защиты одиночного строжневого молниеотвода?

7. Что собой представляет зона защиты одиночного тросового молниеотвода?

Практическая работа № 6

Расчет предохранительных конструкций в наружном ограждении взрывоопасных помещений

Цель работы: ознакомиться с требованиями к размещению предохранительных конструкций и методикой расчета предохранительных конструкций

Основные понятия

Обеспечение взрывоустойчивости зданий и сооружений при внутренних аварийных взрывах может осуществляться по двум направлениям:

- а) Снижение избыточного давления, возникающего при внутреннем аварийном взрыве;
- б) Повышение прочности и устойчивости конструкций к действию аварийных (взрывных) нагрузок.

Сочетание обоих указанных направлений является необходимым условием разработки оптимальных решений по обеспечению взрывоустойчивости зданий и сооружений при внутренних аварийных взрывах.

Для снижения избыточного давления, возникающего при внутренних аварийных взрывах, используются предохранительные конструкции (ПК). В качестве ПК обычно используются стекла глухого остекления помещения (разрушающиеся ПК), открывающиеся наружу створки оконных пролетов, двери и ворота (вращающиеся ПК), а также легкобрасываемые стеновые пакеты и облегченные плиты покрытий помещений (смещающиеся ПК).

С помощью ПК избыточное давление в помещении при аварийном взрыве снижается до допустимой величины ($\Delta P_{дон}$).

При проектировании зданий и сооружений взрывоопасных производств величину $\Delta P_{дон}$ следует принимать не менее 5 кПа. Для зданий и сооружений, конструкции которых не рассчитываются на действие избыточного давления, возникающего при внутреннем аварийном взрыве, разрешается при соответствующем обосновании принимать $\Delta P_{дон} = 3$ кПа.

Несущие конструкции зданий и сооружений, подвергающиеся действию избыточного давления при внутреннем аварийном взрыве, должны рассчитываться на основное и особое сочетание нагрузок с учетом этого давления (СНиП 2.01.07 - 85 «Нагрузки и воздействия»).

Предохранительные конструкции устанавливаются в наружном ограждении помещений взрывоопасных производств. Под действием избыточного давления, возникающего при внутреннем аварийном взрыве, ПК должна вскрываться наружу.

Для снижения избыточного давления, возникающего при аварийных взрывах, до допустимой величины, в первую очередь надо использовать наружное остекление помещений. При этом в качестве ПК могут использоваться стекла глухого остекления помещения, а также открывающиеся

створки (лучше с вертикальным шарниром) оконных переплетов (рис. 1.а). Наряду с остеклением могут использоваться легкобрасываемые панели (рис. 1.б). Применение смещающихся ПК в виде легкобрасываемых стеновых панелей следует предусматривать в тех случаях, когда это не представляет опасности поражения людей, находящихся вблизи здания или сооружения, в котором устраиваются ПК.

Если требуемая площадь проемов, перекрываемых ПК, не может быть размещена в стенах здания (сооружения), то их следует располагать в покрытии взрывоопасного помещения. Для устройства ПК в покрытии помещений целесообразно использовать фонари (рис. 1.в). Устройство ПК в виде облегченных плит, устанавливаемых в покрытии помещения (рис.1.г) может быть достаточно эффективным только при сравнительно большом значении $\Delta P_{доп}$.

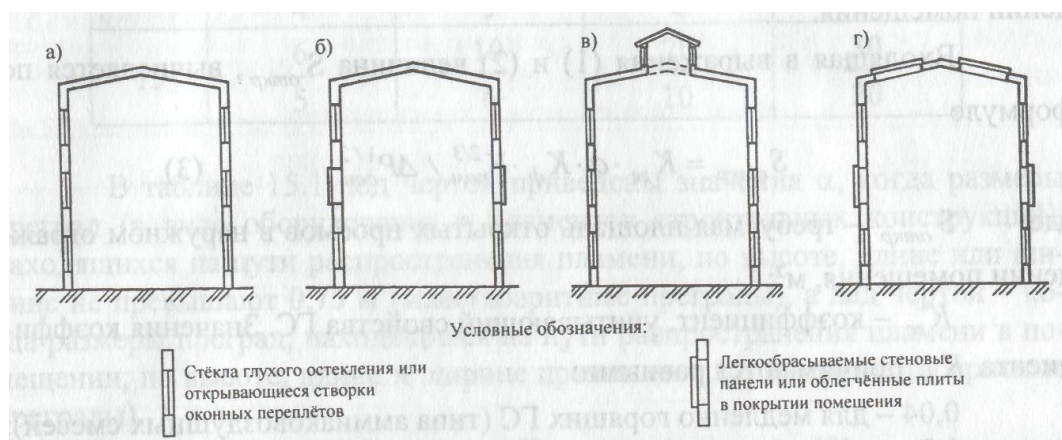


Рис. 1. Примеры установки ПК в одноэтажном промышленном здании: а - глухое остекление; б - легкобрасываемые стеновые панели; в - использование фонарей и облегченных плит покрытия в качестве ПК

Предохранительные конструкции следует размещать как можно ближе к ожидаемым местам воспламенения горючей смеси (ГС), образующейся в аварийных ситуациях во взрывоопасном помещении. При отсутствии данных о местах возможного воспламенения ГС в помещениях, линейные размеры которых по длине, высоте и ширине не более чем в три раза отличаются один от другого, ПК следует размещать равномерно по площади стен помещения, а при необходимости и в его покрытии. В сильно вытянутых в длину помещениях ПК располагают, как правило, в боковых стенах по длине помещения, а также в его покрытии. В помещениях, имеющих большую высоту, ПК следует размещать преимущественно в их стенах.

Определение требуемой площади проемов, перекрываемых ПК

Требуемая площадь проемов в наружном ограждении помещения, перекрываемых ПК i -го типа (разрушающиеся ПК, вращающиеся ПК, смещающиеся) определяются по формуле

$$S_{пк,i} = S_{откр} / \psi_{пк,i} \quad (1)$$

где $S_{откр}$ - требуемая площадь открытых проемов в наружном ограждении помещения, при которой избыточное давление, возникающее в помещении при взрывном горении ГС, не превысит допустимой величины, ($\Delta P_{доп}$); $\psi_{пк,i}$ - коэффициент, характеризующий эффективность вскрытия ПК i -го типа (см. табл. 2).

При устройстве в наружном ограждении помещения ПК разных типов требуемая площадь проемов, перекрываемых этими ПК, может определяться с помощью выражения

$$S_{откр} \leq \sum_{i=1}^{\eta_{пк}} S_{пк,i} \cdot \psi_{пк,i} \quad (2)$$

где $\eta_{пк}$ - количество типов ПК, устанавливаемых в наружном ограждении помещения.

Входящая в выражения (1) и (2) величина $S_{откр}$, вычисляется по формуле

$$S_{откр} = K_{гс} \cdot \alpha \cdot \frac{V_{пом}^{2/3}}{\Delta P_{доп}^{1/2}}, \quad (3)$$

где $S_{откр}$ - требуемая площадь открытых проемов в наружном ограждении помещения, m^2 ; $K_{гс}$ - коэффициент, учитывающий свойства ГС. Значения коэффициента $K_{гс}$ принимаются равными: 0,04 - для медленно горящих ГС (типа аммиаковоздушных смесей); 0,2 - для небыстро горящих ГС (типа метановоздушных, пропано-воздушных и им подобных ГС); 0,7 - для быстро горящих ГС (типа ацетиленовоздушных и водородовоздушных смесей).

α - показатель интенсификации взрывного горения.

Показатель интенсификации взрывного горения α принимается по данным таблицы 1 в зависимости от полного объема помещения ($V_{о.пом}$) и степени загроможденности (заполнения) его оборудованием и элементами конструкций (Θ). Величина $V_{о.пом}$ принимается равной объему помещения без учета располагаемых в нем оборудования и элементов строительных конструкций (колонн, ферм, этажерок, подмостей, лестничных маршей и т. п.). Величина Θ (в %) определяется по формуле

$$\Theta = \frac{100V_{ос}}{V_{о.пом}} \quad (4)$$

где $V_{ос}$ - объем оборудования и элементов строительных конструкций, находящихся в помещении.

Таблица 1

Значения α				
$\Theta, \%$	Величина α в зависимости от $V_{о.пом}, m^3$			
	100	1000	10000	100000

3	4/3	5/4	6/5	7/6
5-7	5/4	6/5	10/6	15/10
15	6/5	10/6	20/10	30/20

В таблице 1 под чертой приведены значения α , когда размеры преград (в виде оборудования и элементов строительных конструкций), находящихся на пути распространения пламени, по высоте, длине или ширине не превышают 0,75 м (малогабаритные преграды), а над чертой - когда размеры преград, находящихся на пути распространения пламени в помещении, по высоте, длине и ширине превышают 1,5 м (крупногабаритные преграды).

Связь между $V_{o,пом}$ и $V_{пом}$ в формуле (3) определяется соотношением

$$V_{пом} = V_{o,пом} \cdot (1 - 0,01 \Theta),$$

Для промежуточных значений $V_{o,пом}$ и Θ , а также при наличии в помещении как малогабаритных, так и крупногабаритных преград на пути распространения пламени, величина α находится интерполяцией.

$K\phi$ - коэффициент, учитывающий влияние формы помещения на интенсивность истечения из него газа.

Значения коэффициента $K\phi$ могут определяться по формуле

$$K\phi = b_n^2 + h_n^2 / 2V_{o,пом}^{2/3} \text{ при } h_n \leq \alpha_n;$$

$$K\phi = b_n^2 + \alpha_n^2 / 2V_{o,пом}^{2/3} \text{ при } \alpha_n \leq h_n; \quad (6)$$

где α_n , b_n , h_n - соответственно длина, ширина и высота помещения, объем которого (без учета располагаемых в нем оборудования и элементов строительных конструкций) равен $V_{o,пом}$; Если окажется, что определяемая по формуле (6) величина $K\phi > 1$, то нужно принимать $K\phi = 1$; $V_{пом}$ - свободный объем помещения, м³; $\Delta P_{дон}$ - допускаемое в помещении избыточное давление при взрывном горении ГС, кПа.

Использование в качестве ПК глухого остекления

Размеры оконных переплетов с глухим остеклением, используемых при устройстве остекления помещений взрывоопасных производств, а также коэффициенты $\psi_{нк,i}$, характеризующие эффективность вскрытия стекол в этих оконных переплетах в зависимости от вида остекления, толщины стекла и допустимого в помещении избыточного давления ($\Delta P_{дон}$), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значение коэффициента $\psi_{нк,i}$ оконных одинарных и двойных переплетов с глухим остеклением

Размеры стекла, мм	$\Delta P_{дон}$, кПа	Вид остекления	
		Одинарное	Двойное

		Толщина стекла, мм					
		3	4	5	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8
1150x480	3	0,007	-	-	-	-	-
	5	0,158	0,013	-	-	-	-
1080x530	3	0,021	-	-	-	-	-
	5	0,264	0,033	0,001	-	-	-
1080x700	3	0,115	0,009	-	-	-	-
	5	0,636	0,175	0,02	0,081	-	-
1680x700	3	0,286	0,047	0,004	0,005	-	-
	5	0,867	0,405	0,121	0,299	0,017	-
1080x1150	3	0,37	0,071	0,009	0,012	-	-
	5	0,906	0,502	0,172	0,407	0,035	-
1080x1450	3	0,715	0,246	0,069	0,125	0,002	-
	5	0,939	0,837	0,496	0,772	0,248	0,034

При равных размерах застекленных проемов конструктивное решение оконного переплета на значениях $\psi_{nk,i}$ не сказывается.

Для оконных переплетов с глухим остеклением, размеры которых отличаются от приведенных в таблице 2, коэффициент $\psi_{nk,i}$ может определяться интерполяцией по формуле (7)

$$\psi_{nk,i} = \sum_{j=1}^{\eta_m} c_j \psi_{nk,j}, \quad (7)$$

где η_n - количество типов (отличающихся по размерам остекленных проемов в оконном переплете);

c_j - доля площади проемов j -го типа в оконном переплете;

$\psi_{nk,j}$ - коэффициент $\psi_{nk,j}$, определяемый по данным таблицы 2 в зависимости от размеров застекленных проемов j -го (i -го) типа.

Размеры и толщину стекол для устройства остекления помещений взрывоопасных производств необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы при взрывном горении ГС вскрывалось как можно больше стекол (т.е. коэффициент $\psi_{nk,j}$ имел возможно большую величину), а при действии ветровой нагрузки вероятность вскрытия застекленных проемов не превышала: 0,01 - при одинарном остеклении и 0,001 - при двойном остеклении.

Вращающиеся ПК

При устройстве вращающихся ПК необходимо использовать крепежные (запорные) устройства, которые бы обеспечивали надежное и независимое

вскрытие этих конструкций при достижении избыточным давлением в помещении величины $\Delta P_{вскр}$.

Для вращающихся ПК, устанавливаемых в стенах помещения, минимальное значение $\Delta P_{вскр}$ определяется с помощью выражений:

$$\Delta P_{вскр} = 1 \text{ кПа}$$

$$\Delta P_{вскр} = -2,5 \omega_{p.в} (-1) \quad (8)$$

где $\omega_{p.в} (-)$ - расчетная ветровая нагрузка, устанавливаемая для крепежных (запорных) устройств ПК по отрицательному давлению, возникающему в зоне разрежения у ограждения помещения в месте установки ПК.

При вычислении $\omega_{p.в} (-)$ следует принимать коэффициент динамичности $K_d = 1,1$.

Из двух значений $\Delta P_{вскр}$, определяемых по формулам (8), в качестве расчетного принимается большее.

Если вскрытие открывающейся створки не может быть обеспечено при принятом значении $\Delta P_{вскр}$, то следует считать, что соответствующий проем остекленного переплета имеет глухое остекление.

Коэффициент $\psi_{nk,i}$, характеризующий эффективность вскрытия створок, определяется по формулам:

а) При креплении створок с помощью вертикального шарнира (рис.2а)

$$\psi_{nk,i} = \frac{40 \cdot K_{\psi} (a_i + b_i)}{\mu_i} \quad (9)$$

б) При креплении створки с помощью верхнего горизонтального шарнира (рис. 2 б)

$$\psi_{nk,i} = \frac{40 \cdot K_{\psi} (a_i + b_i)}{\mu_i} \cdot \left[1 - \frac{0,005 \mu_i}{d_i b_i \Delta P_{вскр,i}} \right] \quad (10)$$

в) При креплении створки с помощью нижнего горизонтального шарнира (рис. 2 в)

$$\psi_{nk,i} = \frac{40 \cdot K_{\psi} (a_i + b_i)}{\mu_i} \cdot \left[1 - \frac{0,003 \mu_i}{d_i b_i \Delta P_{вскр,i}} \right] \quad (11)$$

где a_i и b_i - размеры створки, м; μ_i - масса створки, кг; $\Delta P_{вскр,i}$ - избыточное давление, при котором происходит вскрытие створок, имеющих размеры a_i и b_i и массу μ_i (определяется по формулам (8) при $\Delta P_{вскр} = \Delta P_{вскр,i}$ кПа); K_{ψ} - коэффициент, значения которого в зависимости от скорости горения, $\Delta P_{вскр}$, $\Delta P_{дон}$, а также объема и формы помещения и степени загроможденности

его оборудованием и элементами строительных конструкций определяются по данным таблицы 3.

Если окажется, что определяемая по формулам (9), (10) и (11) величина $\psi_{nk.i} > 1$, то нужно принять $\psi_{nk.i} = 1$.

Значения a_i , b_i и μ_i - для наиболее часто встречающихся открывающихся створок оконных переплетов, приведены в таблице 4.

Двери, устанавливаемые в нужном ограждении помещений взрывоопасных производств, если их полотна будут открываться наружу, могут быть использованы в качестве ПК при принятых значениях $\Delta P_{вск}$.

Определение значений $\psi_{nk.i}$ для дверей производится по формуле (9).

Характерные значения a_i , b_i и μ_i для дверей приведены в табл. 5.

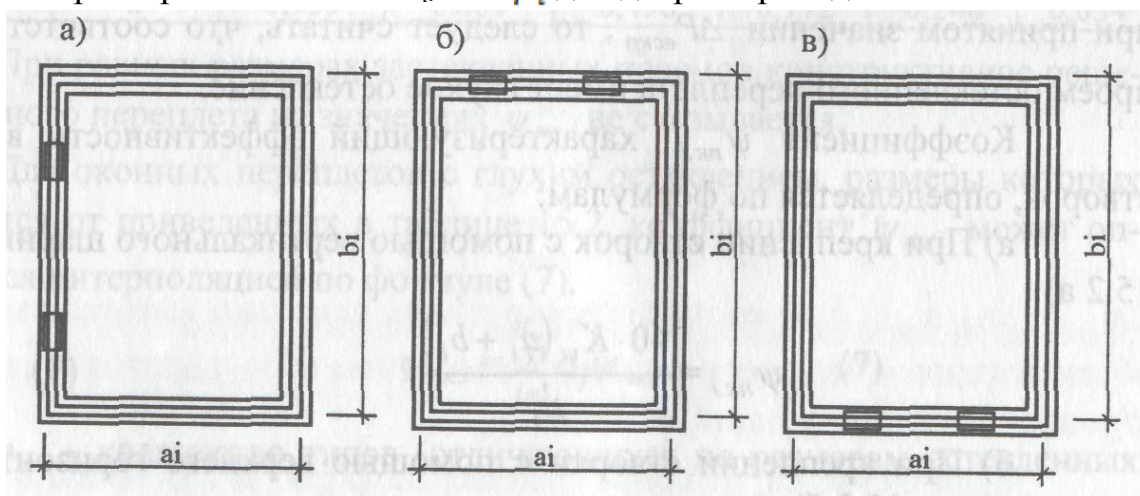


Рис. 2. Отдельные проемы, перекрываемые открывающимися шарниром створками: а - с боковым шарниром; б - с верхним; в - с нижним шарниром

Таблица 3

Значение коэффициентов K_ψ для проемов, перекрываемых вращающимися ПК

а) медленно горящие смеси

$\Delta P_{вск}$, кПа	Vo.no м. м ³	Θ , %	$\Delta P_{дон}$, кПа					
			3,0			5,0		
			K_ψ			K_ψ		
			1	0,5	0,25	1	0,5	0,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	100	<3	43,858	21,929	10,964	113,240	56,620	28,310

1,0		5-7	32,227	16,111	8,056	83,197	41,599	20,799
		9-11	24,670	12,335	6,168	63,690	31,849	15,924
		>15	15,789	7,894	3,947	40,767	20,383	10,192
	1000	<3	115,390	57,695	28,848	297,937	148,968	74,484
		5-7	91,173	45,586	22,73	3235,937	117,703	58,852
		9-11	73,850	36,925	18,462	190,679	95,34	47,67
		>15	51,285	25,642	12,821	132,416	66,202	33,104
	10000	<3	345,422	172,711	86,355	891,875	445,938	222,969
		5-7	239,876	119,938	59,969	619,358	309,679	154,839
		9-11	134,930	67,465	33,733	348,389	174,194	87,097
		>15	86,355	43,178	21,589	222,969	111,484	55,742
2,0	100	<3	8,772	4,386	2,193	45,296	22,648	11,324
		5-7	6,444	3,222	1,611	33,279	16,639	8,32
		9-11	4,934	2,467	1,234	25,479	12,74	6,37
		>15	3,158	1,579	0,789	16,307	8,153	4,077
	1000	<3	23,078	11,539	5,77	119,175	59,587	29,794
		5-7	18,235	9,117	4,559	94,163	47,081	23,541
		9-11	14,770	7,385	3,692	76,272	38,136	19,068
		>15	10,257	5,128	2,564	52,967	26,483	13,242
	10000	<3	69,084	34,542	17,271	356,75	178,375	89,187
		5-7	47,975	23,988	11,994	247,743	123,872	61,936
		9-11	26,986	13,493	6,747	139,355	69,678	34,839
		>15	17,271	8,636	4,318	89,187	44,594	22,297

--	--	--	--	--	--	--	--	--

б) небыстро горящие смеси

1,0	100	<3	2,982	1,491	0,746	7,7	3,85	1,925
		5-7	2,191	1,096	0,548	5,657	2,829	1,414
		9-11	1,673	0,839	0,419	4,331	2,166	1,083
		>15	1,074	0,537	0,268	2,772	1,386	0,693
	1000	<3	7,847	3,923	1,962	20,26	10,13	5,065
		5-7	6,2	3,1	1,55	16,008	8,004	4,002
		9-11	5,002	2,511	1,255	12,966	6,483	3,242
		>15	3,487	1,744	0,872	9,004	4,502	2,251
	10000	<3	23,489	11,744	5,872	60,648	30,324	15,162
		5-7	16,312	8,156	4,078	42,116	21,058	10,529
		9-11	9,175	4,588	2,294	23,69	11,845	5,923
		>15	5,872	2,936	1,468	15,162	7,581	3,79
2,0	100	<3	0,596	0,298	0,149	3,08	1,54	0,77
		5-7	0,438	0,219	0,11	2,263	1,131	0,566
		9-11	0,336	0,168	0,084	1,733	0,866	0,433
		> 15	0,215	0,107	0,054	1,109	0,554	0,277
	10000	<3	4,698	2,349	1,174	24,259	12,129	6,065
		5-7	3,262	1,631	0,816	16,847	8,423	4,212
		9-11	1,835	0,918	0,459	9,476	4,738	2,369
		>15	1,174	0,587	0,294	6,065	3,032	1,516

в) быстро горящие смесь,

1,0	100	<3	0,07	0,035	0,018	0,181	0,091	0,045
		5-7	0,052	0,026	0,013	0,133	0,067	0,033
		9-11	0,039	0,02	0,01	0,102	0,051	0,025
		>15	0,025	0,013	0,006	0,065	0,033	0,016
	1000	<3	0,185	0,092	0,046	9,477	0,238	0,119
		5-7	0,146	0,073	0,036	0,377	0,188	0,094
		9-11	0,118	0,059	0,03	0,305	0,153	0,076

	10000	>15	0,082	0,041	0,021	0,212	0,106	0,053
		<3	0,553	0,276	0,138	1,427	0,714	0,357
		5-7	0,384	0,192	0,096	0,991	0,495	0,248
		9-11	0,216	0,108	0,054	0,557	0,279	0,139
		> 15	0,138	0,069	0,035	0,367	0,178	0,089
2,0	100	<3	0,014	0,07	0,004	0,072	0,036	0,018
		5-7	0, 01	0,05	0,003	0,053	0,027	0,013
		9-11	0,08	0,04	0,002	0,041	0,02	0,01
		>15	0,05	0,03	0,001	0,026	0,013	0,007
	1000	<3	0,037	0,018	0,009	0,191	0,095	0,048
		5-7	0,029	0,015	0,007	0,151	0,075	0,038
		9-11	0,024	0,012	0,006	0,122	0,061	0,031
		>15	0,016	0,008	0,004	0,085	0,042	0,021
2,0	10000	<3	0 111	0, 055	0,028	0,571	0,285	0,143
		5-7	0,077	0,038	0,019	0,396	0,198	0,099
		9-11	0, 043	0, 022	0,011	0,223	0,111	0,056
		> 15	0,028	0,014	0,007	0,143	0,071	0,036

Таблица 4

Значение a_i , b_i и μ_i , для вращающихся створок (переплеты из гнутых профилей тонколистовой стали и стальных профилей)

Типовая серия	Габаритные размеры, м		Масса, μ_i , кг
	a_i	b_i	
1.436.3-16/88	1165	1110	25,2
	965	1110	21,9
	1165	1710	35,6
	965	1710	31,0
	1165	2310	49,7
	965	2310	43,3
1/436/3-21	1126	1655	20
	1126	1055	16
	1126	1655	16
	1126	1055	13
	706	1655	13
	706	1055	11
	526	1655	13
	526	1055	10

Таблица 5

Номенклатура дверей по сериям 1.436.2 - 18; 1.436.3 -19; 2.435.6

Марка дверей	Тип двери	Размерыдвери, см.		Масса, кг
		a_i	b_i	
Серия 1.436.2-18				
2ДСУ2х2,1	Двупольная	90	100	62,5

2 ДСУ 2 х 2,4	Двупольная	90	120	77,3
Серия 1.436.3-19				
ДН9-21 Г	Однопольная	90	210	57,6
ДН9-21ГЛ	Однопольная	90	210	57,6
ДН 9 - 24 Г	Однопольная	90	240	64,3
ДН19-21-2Г	Двупольная	190	210	114
Серия 2.435.6				
ПД1;ПДИ1	Однопольная	90	240	212
ПД2;ПДИ2	Однопольная	90	200	193
ПД 3; ПДИ 3	Однопольная	120	240	245
ПД 4; ПДИ 4	Двупольная	75	240	150
ПД 5; ПДИ 5	Двупольная	80	200	140
ПД 6; ПДИ 6	Двупольная	90	240	172

Смещающиеся ПК

При устройстве смещающихся ПК необходимо обеспечивать надежное и независимое их вскрытие при достижении избыточным давлением в помещении величины $\Delta P_{вскр}$, минимальное значение которой определяется с помощью выражений:

а) Для ПК в виде стеновых панелей

$$\Delta P_{вскр} = 2 \text{ кПа}$$

$$\Delta P_{вскр} = -3,5 \omega_{р.в} (-) \quad (13)$$

б) для ПК в виде облегченных плит, устанавливаемых в покрытии помещения

$$\Delta P_{вскр} = 1,5 \text{ кПа}$$

$$\Delta P_{вскр} = q_{с.в.} + q_{д.н.} + \xi_{оч} \cdot q_{р.с.} \quad (14)$$

где $\omega_{р.в}(-)$ - расчетная ветровая нагрузка, определяемая так же, как и при расчете вращающихся ПК; $q_{с.в.}$ - нагрузка от собственного веса покрытия, приходящаяся на квадратную единицу площади ПК; $q_{д.н.}$ - дополнительная нагрузка (в расчете на единицу площади ПК), которую нужно приложить к ПК изнутри помещения (сверх $q_{с.в.}$ при $q = 0$) для того, чтобы вызвать отделение ПК от остальной части покрытия; $\xi_{оч}$ - коэффициент, учитывающий степень очистки покрытия помещения от снега $\xi_{оч} = 0$, при регулярной очистке покрытия от снега; $\xi_{оч} = 0,5$ при нерегулярной очистке покрытия от снега; $\xi_{оч} = 1$, если очистка покрытия от снега не производится); $q_{р.с.}$ - расчетная снеговая нагрузка для покрытия помещения.

Величина $q_{д.н.}$ определяется расчетом, исходя из принятой конструкции покрытия и осуществляемого крепления к нему ПК. При этом должны соблюдаться неравенства:

$$\text{при } 2,5 \omega_{p.b}(-) - q_{c.в} > 0$$

$$q_{д.н.} \geq 2,5 \omega_{p.b}(-) - q_{c.в} \quad (15)$$

$$\text{при } 2,5 \omega_{p.b}(-) - q_{c.в} \leq 0$$

$$q_{д.н.} \geq 0$$

В случае отсутствия необходимых данных (например, о влиянии сил трения, водоизоляционного ковра и некоторых других факторов на вскрытие ПК) для определения величины $q_{д.н.}$ может использоваться дополнительное неравенство:

$$q_{д.н.} \geq 0,5(q_{c.в.} - \xi_{оч} q_{p.сн}) \quad (16)$$

При этом, в качестве расчетного следует принимать наименьшее значение $q_{д.н.}$, удовлетворяющее условиям (15) и (16).

Из двух значений $\Delta P_{вскр}$, определяемых по формулам (13) и (14), в качестве расчетного принимается большее.

Определение $\psi_{нк.i}$, характеризующее эффективность вскрытия стеновых панелей, определяется по формуле

$$\psi_{нк.i} = \frac{60K_{\psi}(a_i + b_i)}{\mu_i \cdot a_i \cdot b_i}, \quad (17)$$

где a_i, b_i - размеры стеновой панели, м; μ_i - масса стеновой панели, приходящаяся на квадратную единицу ее площади, кг/м²; $\Delta P_{вскр}$ - коэффициент, значения которого в зависимости от скорости горения, $\Delta P_{вскр}$; $\Delta P_{доп}$, $V_{о.ном.}$, K_{ϕ} и θ определяется по данным табл. 6.

Если окажется, что вычисляемая по формуле (17) величина $\psi_{нк.i} > 1$, то нужно принять $\psi_{нк.i} = 1$.

Определение коэффициента $\gamma_{/нкi}$ для ПК, устанавливаемых в покрытии взрывоопасных помещений, производится по формуле

$$\psi_{нк.i} = \frac{60K_{\psi}(a_i + b_i)}{\mu_i \cdot a_i \cdot b_i} \left[1 - \frac{0,01\mu_i}{\Delta P_{вскр.i}} \right] \quad (18)$$

где a_i, b_i - размеры сторон карт, на которые продольными и поперечными швами разрезаются водоизоляционный ковер и теплоизоляция покрытия для того, чтобы обеспечить вскрытие ПК, м; μ_i - масса вскрываемого покрытия, приходящаяся на единицу площади ПК, кг/м²; $\Delta P_{вскр.i}$ - избыточное давление, при котором происходит вскрытие элементов покрытия, имеющих размеры a_i и b_i и удельную массу μ_i (определяется по формулам (14) при $\Delta P_{вскр} = \Delta P_{вскр.i}$),

кПа; K_{ψ} - коэффициент, значения которого определяются так же, как и в формуле (17).

Если окажется, что определяемая по формуле величина $\psi_{пк.i} > 1$, то нужно принять $\psi_{пк.i} = 1$. Значения a_i и b_i определяются принимаемыми размерами карт, а величина μ_i устанавливается, исходя из массы вскрываемой части покрытия здания (сооружения).

Таблица 6

Значения коэффициентов K_{ψ} для проемов, перекрываемых смещающимися П.К.

а) медленно горящие смеси

$\Delta P_{вскр}$, кПа	$V_{о.пом.}$, м ³	θ , %	$\Delta P_{доп}$, кПа					
			3,0			5,0		
			K_{ψ}			K_{ψ}		
			1	0,5	0,25	1	0,5	0,25
I	2	3	4	5	6	7	8	9
2	100	<3	5,848	2,924	1,462	30,197	15,099	7,549
		5-7	4,296	2,148	1,074	22,186	11,093	5,546
		9-11	3,289	1,645	0,822	16,986	8,493	4,247
		>15	2,105	1,053	0,526	10,871	5,436	2,718
	1000	<3	5,385	7,693	3,846	79,725	39,725	19,862
		5-7	12,156	6,078	3,039	62,775	31,388	15,694
		9-11	9,847	4,923	2,462	50,848	25,424	12,712
		>15	6,838	3,419	1,709	35,311	17,656	8,828
	10000	<3	46,056	23,028	11,514	237,833	118,917	59,458
		5-7	31,983	15,992	7,996	165,162	82,581	41,290
		9-11	17,991	8,995	4,498	92,904	46,452	23,226
		>15	11,514	5,757	2,879	59,458	29,729	14,865
	100000	<3	149,598	74,799	37,400	772,521	386,260	193,130
		5-7	53,855	26,928	13,464	278,108	139,054	69,527
		9-11	23,936	11,968	5,984	123,603	61,802	30,901

		>15	13,464	6,732	3,366	69,527	34,763	17,382
3	100	<3	0,000	0,000	0,000	10,192	5,096	2,548
		5-7	0,000	0,000	0,000	7,488	3,744	1,872
		9-11	0,000	0,000	0,000	5,733	2,866	1,433
		>15	0,000	0,000	0,000	3,669	1,834	0,917
	1000	<3	0,000	0,000	0,000	26,814	13,407	6,704
		5-7	0,000	0,000	0,000	21,187	10,593	5,297
		9-11	0,000	0,000	0,000	17,161	8,581	4,290
		>15	0,000	0,000	0,000	11,917	5,959	2,979
	10000	<3	0,000	0,000	0,000	80,269	40,134	20,067
		5-7	0,000	0,000	0,000	55,742	27,871	13,936
		9-11	0,000	0,000	0,000	31,355	15,677	7,839
		>15	0,000	0,000	0,000	20,067	10,034	5,017
	100000	<3	0,000	0,000	0,000	260,726	130,363	65,465
		5-7	0,000	0,000	0,000	93,861	46,931	23,465
		9-11	0,000	0,000	0,000	41,716	20,858	10,429
		>15	0,000	0,000	0,000	23,465	11,733	5,866
2	10000	<3	0,000	0,000	0,000	80,269	40,134	20,067
		5-7	0,000	0,000	0,000	55,742	27,871	13,936
		9-11	0,000	0,000	0,000	31,355	15,677	7,839
		>15	0,000	0,000	0,000	20,067	10,034	5,017
	100000		0,000	0,000	0,000	260,726	130,363	65,181
			0,000	0,000	0,000	93,861	46,931	23,465
			0,000	0,000	0,000	41,716	20,858	10,429
			0,000	0,000	0,000	23,465	11,733	5,866

б) небыстро горящие смеси

		<3	0,398	0,199	0,099	2,053	1,027	0,513
--	--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

		5-7	0,292	0,146	0,073	1,509	0,754	0,377
		9-11	0,224	0,112	0,056	1,155	0,578	0,289
		> 15	0,143	0,072	0,036	0,739	0,370	0,185
	1000			0,523	0,262	5,403	2,701	1,351
		5-7	0,827	0,413	0,207	4,269	2,134	1,067
		9-11	0,670	0,335	0,167	3,458	1,729	0,846
		>15	0,465	0,232	0,116	2,401	1,201	0,600
	10000	<3	3,132	1,566	0,783	16,173	8,086	4,043
		5-7	2,175	1,087	0,544	11,231	5,616	2,808
		9-11	1,223	0,612	0,306	6,317	3,159	1,579
		>15	0,783	0,391	0,196	4,043	2,022	1,011
	100000	<3	0,173	5,086	2,543	52,531	26,266	13,133
		5-7	3,662	1,831	0,916	18,911	9,456	4,728
		9-11	1,629	0,814	0,407	8,405	4,203	2,101
		> 15	0,916	0,458	0,229	4,728	2,346	1,182
	3	100	<3	0,000	0,000	0,000	0,693	0,347
			5-7	0,000	0,000	0,000	0,509	0,255
			9-11	0,000	0,000	0,000	0,390	0,195
			>15	0,000	0,000	0,000	0,249	0,127
	3	1000	<3	0,000	0,000	0,000	1,823	0,912
			5-7	0,000	0,000	0,000	1,441	0,720
			9-11	0,000	0,000	0,000	1,167	0,583
			> 15	0,000	0,000	0,000	0,810	0,405
		10000	<3	0,000	0,000	0,000	5,458	2,729
			5-7	0,000	0,000	0,000	3,790	1,895
			9-11	0,000	0,000	0,000	2,132	1,066
			>15	0,000	0,000	0,000	1,365	0,682
		100000	<3	0,000	0,000	0,000	17,729	8,865

		5-7	0,000	0,000	0,000	6,383	3,191	1,596
		9-11	0,000	0,000	0,000	2,837	1,418	0,709
		>15	0,000	0,000	0,000	1,596	0,798	0,399

в) быстро горящие смеси

2	100	<3	0,009	0,005	0,002	0,048	0,024	0,012
		5-7	0,007	0,003	0,002	0,035	0,018	0,009
		9-11	0,005	0,003	0,001	0,027	0,014	0,007
		> 15	0,003	0,002	0,001	0,017	0,009	0,004
	1000	<3	0,025	0,012	0,006	0,127	0,064	0,032
		5-7	0,019	0,010	0,005	0,100	0,050	0,025
		9-11	0,016	0,008	0,004	0,081	0,041	0,020
		> 15	0,011	0,005	0,003	0,056	0,028	0,014
	10000	<3	0,074	0,037	0,018	0,381	0,190	0,095
		5-7	0,051	0,026	0,013	0,264	0,132	0,066
		9-11	0,029	0,014	0,007	0,149	0,074	0,037
		>15	0,018	0,009	0,005	0,095	0,048	0,124
	10000 0	<3	0,239	0,120	0,060	1,236	0,618	0,309
		5-7	0,086	0,0433	0,022	0,445	0,222	0,111
		9-11	0,038	0,019	0,010	0,198	0,099	0,049
		> 15	0,022	0,011	0,005	0,111	0,056	0,028
3	100	<3	0,000	0,000	0,000	0,016	0,008	0,004
		5-7	0,000	0,000	0,000	0,012	0,006	0,003
		9-11	0,000	0,000	0,000	0,009	0,005	0,002
		>15	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,001
	1000	<3	0,000	0,000	0,000	0,043	0,021	0,011
		5-7	0,000	0,000	0,000	0,034	0,017	0,008
		9-11	0,000	0,000	0,000	0,027	0,014	0,007
		>15	0,000	0,000	0,000	0,019	0,010	0,005
	10000	<3	0,000	0,000	0,000	0,128	0,064	0,032
		5-7	0,000	0,000	0,000	0,089	0,045	0,022
		9-11	0,000	0,000	0,000	0,050	0,025	0,013
		> 15	0,000	0,000	0,000	0,032	0,016	0,008
	10000 0	<3	0,000	0,000	0,000	0,417	0,209	0,104
		5-7	0,000	0,000	0,000	0,150	0,075	0,038
		9-11	0,000	0,000	0,000	0,067	0,033	0,017
		> 15	0,000	0,000	0,000	0,038	0,019	0,009

Пример расчета

1. Помещение компрессорной, в наружном ограждении которого предусматривается устройство ПК, размещается в одноэтажном сборном железобетонном сооружении. Размеры помещения по длине, ширине и высоте составляют соответственно: $a_n = 42$ м, $b_n = 18$ м и $h_n = 13,2$ м. Объем помещения без учета располагаемых в нем оборудования и элементов строительных конструкций, $V_{o.пом}$ - 10000 м³. Степень загромождения помещения оборудованием и элементами строительных конструкций $\theta = 10\%$.

При этом 40% оборудования и элементов строительных конструкций, находящихся на пути распространения пламени в помещении, являются малогабаритными и 60% - крупногабаритными преградами, (рис.3).

При указанных исходных данных:

Свободный объем помещения согласно (5)

$$V_{ном} = 1000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) = 9000 \text{ м}^3;$$

Площадь стен помещения $S_{см} = 1585 \text{ м}^2$;

Площадь покрытия помещения $S = 755 \text{ м}^2$.

Допускаемое избыточное давление в помещении принимается $\Delta P_{дон} = 3 \text{ кПа}$.

Строительство сооружения предусматривается в третьем снеговом и ветровом районе РФ. Тип местности А. В аварийной ситуации в помещении может образоваться пропиленовоздушная ГС.

2. Требуемая площадь открытых проемов в наружном ограждении помещения определяется по формуле (3). Для вычисления $S_{откр}$ по этой формуле предварительно устанавливаем:

а) значение коэффициента $K_{зс}$, характеризующего тип ГС, который для пропиленовоздушной смеси (не быстрогорящей ГС) составляет, $K_{зс} = 2$;

б) по данным таблицы 1 показатель интенсификации горения $\alpha = 10,8$;

в) по формуле (6) коэффициент $K_{\phi} = 0,537$.

После этого, имея в виду, что $V_{ном} = 9000 \text{ м}^3$ и $\Delta P_{дон} = 3 \text{ кПа}$. по формуле (3) получим:

Для варианта 1 ($\Delta P_{дон} = 3 \text{ кПа}$) с

$$S = \frac{0,2 \cdot 10,8 \cdot 0,537 \cdot 9000^{2/3}}{3^{1/2}} = 290 \text{ м}^2$$

Для варианта 2 ($\Delta P_{дон} = 5 \text{ кПа}$)

$$S = \frac{0,2 \cdot 10,8 \cdot 0,537 \cdot 9000^{2/3}}{5^{1/2}} = 225 \text{ м}^2$$

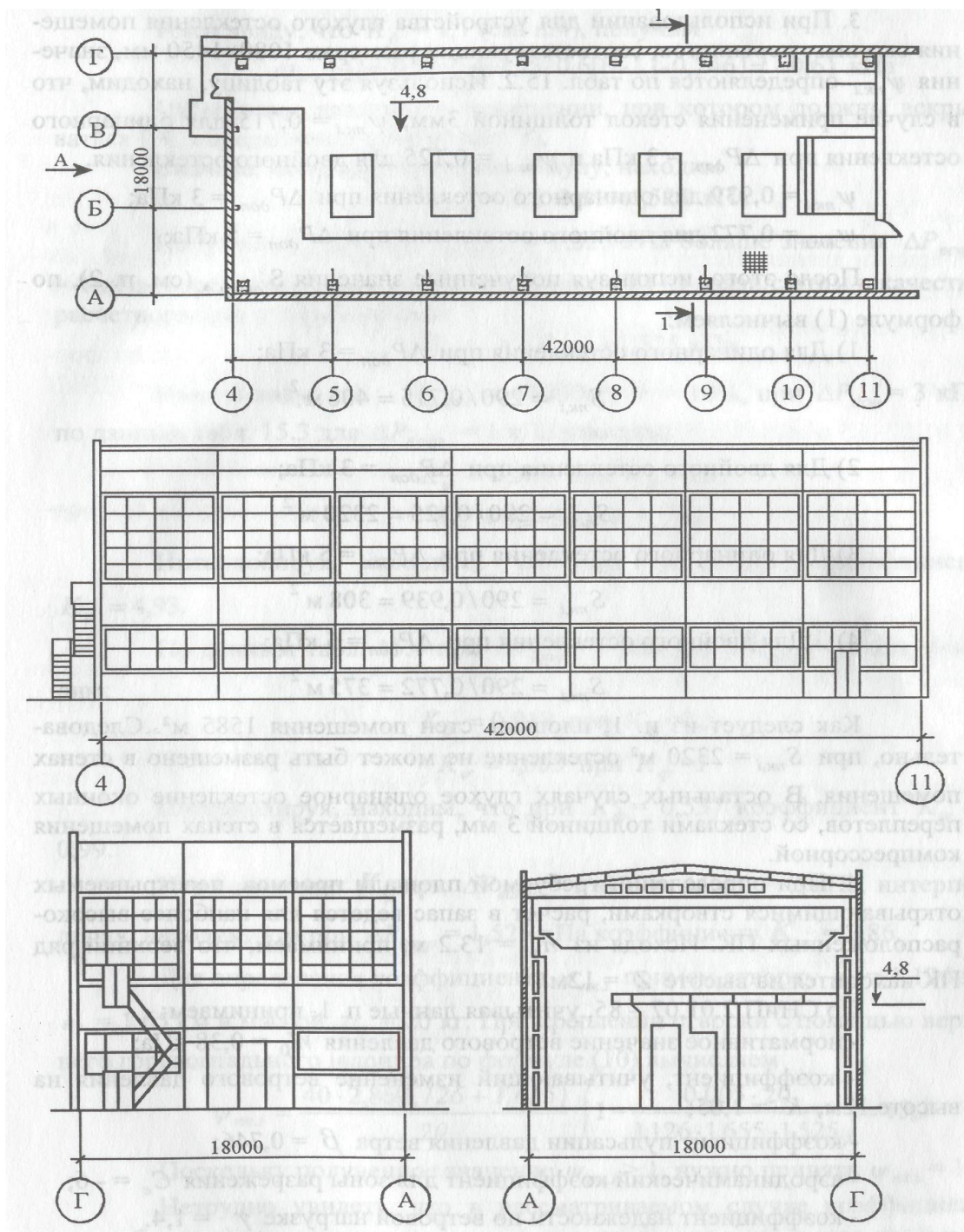


Рис. 3. План здания в - вид здания компрессорного отделения: а - главный фасад; б - здания по стрелке А; г - поперечное сечение здания 1-1

3. При использовании для устройства глухого остекления помещения оконных переплетов, соответствующих размерам 1080^x 1450 мм, значения $\psi_{нк.і}$ определяются по табл.2. Используя эту таблицу, находим, что в случае применения стекол толщиной 3мм, $\psi_{нк.і} = 0,715$ для одинарного остекления при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа и $\psi_{нк.і} = 0,125$ для двойного остекления.

$\psi_{нк.і} = 0,939$ для одинарного остекления при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа;

$\psi_{нк.і} = 0,772$ для двойного остекления при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа;

После этого, используя полученные значения $S_{откр}$, (см. п. 2), по формуле (1) вычисляем:

1) Для одинарного остекления при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа;

$$S_{nki} = 290 / 0,715 = 406 \text{ м}^2$$

2) Для двойного остекления при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа;

$$S_{nki} = 290 / 0,125 = 2320 \text{ м}^2$$

3) Для одинарного остекления при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа;

$$S_{nki} = 290 / 0,939 = 308 \text{ м}^2$$

4) Для двойного остекления при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа;

$$S_{nki} = 290 / 0,772 = 375 \text{ м}^2$$

Как следует из п.1, площадь стен помещения 1585 м^2 . Следовательно, при $S_{nki} = 2320 \text{ м}^2$ остекление не может быть размещено в стенах помещения. В остальных случаях глухое одинарное остекление оконных переплетов, со стеклами толщиной 3 мм, размещается в стенах помещения компрессорной.

4. При определении требуемой площади проемов, перекрывааемых открывающимися створками, расчет в запас ведется для наиболее высоко-расположенных ПК. Исходя из $h_n = 13,2$ м, принимаем, что верхний ряд ПК находится на высоте $Z = 12$ м.

По СНиП 2.01.07 - 85, учитывая данные п.1, принимаем:

- нормативное значение ветрового давления $W_0 = 0,38$ кПа;
 - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления на высоте 12 м, $K = 1,05$;

- коэффициент пульсации давления ветра $\beta = 0,746$;

- аэродинамический коэффициент для зоны разрежения $C_e = -6$;

- коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma_f = 1,4$.

Для определения $\omega_{р.в}(-)$ используется формула

$$\omega_{р.в}(-) = W_0 \cdot \gamma_f \cdot K \cdot C_e \cdot (1 + K_d \cdot \beta)$$

Имея ввиду, что $K_d = 1,1$ (см. п.4), получим

$$\omega_{р.в}(-) = 0,38 \cdot 1,4 \cdot 1,05 \cdot 0,6 \cdot (1 + 1,1 \cdot 0,746) = -0,61 \text{ кПа}$$

Избыточное давление в помещении, при котором должны вскрываться ПК, определяем по формулам (8).

Вначале, используя вторую формулу, находим

$$\Delta P_{вскр.i} = 2,5 - 0,61 = 1,525 \text{ кПа}$$

Полученное значение $\Delta P_{вскр} = 1,525$ кПа больше значения $\Delta P_{вскр} = 1$ кПа, определяемого по второй из формул (8). В связи с этим в качестве расчетного принимаем значение

$$\Delta P_{вскр.i} = \Delta P_{вскр} = 1,525 \text{ кПа.}$$

Имея в виду, что $V_{о.пом} = 10000 \text{ м}^3$, $\theta = 10\%$, при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа по данным табл. 3 для $\Delta P_{вскр} = 1$ кПа находим:

$$K_\psi = 4,588 \text{ при } K_\phi = 0,5;$$

$$K_\psi = 9,175 \text{ при } K_\phi = 1.$$

Интерполируя, находим, что при $K_\phi = 0,537$, коэффициент

$$K_\psi = 4,93.$$

По данным табл. 4 при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа для $\Delta P_{вскр} = 2$ кПа находим:

$K_{\psi} = 0,918$ при $K_{\phi} = 0,5$;

$K_{\psi} = 1,835$ при $K_{\phi} = 1$

Интерполируя, находим, что при $K_{\phi} = 0,537$ коэффициент $K_{\psi} = 0,99$.

Имея значение K_{ψ} при $\Delta P_{вскр} = 1$ кПа и $\Delta P_{вскр} = 2$ кПа, интерполируя, находим, что при $\Delta P_{вскр} = 1,525$ кПа коэффициент $K_{\psi} = 2,86$.

Для определения коэффициента ψ_{nki} примем створку $a_i = 1,126$ м, $b_i = 1,655$ м и массой $\mu_i = 20$ кг. При креплении створки с помощью верхнего горизонтального шарнира по формуле (10) вычисляем:

$$\psi_{nki} = \frac{40 \cdot 2,86(1,126 + 1,655)}{20} \left[1 - \frac{0,005 \cdot 20}{1,126 \cdot 1,655 \cdot 1,525} \right] = 15,3$$

Поскольку полученное значение $\psi_{nki} > 1$, нужно принять $\psi_{nki} = 1$. Нетрудно увидеть, что в рассматриваемом случае коэффициент ψ_{nki} будет равен единице не только для одинарного, но и для двойного остекления при любом расположении шарнира.

Используя полученное значение $S_{откр}$ по формуле (1) вычисляем

- при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа

$$S_{nki} = 290/1 = 290 \text{ м}^2$$

- при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа

$$S_{nki} = 225/1 = 225 \text{ м}^2$$

5. Смещающиеся ПК выполнены в виде облегченных плит в покрытии здания. Нагрузка от собственного веса покрытия, приходящаяся на единицу площади ПК, составляет $q_{с.в} = 0,7$ кПа. Водоизоляционный ковер и теплоизоляция покрытия разрезаются на карты размером 7,5х6м.

Определение расчетной ветровой нагрузки производится по формуле (19) при $z = 15$ м. Определяя значения W_0, γ_f, K, C_e и $\xi_{0,2}$ по СНиП 2.01.07- 85 и имея в виду, что $K_{до} = 1,1$, получим

$$q_{p.в.} (-) = 0,38 \cdot 1,4 \cdot 1,125 \cdot 0,7(1 + 1,1 \cdot 0,725) = -0,753 \text{ кПа}$$

Определение расчетной снеговой нагрузки производится по формуле

$$q_{p.сн} = p_0 \cdot \xi \cdot \gamma_f$$

Принимаемое по СНиП 2.01.07 - 85 значение $p_0 = 1$ кПа, $\xi = 1$

(для пологих скатов покрытия) и $\gamma_f = 1,4$, получим

$$q_{p.сн} = 1 \cdot 1 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ кПа}$$

Избыточное давление в помещении, при котором должны вскрываться ПК, определяем по формулам (14), (15) и (16).

Вначале по формуле (15), имея в виду, что $-2,5q_{p.в.} (-) - q_{се} > 0$, устанавливаем

$$q_{д.н} > 2,5 \cdot 0,753 - 0,7 = 1,18 \text{ кПа}$$

По формуле (16) находим:

- при $\xi_{оч} = 1$; $q_{д.н} \geq 0,5(0,7 + 1 \cdot 1,4) = 1,05 \text{ кПа}$

- при $\xi_{оч} = 0,5$; $q_{д.н} \geq 0,5(0,7 + 0,5 \cdot 1,4) = 0,7 \text{ кПа}$

- при $\xi_{оч} = 0$; $q_{д.н} \geq 0,5(0,7 + 0 \cdot 1,4) = 0,35$ кПа

Используя полученные данные, по второй из формул (14) определяем:

- при $\xi_{оч} = 1$; $\Delta P_{вскр} = 0,7 + 1,18 + 1 - 1,4 = 3,28$ кПа.

- при $\xi_{оч} = 0,5$; $\Delta P_{вскр} = 0,7 + 1,18 + 0,5 - 1,4 = 2,58$ кПа

- при $\xi_{оч} = 0$; $\Delta P_{вскр} = 0,7 + 1,18 + 0 - 1,4 = 1,88$ кПа

Все полученные значения $\Delta P_{вскр}$ больше значения $\Delta P_{вскр} = 1,5$ кПа, определяемого первой из формул (14).

В связи с этим для определения коэффициентов K_{ψ} нужно принимать значения $\Delta P_{вскр} = 1,88$ кПа ($\xi_{оч} = 0$), $\Delta P_{вскр} = 2,58$ кПа ($\xi_{оч} = 0,5$), $\Delta P_{вскр} = 3,28$ кПа ($\xi_{оч} = 1$).

При $\Delta P_{вскр} = 2$ кПа, $\Delta P_{дон} = 3$ кПа, $K_{\psi} = 0,537$, $V_{о.птм} = 10000 \text{ м}^3$ и $\theta = 10\%$ по табл. 6 находим $K_{\psi} = 0,637$. При $\Delta P_{вскр} = 3$ кПа и $\Delta P_{дон} = 3$ кПа, как следует из табл. 6, $K_{\psi} = 0$.

Используя эти данные, получим:

$K_{\psi} = 0,713$ для $\Delta P_{вскр} = 1,88$ кПа (путем экстраполяции);

$K_{\psi} = 0,267$ для $\Delta P_{вскр} = 2,58$ кПа (путем экстраполяции);

$K_{\psi} = 0$ для $\Delta P_{вскр} = 3,28$ кПа (путем экстраполяции);

Подставляя в выражение (18) значение $a_i = 6$ м, $b_i = 7,5$ м и $\mu_i = 70 \text{ кг/м}^2$, а также соответствующие значения K_{ψ} и $\Delta P_{вскр}$, получим:

1) при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа и $\Delta P_{вскр i} = \Delta P_{вскр} = 1,88$ кПа

$$\psi_{nki} = \frac{60 \cdot 0,713(6 + 7,5)}{70 \cdot 6 \cdot 7,5} \left[1 - \frac{0,01 \cdot 70}{1,88} \right] = 0,115;$$

2) при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа и $\Delta P_{вскр i} = \Delta P_{вскр} = 2,58$ кПа

$$\psi_{nki} = \frac{60 \cdot 0,267(6 + 7,5)}{70 \cdot 6 \cdot 7,5} \left[1 - \frac{0,01 \cdot 70}{2,58} \right] = 0,105;$$

3) при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа и $\Delta P_{вскр i} = \Delta P_{вскр} = 3,28$ кПа

$$\psi_{nki} = \frac{60 \cdot 0(6 + 7,5)}{70 \cdot 6 \cdot 7,5} \left[1 - \frac{0,01 \cdot 70}{3,28} \right] = 0;$$

4) при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа и $\Delta P_{вскр i} = \Delta P_{вскр} = 1,88$ кПа

$$\psi_{nki} = \frac{60 \cdot 3,66(6 + 7,5)}{70 \cdot 6 \cdot 7,5} \left[1 - \frac{0,01 \cdot 70}{1,88} \right] = 0,591;$$

5) при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа и $\Delta P_{вскр i} = \Delta P_{вскр} = 2,58$ кПа

$$\psi_{nki} = \frac{60 \cdot 2,09(6 + 7,5)}{70 \cdot 6 \cdot 7,5} \left[1 - \frac{0,01 \cdot 70}{2,58} \right] = 0,392;$$

6) при $\Delta P_{дон} = 5$ кПа и $\Delta P_{вскр i} = \Delta P_{вскр} = 3,28$ кПа

$$\psi_{nki} = \frac{60 \cdot 0,98(6 + 7,5)}{70 \cdot 6 \cdot 7,5} \left[1 - \frac{0,01 \cdot 70}{3,28} \right] = 0,198;$$

После этого, используя полученные значения $S_{откр}$, по формуле (1) вычисляем:

1) при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа и $\xi_{оч} = 0$

$$S_{nki} = 290/0,115 = 2522 \text{ м}^2$$

2) при $\Delta P_{дон} = 3$ кПа и $\xi_{оч} = 0,5$

$$S_{nki} = 290 / 0,05 = 5800 \text{ м}^2$$

3) при $\Delta P_{don} = 3 \text{ кПа}$ и $\xi_{оч} = 1$

$$S_{nki} = 290 / 0 = \infty$$

4) при $\Delta P_{don} = 5 \text{ кПа}$ и $\xi_{оч} = 0$

$$S_{nki} = 225 / 0,591 = 380 \text{ м}^2$$

5) при $\Delta P_{don} = 5 \text{ кПа}$ и $\xi_{оч} = 0,5$

$$S_{nki} = 225 / 0,392 = 574 \text{ м}^2$$

6) при $\Delta P_{don} = 5 \text{ кПа}$ и $\xi_{оч} = 1$

$$S_{nki} = 225 / 0,198 = 1136 \text{ м}^2$$

Как следует из п. 1, площадь покрытия помещения $S_{покp} = 755 \text{ м}^2$.

Следовательно, для снижения избыточного давления в помещении до $\Delta P_{don} = 3 \text{ кПа}$ необходимо дополнительно устраивать ПК в стенах помещения. При $\Delta P_{don} = 5 \text{ кПа}$ в случае очистки покрытия помещения от снега (регулярной и нерегулярной) требуемая площадь проемов, перекрываемых облегченными плитами, может быть размещена в покрытии.

6. В наружном ограждении помещения компрессорной установлены две двупольные двери марки ПД 6 и ворота марки ВР36*36-С.В покрытии помещения имеется 300 м^2 проемов, перекрываемых облегченными плитами.

Согласно таблице 5 принимаются следующие характеристики створок двупольных дверей: $a_i = 0,9 \text{ м}$, $b_i = 2,4 \text{ м}$ и $\mu_i = 172 \text{ кг}$.

Поскольку для открывающихся створок оконных переплетов при $Z = 12 \text{ м}$ величины $\Delta P_{вскp} = 1,525 \text{ кПа}$ (см. п. 4), для дверей и ворот, расположенных в нижней части стены, с некоторым запасом может быть принято $\Delta P_{вскp} = 1,5 \text{ кПа}$.

Используя данные п. 4 при $\Delta P_{don} = 3 \text{ кПа}$ и $\Delta P_{вскp} = 1,5 \text{ кПа}$, устанавливаем

$$K_{\psi} = \frac{4,93 + 0,99}{2} = 2,96$$

После этого по формуле (9) вычисляем

$$\psi_{nki} = \psi_{нк} = \frac{40 \cdot 2,96(0,9 + 2,4)}{172} = 2,27$$

Следовательно, как при $\Delta P_{don} = 3 \text{ кПа}$, так и при $\Delta P_{don} = 5 \text{ кПа}$ нужно принимать $\psi_{nki} = \psi_{нк} = 1$

Характеристики створок двупольных ворот принимаются следующие: $a_i = 1,8 \text{ м}$, $b_i = 3,6 \text{ м}$ и $\mu_i = 413 \text{ кг}$. При $\Delta P_{don} = 3 \text{ кПа}$ по формуле (9) вычисляем

$$\psi_{nki} = \psi_{нк} = \frac{40 \cdot 2,96(1,8 + 3,6)}{413} = 1,55$$

Следовательно, как при $\Delta P_{don} = 3 \text{ кПа}$, так и при $\Delta P_{don} = 5 \text{ кПа}$ нужно принимать $\psi_{nki} = \psi_{нк} = 1$

Для облегченных плит, устанавливаемых в покрытии помещения при регулярной очистке от снега, имеем:

$$\psi_{nki} = \psi_{нкз} = 0,115 \text{ при } \Delta P_{don} = 3 \text{ кПа};$$

$$\psi_{nki} = \psi_{нкз} = 0,591 \text{ при } \Delta P_{don} = 5 \text{ кПа};$$

Согласно п. 3 при использовании для глухого остекления стекол толщиной 3 мм , имеем:

$\psi_{nki} = \psi_{nk4} = 0,639$ для одинарного остекления $\Delta P_{don} = 3$ кПа;

$\psi_{nki} = \psi_{nk4} = 0,173$ для двойного остекления $\Delta P_{don} = 3$ кПа;

$\psi_{nki} = \psi_{nk4} = 0,912$ для одинарного остекления $\Delta P_{don} = 5$ кПа;

$\psi_{nki} = \psi_{nk4} = 0,664$ для двойного остекления $\Delta P_{don} = 5$ кПа.

Расчетная площадь вскрывающихся проемов может быть принята

$$S_{nki} = S_{nkl} = 2 \cdot 0,9 \cdot 2,4 = 4,32 \text{ м}^2$$

для дверей и для ворот.

$$S_{nki} = S_{nkl} = 1,8 \cdot 3,6 = 6,48 \text{ м}^2$$

Площадь проемов в покрытии помещения $S_{nki} = S_{nk3} = 300 \text{ м}^2$

Для определения требуемой площади застекленных проемов в стенах помещения ($S_{nki} = S_{nk4i}$) воспользуемся выражением (2).

Из этого выражения следует

$$S_{nk4} = \frac{S_{откр} - S_{nk1} \cdot \psi_{nk1} - S_{nk2} \cdot \psi_{nk2} - S_{nk3} \cdot \psi_{nk3}}{\psi_{nk4}}$$

При $\Delta P_{don} = 3$ кПа получим

$$S_{nk4} = \frac{290 - 4,32 \cdot 1 - 6,48 \cdot 1 - 300 \cdot 0,115}{\psi_{nk4}} = \frac{244,7}{\psi_{nk4}}$$

При $\Delta P_{don} = 5$ кПа получим

$$S_{nk4} = \frac{225 - 4,32 \cdot 1 - 6,48 \cdot 1 - 300 \cdot 0,591}{\psi_{nk4}} = \frac{36,9}{\psi_{nk4}}$$

Используя две последние формулы, определяем:

$S_{nk4} = 244,7 / 0,639 = 383 \text{ м}^2$ в случае устройства одинарного остекления при $\Delta P_{don} = 3$ кПа;

$S_{nk4} = 244,7 / 0,173 = 1414,5 \text{ м}^2$ в случае устройства двойного остекления при $\Delta P_{don} = 3$ кПа;

$S_{nk4} = 36,9 / 0,912 = 40 \text{ м}^2$ в случае устройства одинарного остекления при $\Delta P_{don} = 5$ кПа;

$S_{nk4} = 36,9 / 0,664 = 56 \text{ м}^2$ в случае устройства двойного остекления при $\Delta P_{don} = 5$ кПа;

Необходимо иметь в виду, что использование дверей и ворот в качестве ПК следует предусматривать только в тех случаях, когда гарантируется их вскрытие при избыточном давлении, не превышающим расчетную величину ΔP_{don} . При использовании в качестве ПК облегченных плит в покрытии помещения необходимо обеспечить не только надежное их вскрытие при принятой величине $\Delta P_{вскр}$, но и образование между вскрывающимися картами отверстий, необходимых для истечения газа из помещения при взрывном горении ГС. Если образование таких отверстий не гарантируется, то всю вскрывающуюся часть покрытия следует рассматривать как одну карту, что резко снижает величину коэффициента ψ_{nki} . В связи с изложенным, там, где это возможно, преимущественно в качестве ПК следует использовать стекла окон помещений

Учебное издание

Тимофеева Светлана Семеновна

Цветкун Наталия Владимировна

**Расчет и проектирование систем обеспечения
безопасности**

Практические работы