

ГЛАВА 1. НОРМАТИВНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Тема 1.1. Методы оценки технического состояния здания

Практическое занятие №1. Определение категории технического состояния конструкции

Методические указания к решению задачи

Оценка технического состояния конструкций – это установление соответствия эксплуатационных характеристик конструкций, находящихся в эксплуатации, нормативным или проектным значениям. Категория технического состояния определяется в зависимости от степени отклонения эксплуатационных характеристик от проектных или нормативных значений с учетом повреждений и дефектов, которые они получили в процессе эксплуатации. Основная задача определения категории технического состояния – установить, гарантирована ли нормальная и безопасная эксплуатация конструкций, и что необходимо сделать для ее восстановления.

В нормативных документах установлены следующие категории технического состояния:

Исправное состояние (I) – категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующаяся отсутствием дефектов и повреждений, влияющих на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности.

Работоспособное состояние (II) – категория технического состояния, при которой некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, например, по деформативности, а в железобетоне и по трещиностойкости, в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к

нарушению работоспособности, и несущая способность конструкций, с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, обеспечивается.

Ограниченно работоспособное состояние (III) – категория технического состояния конструкций, при которой имеются дефекты и повреждения, приведшие к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения и функционирование конструкции возможно при контроле ее состояния, продолжительности и условий эксплуатации.

Недопустимое состояние (IV) – категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующаяся снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей и сохранности оборудования (необходимо проведение страховочных мероприятий и усиление конструкций).

Аварийное состояние (V) – категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения (необходимо проведение срочных противоаварийных мероприятий).

Одним из методов определения категории технического состояния конструкции является оценка физического износа конструкции по ВСН 53-86(р). Сначала в ходе визуального обследования фиксируют повреждения. Затем по таблицам ВСН определяют величину износа на отдельных участках, имеющих однотипные повреждения. В заключение определяют износ конструкции в целом по зданию:

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_k}, \quad (1)$$

где Φ_k – физический износ конструкции, элемента или системы, %; Φ_i – физический износ участка конструкции, элемента или системы; P_i – размеры

(площадь или длина) поврежденного участка, m^2 или m ; P_k – размеры всей конструкции, m^2 или m ; n – число поврежденных участков.

После определения величины физического износа устанавливают категорию технического состояния по зависимости табл. 1.

Таблица 1

Взаимосвязь категории технического состояния конструкции и величины ее физического износа

Физический износ, %	Категория технического состояния
До 10	I - исправное
10-30	II - работоспособное
31-50	III - ограниченно работоспособное
51-70	IV - недопустимое
Более 70	V - аварийное

Условие задачи

Определить физический износ и техническое состояние многопустотной плиты перекрытия размером $6 \times 1,5$ м, если при визуальном обследовании установлены признаки износа на площади $2,7 m^2$, проявляющиеся в виде поперечных трещин в плитах без оголения арматуры шириной до 2 мм, прогибом до $1/100$ пролета.

Варианты ответов

(!) 15%, II категория

(?) 25%, II категория

(?) 35%, III категория

(?) 45%, III категория

(?) 55%, IV категория

Указание или анализ (подсказка)

Расчет физического износа производится согласно таблице 30 ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий».

Полное решение задачи

По таблице 30 ВСН 53-86(р) определяем, что указанным видам повреждений соответствует износ в 50%.

Определяем общую площадь конструкции: $6 \times 1,5 = 9 \text{ м}^2$.

Определяем физический износ конструкции:

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_k} = 50 \frac{2,7}{9} = 15\%$$

По табл. 1 физический износ в 15% соответствует II категории технического состояния (работоспособное).

Ответ: 15%, II категория.

Задания для самостоятельного решения

Определить физический износ и техническое состояние кирпичной стены толщиной 510 мм.

Таблица 2

Варианты заданий

Вариант	$P_k, \text{ м}^2$	$P_i, \text{ м}^2$	Признаки износа
1	10	5	Отдельные трещины и выбоины шириной до 1 мм
2	15	5	Глубокие трещины шириной до 2 мм, отпадения штукатурки местами глубиной до 1/3 толщины стены
3	20	10	Трещины в карнизах и перемычках шириной более 2 мм
4	25	15	Ослабление кирпичной кладки стен, карниза, перемычек с выпадением отдельных кирпичей, высолы и следы увлажнения
5	30	20	Массовое отпадение штукатурки, глубина разрушения швов до 4 см
6	35	25	Сквозные трещины в перемычках и под оконными проемами
7	40	30	Выпучивание с прогибом более 1/200 длины деформируемого участка
8	55	15	Выветривание швов на глубину до 2 см
9	50	40	Отклонение стены от вертикали в пределах помещения более 1/200 высоты
10	65	35	Ослабление кирпичной кладки, выпадение отдельных кирпичей, увлажнение поверхности стен

Физический износ определяется по табл. 3.

Таблица 3

Физический износ кирпичных стен

Признаки износа	Количественная оценка	Физический износ, %
Отдельные трещины и выбоины	Ширина трещины до 1 мм	0-10
Глубокие трещины и отпадения штукатурки местами, выветривание швов	Ширина трещин до 2 мм, глубина до 1/3 толщины стены, разрушение швов на глубину до 1 см на площади до 10 %	11-20
Отслоение и отпадение штукатурки стен, карнизов и перемычек; выветривание швов; ослабление кирпичной кладки; выпадение отдельных кирпичей; трещины в карнизах и перемычках; увлажнение поверхности стен	Глубина разрушения швов до 2 см на площади до 30 %. Ширина трещины более 2 мм	21-30
Массовое отпадение штукатурки; выветривание швов; ослабление кирпичной кладки стен, карниза, перемычек с выпадением отдельных кирпичей; высолы и следы увлажнения	Глубина разрушения швов до 4 см на площади до 50 %	31-40
Сквозные трещины в перемычках и под оконными проемами, выпадение кирпичей, незначительное отклонение от вертикали и выпучивание стен	Отклонение стены от вертикали в пределах помещения более 1/200 высоты, прогиб стены до 1/200 длины деформируемого участка	41-50
Массовые прогрессирующие сквозные трещины, ослабление и частичное разрушение кладки, заметное искривление стен	Выпучивание с прогибом более 1/200 длины деформируемого участка	51-60
Разрушение кладки местами	—	61-70

Практическое занятие №2. Установление взаимосвязи между техническим состоянием конструкций и уровнем эксплуатационной безопасности здания

Методические указания к решению задачи

Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений заключается в последовательном определении степени повреждения, категории технического состояния и возможности их дальнейшей эксплуатации по прямому или измененному (при реконструкции) функциональному назначению.

Критерии оценки технического состояния строительных конструкций разделяют на две группы: критерии, характеризующие несущую способность, устойчивость и деформативность, и критерии, характеризующие эксплуатационную пригодность зданий. Они зависят от функционального назначения и конструктивной схемы здания, вида строительной конструкции и материала и т.д. Предельно допустимые значения критериев оценки технического состояния конструкций зданий устанавливаются нормативными документами.

Одним из методов оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений является сопоставление предельно допустимых (расчетных или нормативных) и фактических значений, характеризующих прочность, устойчивость, деформативность (по I и II группам предельных состояний).

За предельно допустимые значения критериев оценки технического состояния зданий принимают прочностные и физико-механические характеристики материалов и конструкций (из проектной документации), геометрические параметры зданий (по рабочим чертежам), эксплуатационные характеристики (по расчетам в проектной документации).

Фактические же значения критериев оценки технического состояния строительных конструкций принимаются по результатам визуальных и инструментальных обследований, лабораторных испытаний, поверочных расчетов.

Далее выполняется сравнение:

$$\Delta = \left| \frac{x_i - x_{\max/\min}}{x_{\max/\min}} \right|, \quad (2)$$

где x_i – фактическое значение критерия оценки технического состояния;
 $x_{\max/\min}$ – максимально или минимально допустимое предельное значение критерия оценки технического состояния, определяемое по нормативно-технической или проектной документации.

Для установления категории технического состояния необходимо определить значимость и распространенность повреждения, которая определяется по величине Δ в следующих интервалах:

Малозначительное повреждение – $\Delta \leq 10 \%$

Значительное повреждение – $10 \% < \Delta \leq 40 \%$

Критическое повреждение – $\Delta > 40 \%$

Единичные повреждения – занимающие до 10% площади, линейного размера или количества

Многочисленные повреждения – занимающие свыше 10%, но менее 40% площади, линейного размера или количества

Массовые повреждения – занимающие свыше 40% площади, линейного размера или количества.

Затем по сочетанию двух характеристик устанавливается категория технического состояния:

$$K = \frac{5K_V + 4K_{IV} + 3K_{III} + 2K_{II} + 1K_I}{K_V + K_{IV} + K_{III} + K_{II} + K_I}, \quad (3)$$

где K_i – категория технического состояния, определенная по табл. 4

Таблица 4

Определение категории технического состояния совокупности однотипных конструкций

Степень распространения повреждений	Категория тяжести повреждений		
	Критические	Значительные	Малозначительные
Массовые	V	IV, V	III
Многочисленные	V	IV	II, III
Единичные	IV, V	III	II

На заключительном этапе уровень эксплуатационной безопасности, т.е. пригодность конструкций к эксплуатации по алгоритму на рис. 1.



Рисунок 1. Алгоритм возможных действий после оценки категории технического состояния (КТС): ОТ - осмотры технические, ТО - техническое обслуживание, ТР - текущий ремонт, КР - капитальный ремонт

Условие задачи

Определить категорию технического состояния плит перекрытий пролетом 6 м, если определены следующие повреждения:

35 конструкций - повреждений не зафиксировано;

38 конструкций - прогибы до 1/400 пролета;

10 конструкции - прогибы до 1/175 пролета;

8 конструкций - прогибы до 1/130 пролета.

Варианты ответов

(!) III категория, эксплуатация возможна с ограничением, требуется текущий или капитальный ремонт

(?) II категория, эксплуатация нормальная, требуется капитальный ремонт

(?) III категория, эксплуатация нормальная, достаточно технических осмотров

(?) II категория, эксплуатация возможна с ограничением, требуется усиление конструкций

(?) IV категория, эксплуатация возможна с ограничением, требуется текущий или капитальный ремонт

Указание или анализ (подсказка)

Предельно допустимое значение прогиба определяем по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Степень распространения повреждения определяется как отношение конструкций с установленным видом повреждения к общему числу обследованных конструкций.

Категория технического состояния в табл. 4 определяется путем пересечения строки и столбца с соответствующей степенью и распространенностью повреждения.

При отсутствии повреждений устанавливается исправная категория технического состояния.

Полное решение задачи

Определяем— максимально допустимое предельное значение критерия оценки технического состояния - прогиба по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Для покрытий и перекрытий при длине пролета l до 6 м $x_{\max}=l/200$.

Тогда $x_{\max}=6/200=0,03$ м

$x_1=0$ м

$x_2=l/400=6/400=0,015$ м

$x_3=l/400=6/175=0,034$ м

$x_4=l/400=6/130=0,046$ м

По формуле (2) определяем значимость повреждения:

$x_{11}=0$ - повреждение отсутствует

$$x_{12}=5\%, \quad \Delta = \left| \frac{0,015-0,03}{0,03} \right| = 0,5$$

$\Delta \leq 10\%$ малозначительное повреждение

$$x_{13}=13\% \quad \Delta = \left| \frac{0,034-0,03}{0,03} \right| = 0,13$$

$10\% < \Delta \leq 40\%$ значительное повреждение

$$x_{14}=53\% \quad \Delta = \left| \frac{0,046-0,03}{0,03} \right| = 0,53$$

$\Delta > 40\%$ критическое повреждение

Определяем степень распространения повреждения:

Всего конструкций: $35+38+10+8=91$

$$x_{21} = \frac{35}{91} \cdot 100 = 38,6\%$$

$10\% < \Delta \leq 40\%$ многочисленные конструкции без повреждения

$$x_{22} = \frac{38}{91} \cdot 100 = 41,7\%$$

$\Delta > 40\%$ массовые повреждения

$$x_{23} = \frac{10}{91} \cdot 100 = 10,9\%$$

$10\% < \Delta \leq 40\%$ многочисленные повреждения

$$x_{24} = \frac{8}{91} \cdot 100 = 8,8\%$$

$\Delta \leq 10\%$ единичные повреждения

Определяем по табл. 4 категории технического состояния конструкций:

35 конструкций - повреждений не зафиксировано - I

38 конструкций - прогибы до $1/400$ пролета - III

10 конструкции - прогибы до $1/175$ пролета - IV

8 конструкций - прогибы до $1/130$ пролета - V

Определяем итоговую категорию для совокупности конструкций:

$$K = \frac{5 \cdot 8 + 4 \cdot 10 + 3 \cdot 38 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 35}{8 + 10 + 38 + 0 + 35} = 2,5$$

Принимаем с округлением III КТС. По рисунку 1 устанавливаем, что эксплуатация возможна с ограничением, требуется текущий или капитальный ремонт.

Задания для самостоятельного решения

Определить категорию технического состояния плит перекрытий пролетом 6 м, результаты обследования приведены в табл. 5.

Таблица 5

Варианты заданий

Вариант	Число элементов с зафиксированным повреждением: Прогибы от длины пролета				
	Повреждений нет	До $l/200$	До $l/175$	До $l/150$	До $l/100$

1	29	32	5	14	6
2	39	12	5	14	18
3	45	16	25	32	16
4	27	21	15	12	24
5	45	24	15	16	11
6	33	11	12	21	19
7	39	17	5	6	24
8	27	19	25	5	11
9	45	6	11	14	5
10	33	5	19	12	25

Практическое занятие №3. Установление взаимосвязи между техническим состоянием здания и уровнем его эксплуатационной безопасности

Методические указания к решению задачи

При проведении экспертизы безопасности любого здания (сооружения) (например, зданий котельных) основная задача - установить, можно ли данные сооружения безопасно эксплуатировать и в течение какого периода. Общая оценка поврежденности здания и сооружения может производиться по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (4)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ - средняя величина повреждений отдельных видов конструкций, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ - коэффициенты значимости отдельных видов конструкций (табл. 6).

Таблица 6

Коэффициенты значимости отдельных видов конструкций

Конструктивный элемент	Металлические конструкции	Железобетонные конструкции
Свайные фундаменты	8	8
Ленточные фундаменты	3	3
Балки	4	4
Фермы	8	6
Плиты перекрытий	2	2
Колонны	6	5

Конструктивный элемент	Металлические конструкции	Железобетонные конструкции
Несущие стены	2	3
Связи	2	-
Прогоны	3	-
Арочные конструкции	8	-
Плиты и панели перекрытий и покрытий	-	2
Прочие строительные конструкции	2	2

Коэффициенты значимости конструкций устанавливаются на основе экспертных оценок, учитывающих социально-экономические последствия разрушения отдельных видов конструкций, влияния возможного разрушения рассматриваемой конструкции на обрушение других конструкций, характера разрушения (разрушение с предварительным оповещением посредством развития пластических деформаций или мгновенное хрупкое разрушение).

Средняя величина повреждений отдельных видов конструкций устанавливается в зависимости от вида, материала конструкции и зафиксированных повреждений.

Таблица 7

Категории технического состояния по данным ЦИИПРОМЗДАНИЙ

Категория технического состояния здания или сооружения	Описание технического состояния	Средняя величина повреждений, %	Приближенная стоимость ремонта по восстановлению первоначального качества, %
I	Нормальное состояние. Отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. Необходимости в ремонтных работах нет.	0	0
II	Удовлетворительное состояние. Незначительное снижение несущей способности и долговечности конструкций. Требуется	0,05	0 - 11

	устройство антикоррозионного покрытия, затирка трещин и т.п.		
III	Не совсем удовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт.	0,15	12 - 36
IV	Неудовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкции. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок.	0,25	37 - 90
V	Аварийное состояние. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, замена аварийных конструкций.	0,35	91 - 120

Условие задачи

Определить техническое состояние железобетонной эстакады под трубопроводы (рис. 2), безопасность ее эксплуатации и приближенную стоимость восстановления до первоначальных эксплуатационных характеристик.

Эстакада выполнена из типовых железобетонных конструкций:

- пролетное строение пролетом 12 м,
- опоры с шагом 12 м,
- траверсы с шагом 4 м.

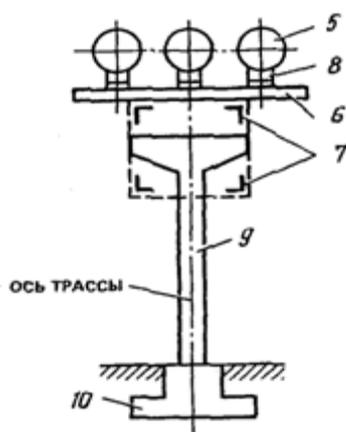


Рисунок 2. Конструктивное решение рассматриваемого сооружения: 1 - промежуточная опора; 2 - анкерная промежуточная опора; 3 - анкерная концевая опора; 4 - компенсатор; 5 - трубопровод; 6 - траверса; 7 - пролетное строение; 8 - опорная часть трубопровода; 9 - колонна; 10 - фундамент; 11 - вставки температурного блока; 12 - ось температурного разрыва

По данным визуального обследования 10 пролетов эстакады ее различные несущие конструкции имели следующие повреждения:

Траверсы: 9 элементов – деформации, перекосы и разрушение отдельных траверс; 22 элемента – продольные трещины вдоль арматуры раскрытием 3-5 мм.

Опоры: 8 элементов – ржавые потеки на бетонной поверхности, 3 элемента – трещины вдоль арматуры раскрытием до 1,5 мм.

Балки: 15 элементов - трещины в растянутой зоне до 0,5 мм; 5 элементов – снижение прочности бетона до 30 %.

Для оценки средней величины повреждений отдельных видов конструкций следует воспользоваться данными табл. 8.

Таблица 8

Оценка технического состояния железобетонных эстакад

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
II	Нет	Ржавые пятна, следы коррозии распределительной арматуры на бетонной поверхности. Образование видимых трещин вдоль хомутов и распределительной арматуры с

		малым защитным слоем из-за коррозии арматуры.
III	Образование трещин в балках в растянутой зоне до 0,5 мм.	Образование продольных трещин вдоль рабочей арматуры с раскрытием трещин 1 - 6 мм из-за коррозии арматуры.
IV	Ширина раскрытия нормальных трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов до 1 мм. Деформации, перекосы и разрушение отдельных траверс из-за перенапряжения. Осадка отдельных фундаментов более 0,002В, где В - расстояние между опорами, а крен превышает 0,002.	Отслоение защитного слоя железобетонных конструкций с уменьшением сечения арматуры до 15 %, из-за коррозии арматуры. Снижение прочности бетона до 30 %.
V	Ширина раскрытия трещин изгибаемых элементов более 1 мм. Раздробление бетона сжатой зоны. Разрыв арматуры в балках и колоннах опор. Разрушения траверс в пролете из-за перенапряжения. Выпучивание отдельных стержней сжатой зоны колонн, балок и ферм. Крен опор превышает 0,05.	Уменьшение сечения арматуры более 15 % сечения вследствие коррозии. Оголение всего диаметра арматуры конструкции. Снижений прочности бетона более 30 %.

Варианты ответов

(!) III категория технического состояния – не совсем удовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт. Приближенная стоимость ремонта может составить 12-36%.

(?) II категория технического состояния – удовлетворительное состояние. Незначительное снижение несущей способности и долговечности конструкций. Требуется текущий ремонт. Приближенная стоимость ремонта может составить 0-11%.

(?) IV категория технического состояния – неудовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к

эксплуатации конструкции. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок. Приближенная стоимость ремонта может составить 37-90%.

(?) I категория технического состояния – нормальное состояние. Отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. Необходимости в ремонтных работах нет.

(?) III категория технического состояния – неудовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкции. Требуется снос.

Указание или анализ (подсказка)

Средняя поврежденность определяется как среднеарифметическое значение.

Полное решение задачи

Определим категорию состояния по табл. 8 в зависимости от вида повреждения и среднюю величину повреждений по табл. 7.

Траверсы:

- деформации, перекосы и разрушение отдельных траверс: IV $\varepsilon_1=0,25$
- продольные трещины вдоль арматуры раскрытием 3-5 мм: III $\varepsilon_2=0,15$

Опоры:

- ржавые потеки на бетонной поверхности: II $\varepsilon_1=0,05$
- трещины вдоль арматуры раскрытием: III $\varepsilon_2=0,15$

Балки:

- трещины в растянутой зоне до 0,5 мм: III $\varepsilon_1=0,15$
- снижение прочности бетона до 30 %: IV $\varepsilon_2=0,25$

Определим средневзвешенные значения для однотипных конструкций.

$$\varepsilon_{\text{траверс}} = \frac{9 \cdot 0,25 + 22 \cdot 0,15}{9 + 22} = 0,179$$

$$\varepsilon_{\text{опор}} = \frac{8 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,15}{8 + 3} = 0,077$$

$$\varepsilon_{\text{балок}} = \frac{15 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25}{15 + 5} = 0,175$$

По табл. 6 определим значимость конструкций:

Траверсы: 2

Опоры: 5

Балки: 4

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 0,179 + 5 \cdot 0,077 + 4 \cdot 0,175}{2 + 5 + 4} = 0,131$$

По табл. 7 принимаем III категорию технического состояния – не совсем удовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт. Приближенная стоимость ремонта может составить 12-36%.

Задания для самостоятельного решения

Определить техническое состояние железобетонной эстакады под трубопроводы, безопасность ее эксплуатации и приближенную стоимость восстановления до первоначальных эксплуатационных характеристик. Эстакада выполнена из типовых железобетонных конструкций: пролетное строение пролетом 10 м, опоры с шагом 10 м, траверсы с шагом 2 м.

По данным визуального обследования 5 пролетов эстакады ее различные несущие конструкции имели следующие повреждения:

Траверсы:

тип повреждения 1 – деформации, перекосы и разрушение отдельных траверс из-за перенапряжения;

тип повреждения 2 – ржавые пятна, следы коррозии распределительной арматуры на бетонной поверхности.

Опоры:

тип повреждения 1 – образование видимых трещин вдоль хомутов и распределительной арматуры с малым защитным слоем из-за коррозии арматуры;

тип повреждения 2 – крен опор превышает 0,05.

Балки:

тип повреждения 1 – отслоение защитного слоя железобетонных конструкций с уменьшением сечения арматуры до 15 %, из-за коррозии арматуры;

тип повреждения 2 – образование трещин в балках в растянутой зоне до 0,5 мм.

Количество поврежденных элементов приведено в табл. 9.

Таблица 9

Варианты заданий

Вариант	Траверысы		Опоры		Балки	
	тип повреждения 1					
1	12	14	1	5	1	9
2	10	16	2	4	2	8
3	8	18	3	3	3	7
4	6	20	4	2	4	6
5	11	15	5	1	5	5
6	15	11	1	5	6	4
7	17	9	2	4	7	3
8	21	5	3	3	8	2
9	4	22	4	2	9	1
10	9	17	5	1	2	8

Тема 1.2. Оценка механической безопасности здания

Практическое занятие №4. Оценка механической безопасности здания по результатам прогнозирования остаточного ресурса железобетонной конструкции

Методические указания к решению задачи

В соответствии с п. 8.1 РД ЭО 1.1.2.99.0867–2012 остаточный ресурс железобетонной конструкции может определяться по анализу прочности бетона. Зависимость прочности бетона от времени в СТО РД ЭО 1.1.2.99.0867–2012 имеет вид:

$$R_b(t) = R_{b0}(1 + \alpha \cdot \log t) - k_R(t - t_0) \quad (5)$$

где R_{b0} – прочность бетона в момент времени t_0 (в начальный период), кгс/см²; t и t_0 – возраст бетона, год; α – коэффициент, характеризующий интенсивность прироста прочности бетона со временем; k_R – коэффициент интенсивности снижения прочности бетона вследствие деструктивных процессов, кг/см²год.

В соответствии с рекомендациями п. 7.2.3.2. СТО РД ЭО 1.1.2.99.0867–2012 для нахождения в воздушной среде при влажности не менее 70...80 % коэффициент α принимается равным 0,3. Коэффициент k_R вычисляют из базовой зависимости (5) по формуле:

$$k_R = \frac{R_{b0}(1 + \alpha \cdot \log t_{\text{обслед}}) - R_{\text{б обслед}}}{(t_{\text{обслед}} - t_0)}, \quad (6)$$

где $R_{\text{б обслед}}$ – прочность бетона на момент обследования, кгс/см²; $t_{\text{обслед}}$ – период обследования, год.

Условие задачи

Требуется рассчитать остаточный ресурс железобетонной конструкции после 25 лет эксплуатации, если известно, что на момент обследования (25 лет) прочность бетона равна 160 кгс/см², а при вводе здания в эксплуатацию, согласно проектной документации, прочность была 180 кгс/ см². По проекту марка бетона М150. Конструкция эксплуатируется при влажности окружающей среды 75 %. Предельное снижение прочности принимается не более 30%.

Варианты ответов

(!) 10 лет

(?) 5 лет

(?) 15 лет

(?) 25 лет

(?) 35 лет

Указание или анализ (подсказка)

Сначала определяется коэффициент интенсивности снижения прочности бетона вследствие деструктивных процессов по данным обследования. Первоначальный момент эксплуатации принимать равным $t_0=1$. Учитываем, что интенсивность износа равномерная. Затем определяется прочность на перспективном периоде эксплуатации, который задается произвольно. На последнем этапе при помощи интерполяции определяется требуемое значение.

Полное решение задачи

Определим коэффициент интенсивности снижения прочности бетона вследствие деструктивных процессов:

$$k_R = \frac{180(1 + 0,3 \cdot \log 25) - 160}{(25 - 1)} = 3,97 \text{ кг/см}^2\text{год}$$

Выполним приближенный расчет – определим прогнозируемую прочность при сроке эксплуатации 40 лет:

$$R_b(40) = 180(1 + 0,3 \cdot \log 40) - 3,97(40 - 1) = 112 \text{ кгс/см}^2.$$

$$\text{Предельное снижение прочности: } 180 \cdot (1 - 0,3) = 126 \text{ кгс/см}^2.$$

Интерполяцией определим срок эксплуатации, при котором $R_b(t) = 126$ кгс/см².

$$25 \text{ лет} - 160 \text{ кгс/см}^2$$

$$x \text{ лет} - 126 \text{ кгс/см}^2$$

$$40 \text{ лет} - 112 \text{ кгс/см}^2$$

Получаем примерно 35 лет. Следовательно, остаточный срок безопасной эксплуатации по требованиям механической безопасности до достижения предельного значения прочности составит $35 - 25 = 10$ лет.

Задания для самостоятельного решения

Требуется рассчитать остаточный ресурс железобетонной конструкции по результатам обследования и определения фактической прочности. Конструкция эксплуатируется при влажности окружающей среды 70%. Предельное снижение прочности принимается не более 30%.

Таблица 10

Варианты заданий

Вариант	Период эксплуатации (момент обследования), лет	Проектная прочность, кгс/см ²	Фактическая прочность, кгс/см ²
1	12	180	140
2	10	170	130
3	18	160	120
4	26	150	115
5	11	180	145
6	15	170	135
7	17	160	125
8	21	150	110
9	24	180	150
10	19	170	130

Практическое занятие №5. Оценка остаточного ресурса здания.

Обоснование выбора эксплуатационных мероприятий

Методические указания к решению задачи

Остаточный ресурс здания или сооружения – время (в годах) до наступления предельного технического состояния, при котором дальнейшая эксплуатация невозможна без проведения капитального ремонта с усилением или частичной заменой конструктивных элементов.

Предельное состояние – состояние здания (сооружения), при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима по требованиям безопасности или нецелесообразна с точки зрения экономической эффективности.

Остаточный ресурс здания (сооружения) зависит от следующих факторов: начальной надежности к моменту окончания строительства, продолжительности эксплуатации здания, нагрузок и воздействий на него. Скорость снижения безопасности здания зависит от условий эксплуатации и их стабильности во времени – наличия и величин особых нагрузок, механических и климатических воздействий и пр.

Остаточный срок службы здания может рассчитываться исходя из сопоставления степени физического износа и норм амортизации здания (с учетом категории капитальности), с использованием кривых нормального

износа. На основе рассчитанного значения экономического показателя износа и нормы амортизации определяют остаточный срок службы жилищного фонда по формуле:

$$T_{ост}=(100-1,4I_{\phi})/j, \quad (7)$$

где I_{ϕ} – наибольший физический износ, зафиксированный у несменяемого элемента (несущие стены, перекрытия, фундаменты, лестницы), %; j – норма амортизации, принимаемая по табл. 11.

Таблица 11

Нормы амортизации

Характеристика капитальности здания	Категория капитальности здания	Средний срок службы здания, лет	Норма амортизации j
Каменные массивные, особой капитальности кирпичные (стены 2,5-3,5 кирпича) или железобетонные, перекрытия железобетонные	I	150	0,7
Каменные обыкновенные (стены 1,5-2,5 кирпича), перекрытия железобетонные или смешанные, а также каменные своды по металлическим балкам	II	125	0,8
Каменные облегченные, фундаменты каменные и бетонные; стены облегченной кладки из кирпича, шлакоблоков, ракушечника; перекрытия деревянные, железобетонные или каменные своды по металлическим балкам	III	100	1,0
Здания деревянные, рубленые и брусчатые, смешанной конструкции; фундаменты - ленточные	IV	75	2,0

бутовые; стены - рубленые, брусчатые, смешанные (кирпич и дерево); перекрытия - деревянные			
Деревянные каркасные и сборно-щитовые	V	50	3,3
Каркасно-камышитовые, из досок и прочие облегченные	VI	25	6,6

Условие задачи

При обследовании кирпичного 5-этажного жилого здания проведена оценка физического износа всех конструктивных элементов. Среди несменяемых элементов (фундаменты, несущие стены, перекрытия) наибольший износ установлен у стен ($I_{\phi}=65\%$). Здание относится ко второй группе капитальности. Определить остаточный срок службы здания.

Варианты ответов

- (!) 11 лет
- (?) 8 лет
- (?) 9 лет
- (?) 10 лет
- (?) 12 лет

Указание или анализ (подсказка)

Остаточный ресурс здания необходимо определить без учета проведения капитального ремонта.

Полное решение задачи

Для II группы капитальности норма амортизации составит 0,8.

Тогда остаточный срок службы здания без проведения капитального ремонта определяется по формуле (7):

$$T_{ост} = (100 - 1,4 \cdot 65) / 0,8 = 11 \text{ лет.}$$

Ответ: 11 лет.

Задания для самостоятельного решения

Определить остаточный срок службы жилого здания. Величина износа и

группа капитальности приведены в табл. 12.

Таблица 12

Варианты заданий

Вариант	$\Phi_k, \%$	Группа капитальности
1	40	I
2	45	II
3	47	III
4	50	IV
5	52	I
6	55	II
7	63	III
8	74	IV
9	68	I
10	60	II

Тема 1.3. Оценка пожарной безопасности эксплуатируемого здания

Практическое занятие №6. Расчет предела огнестойкости железобетонной колонны с учетом износа

Методические указания к решению задачи

Согласно СП 112.13330 оценка пожарной безопасности строительных конструкций характеризуется огнестойкостью. Показателем огнестойкости является предел огнестойкости.

Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливают по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции признаков предельных состояний:

- потери несущей способности (R);
- потери теплоизолирующей способности (I);
- потери целостности (E).

Пределы огнестойкости строительных конструкций и их условные обозначения устанавливают по ГОСТ 30247. Здания и сооружения, а также их части, выделенные противопожарными стенами (пожарные отсеки) подразделяются по степеням огнестойкости согласно таблице 7.

Требуемые степени огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее						
	Несущие элементы здания	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные, (в том числе чердачные и над подвалами)	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
Настилы (в том числе с утеплителем)				Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц	
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	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	Не нормируется						

Для несущих элементов здания, выполняющих одновременно функции ограждающих конструкций, например, к несущим стенам, помимо предела огнестойкости по несущей способности (R) должны предъявляться дополнительные требования по потере изолирующей способности (I) и потере целостности (E).

Расчет предела огнестойкости конструкции по потере несущей способности (R) состоит из двух частей: теплотехнической и статической.

Теплотехнический расчет должен обеспечить время наступления предела огнестойкости, по истечении которого арматура нагревается до критической температуры, или сечение бетона конструкции сокращается до предельного значения при воздействии на нее стандартного температурного режима.

Статический расчет должен обеспечить недопущение разрушения и потери устойчивости конструкции при совместном воздействии нормативной нагрузки и стандартного температурного режима. Расчет огнестойкости конструкций производится по нормативным сопротивлениям бетона и арматуры. Предел огнестойкости по теплоизолирующей способности (I), т.е. по нагреву необогреваемой поверхности более допускаемых температур должен быть

обеспечен теплотехническим расчетом. Расчет сводится к определению времени, по истечении которого температура на необогреваемой поверхности достигнет предельно допустимого значения.

Предел огнестойкости по целостности (E) - по образованию сквозных отверстий или трещин, возникает в конструкциях из тяжелого бетона с влажностью более 3,5% и из легкого бетона с влажностью более 5,0% и плотностью более 1200 кг/м³. Потеря целостности при хрупком разрушении бетона резко уменьшает предел огнестойкости, поэтому целесообразно применять бетоны с ограничением расхода цемента, низким водо-цементным соотношением и с более низким коэффициентом температурного расширения заполнителя.

Расчет температуры прогрева сечений бетонных и железобетонных конструкций при воздействии стандартного пожара

При проведении расчетов следует принимать начальную температуру $T_0=20^{\circ}\text{C}$. Температурный режим пожара, соответствующий температурному режиму, описывается выражением:

$$T_f^{st}(\tau) = 345 \lg(480\tau + 1) + T_0, \quad (8)$$

где τ – время воздействия пожара, ч; $T_f^{st}(\tau)$ – температура пожара.

Коэффициент теплопроводности λ бетона и арматуры допускается определять по формуле:

$$\lambda(T) = A + BT \quad (9)$$

Удельная теплоемкость $c(T)$ бетона и арматуры определяется по формуле:

$$c(T) = C + DT \quad (10)$$

Значение коэффициентов A, B, C, D принимают по табл. 13.

Таблица 13

Изменение теплотехнических характеристик бетона и арматуры в зависимости от их прогрева при пожаре

Материал	Средняя плотность	Значение параметров				Эксплуатационная	Приведенный коэффициент
		A	B	C	D		

	ость бетон а, кг/м ³					я относ итель ная влажн ость, %	иент α_{red} , м ² /ч
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород	2350	1,20	-0,00035	0,71	0,00083	2,5	0,00133
Тяжелый бетон с заполнителем из карбонатных пород	2350	1,14	-0,00055	0,71	0,00083	3,0	0,00116
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита	1600	0,36	0,00012	0,83	0,00042	5,0	0,00734
Керамзитоперлитобетон	1200						
Легкий бетон с крупным и мелким заполнителем из керамзита	750	0,18	0,0008	0,92	0,00048	6,0	0,000722
Арматурная сталь		65	-0,048	0,44	0,00063	-	-

При расчете также допускается использовать приведенные (осредненные) значения коэффициента температуропроводности α_{red} :

$$\alpha_{red} = \frac{3,6\lambda(T = 450^{\circ}\text{C})}{[c((T = 450^{\circ}\text{C}) + 0,05w)]\rho} \quad (11)$$

Температуру бетона и арматуры конструкции, в зависимости от количества обогреваемых поверхностей и их взаимного расположения, определяют по формулам:

Одна обогреваемая поверхность:

$$T=20+1200(1-r_1)^2 \quad (12)$$

Две параллельные обогреваемые поверхности:

$$T=20+1200[(1-r_1)^2+[(1-r_1)^2] \quad (13)$$

Трехсторонний прогрев:

$$T=1220-1200[1-(1-r_1)^2+[(1-r_1)^2] \cdot [1-(1-r_3)^2] \quad (14)$$

Четырехсторонний прогрев:

$$T=1220-1200[1-(1-r_1)^2-(1-r_1)^2] \cdot [1-(1-r_3)^2-(1-r_4)^2] \quad (15)$$

В конструкциях круглого сечения:

$$T = 20 + 1200 \sqrt{\frac{b}{(b - x_i)/(1 - r_1)^2}} \quad (16)$$

$$r_1 = \frac{x_i^*}{l} \leq 1,0 \quad (17)$$

где l – толщина слоя бетона, м;

$$l = \sqrt{12 \cdot \alpha_{red} \cdot \tau} \quad (18)$$

Определим параметры x_i^* температуры прогрева бетона, для чего воспользуемся формулой:

$$x_i^* = x_i + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 \cdot d_s \quad (19)$$

Определим параметры x_i^* для заданного арматурного стержня, для чего воспользуемся формулой:

$$x_i^* = y_i + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 \cdot d_s \quad (20)$$

здесь y_i - расстояние от i -ой обогреваемой поверхности до ближайшего к ней края арматуры, м; x_i – расстояние от рассматриваемой точки сечения бетона до i -ой обогреваемой поверхности, м; φ_1 и φ_2 – коэффициенты зависящие от плотности бетона, определяемые по таблице 9; d – диаметр арматуры, м.

Таблица 14

Значения коэффициента продольного изгиба для сжатия железобетонных элементов, подвергаемых воздействию пожара

Вид бетона	Коэффициента продольного изгиба колонны (φ)									
	≤8	10	12	14	16	18	20	22	26	30
Тяжелый	1,0	0,98	0,96	0,93	0,89	0,85	0,81	0,77	0,68	0,59
Легкий	1,0	0,96	0,90	0,84	0,78	0,73	0,67	0,61	0,51	0,41

Расчет толщин слоев бетона, прогретых до критической температуры производится:

Одна обогревая поверхность:

$$x_1 = r_1 l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} \quad (21)$$

$$r_1 = 1 - \sqrt{\frac{T^{cr} - 20}{1200}} \quad (22)$$

Две параллельные обогреваемые поверхности:

Высчитываются аналогично, что и для одной обогреваемой поверхности, при этом:

$$x_2 = h - x_1, \quad (23)$$

где h – расстояние между обогреваемыми поверхностями, м.

Две перпендикулярные обогреваемые поверхности:

$$r = 1 - \sqrt{1 - \sqrt{\frac{1200w - 1220 + T^{cr}}{1200w}}} \quad (24)$$

Трехсторонний прогрев:

$$r = \frac{\frac{b}{2} + \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}}}{l \leq 1} \quad (25)$$

$$r_3 = 1 - \sqrt{\frac{1200w - 1220 + T^{cr}}{1200w}} \quad (26)$$

$$\delta^{cr} = r_3 l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} \quad (27)$$

При четырехстороннем прогреве используются формулы (24)-(27). Площадь сечения F , ограниченную на момент времени $\tau = \tau_1$ изотермой $T = T_b^{cr}$ при четырехстороннем тепловом воздействии на конструкции квадратного сечения ($h_1 = h_2 = h$) по режиму стандартного пожара, можно определить по формуле:

$$F = \psi \cdot (2 \cdot c)^2, \quad (28)$$

$$c = \frac{h}{2} - \delta_c^{cr}, \quad (29)$$

$$\psi = \frac{b_0}{c} - 0,2, \quad \text{но более 1.} \quad (30)$$

где δ_c^{cr} – толщина слоя материала, прогретого до критической температуры, м; h – размер квадратного сечения, м; ψ – поправка на дополнительное увеличение толщины прогретого слоя материала в углах сечения.

$$b_0 = \frac{h}{2} - \delta_{yz} \quad (31)$$

$$\delta_c^{cr} = r' \cdot l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}}, \quad (32)$$

Глубина прогрева внутри угла определяется по формуле:

$$\delta_{yz} = r_{yz} \cdot l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}}, \quad (33)$$

$$r_{yz} = 1 - \sqrt{1 - \sqrt{\frac{1220 - T_b^{cr}}{1220}}} \quad (34)$$

Для конструкции круглого сечения r_1 находят по формуле (22); x_1 находят по формуле (21), затем по формуле (16) находят температуру T для точки, находящейся на расстоянии x_1 от обогреваемой поверхности и температуру T' для точки $x_1=1,2x_1$; толщину прогретого бетона до T^{cr} вычисляют по формуле:

$$\delta = x_1 + \frac{x_1' - x_1}{T - T'} (T - T^{cr}) \quad (35)$$

Расчет толщины защитных слоев бетона, обеспечивающих достижение критических температур прогрева арматуры, производится по формуле:

$$y_1 = r_1 l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} - \varphi_2 d_s \quad (36)$$

l вычисляют по формуле (18).

При одно обогреваемой поверхности r_1 определяют по формуле (22), y_1 определяют по формуле (29) и принимают $\delta_s = y_1$.

Расчет времени достижения критической температуры в растянутой арматуре плоских односторонне прогреваемых конструкций производится по формуле:

$$\tau_{f,r} = \frac{1}{12\alpha_{red}} \left(\frac{\delta_s + \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} - \varphi_2 d_s}{1 - \sqrt{\frac{T^{cr} - 20}{1200}}} \right)^2 \quad (37)$$

где δ_s – толщина защитного слоя бетона от обогреваемой поверхности до ближайшего к ней края растянутой арматуры, м.

Для многопустотных панелей и плит перекрытий у которых площадь пустот A_0 составляет не менее 40% площади поперечного сечения A , допускается принимать предел огнестойкости по теплоизолирующей способности, как для плит сплошного сечения с приведенной толщиной равной:

$$h_{red} = \frac{A - A_0}{b}, \quad (38)$$

где b – ширина плиты.

Если для плиты известна нагрузка p от собственного веса, то приведенная толщина может быть определена по формуле:

$$h_{red} = \frac{p}{\rho}, \quad (39)$$

где ρ – плотность бетона (сухого), кг/м³.

Расчет несущей способности бетонных и железобетонных конструкций при воздействии стандартного пожара

Для изгибаемых свободно опирающихся железобетонных плит, при воздействии пожара снизу, потеря несущей способности происходит за счет уменьшения сопротивления растянутой арматуры при ее прогибе. При расчете можно пренебречь прогревом сжатой зоны бетона и сжатой арматуры.

Для сплошной свободно опирающейся по двум противоположным сторонам плиты, высоту сжатой зоны бетона при разрушении по нормальному сечению от момента M , определяют по формуле:

$$x = \frac{M - (h_0 - a')A_s R_{scu}}{bh_0 R_{bu}} \quad (40)$$

Значение коэффициента условий работы при пожаре γ_{st} арматуры при выполнении условий $x > 2a'$ определяют по формуле:

$$\gamma_{st} = \frac{M - (a' - 0,5x)A_s R_{scu}}{(h_0 - 0,5x)A_s R_{su}} \quad (41)$$

Если условие не выполняется, расчет ведется без учета сжатой арматуры плиты.

При отсутствии сжатой арматуры в плиты, значение коэффициента условий работы при пожаре γ_{st} арматуры определяется по формуле:

$$\gamma_{st} = \frac{M}{h_0 A_s R_{su}} / \left(1 - \frac{M}{2bh_0^2 R_{bu}}\right) \quad (42)$$

В зависимости от класса арматуры по табл. 15 определяют значение критической температуры нагрева при пожаре T_s^{cr} этих арматур как функции коэффициента γ_{st} .

Таблица 15

Значения коэффициента условий работы при пожаре $\gamma_{s,T}$ стержневой арматуры в зависимости от температуры

Класс стержневой арматуры	Коэффициент условий работы стержневой арматуры $\gamma_{s,T}$ при температуре арматуры, °С									
	≤350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
A-I	1,0	1,0	0,80	0,65	0,50	0,35	0,23	0,15	0,05	0,00
A-II	1,0	1,0	0,90	0,70	0,50	0,35	0,23	0,15	0,05	0,00
A-III	1,0	1,0	0,95	0,75	0,60	0,45	0,30	0,15	0,10	0,05
A-IV	1,0	0,95	0,80	0,65	0,50	0,35	0,20	0,10	0,05	0,00
A-V	1,0	0,95	0,80	0,60	0,40	0,25	0,10	0,05	0,03	0,00

Несущая способность центрально сжатых железобетонных колонн, подвергаемых пожару с четырех сторон, вычисляют по формуле:

$$\Phi(\tau_1) = \varphi \cdot [R_{su} \cdot \gamma_{sT} \cdot A_{s,tot} + R_{bu} \cdot F] \quad (43)$$

Решение прочностной задачи огнестойкости в общем случае сводится к определению момента времени воздействия пожара τ , при котором будет выполняться условие:

$$\Phi(\tau) \leq N_n, \quad (44)$$

где $\Phi(\tau)$ – несущая способность конструкции на момент времени τ воздействия пожара; N_n – соответственно максимально изгибаемый момент, продольное усиление от нормативных нагрузок.

Для определения предела огнестойкости по признаку I необходимо использовать табл. 11 и 12, в которых приведены минимальные толщины сплошного бетонного сечения, необходимые для обеспечения соответствующего предела огнестойкости по признаку I при одностороннем нагреве и свободном теплоотводе в окружающую среду с необогреваемой поверхности и в отсутствии теплоотвода с необогреваемой поверхности.

Таблица 16

Минимальные толщины сплошного бетонного сечения, необходимые для обеспечения соответствующего предела огнестойкости по признаку I при одностороннем нагреве и свободном теплоотводе в окружающую среду с необогреваемой поверхности

Бетон	ρ , кг/м ³	Минимальная толщина сплошного бетонного сечения, мм, обеспечивающая предел огнестойкости по признаку I, мин							
		I15	I30	I45	I60	I90	I120	I150	I180
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород	2350	30	50	60	70	90	105	120	130
Мелкозернистый бетон	1900								
Тяжелый бетон с заполнителем из карбонатных пород	2350	27	45	55	65	85	100	110	120
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита	1600	24	36	46	55	65	75	85	95
Керамзитоперлитобетон	1200	24	35	43	50	60	65	70	75
Легкий бетон с крупным и мелким заполнителем из керамзита	750								

Таблица 17

Минимальные толщины сплошного бетонного сечения, необходимые для обеспечения соответствующего предела огнестойкости по признаку I при

одностороннем нагреве и отсутствия теплоотвода с необогреваемой
поверхности

Бетон	ρ , кг/м ³	Минимальная толщина сплошного бетонного сечения, мм, обеспечивающая предел огнестойкости по признаку I, мин							
		I15	I30	I45	I60	I90	I120	I150	I180
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород	2350	30	50	65	80	100	120	140	155
Мелкозернистый бетон	1900								
Тяжелый бетон с заполнителем из карбонатных пород	2350	30	50	65	80	100	120	135	150
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита	1600	25	40	53	65	80	95	105	115
Керамзитоперлитобетон	1200	25	40	50	60	75	90	110	105
Легкий бетон с крупным и мелким заполнителем из керамзита	750								

Условие задачи

Имеется железобетонная колонна, сечением 0,3×0,3 м, расчетная длина колонны $l=3,6$ м. Нормативная нагрузка на колонну $NH=1390$ кН.

Бетон: класса В40 ($R_b=34,9$ МПа, $R_{bn}=34,9$ МПа, $R_{bu}=34,9$ МПа); на гранитном щебне.

Арматура: класса А-III ($R_s=365$ МПа, $R_{sn}=390$ МПа, $R_{su}=433$ МПа) четыре стержня диаметром 12 мм и площадью сечения $A_s = 4,25 \cdot 10^{-4}$ м². Расстояние от края арматуры до поверхности колонны $y=0,032$ м.

Рассчитать предел огнестойкости колонны по признаку R – потере несущей способности при четырехстороннем воздействии пожара.

Варианты ответов

- (!) R68
- (?) R86
- (?) R96
- (?) R88

(?) R98

Указание или анализ (подсказка)

Предел огнестойкости колонны по признаку R – потере несущей способности определяется с помощью графика снижения несущей способности при воздействии стандартного пожара $\tau_1=1,5$ ч и $\tau_2=1,0$ ч.

Полное решение задачи

Решаем теплотехническую задачу огнестойкости, применительно к рассматриваемой конструкции – проводим расчет температур прогрева арматуры и бетона колонны в заданный момент времени воздействия стандартного пожара.

Выбираем схему температурного воздействия пожара на колонну и расчетные моменты времени его воздействия.

Принимаем четырехстороннее воздействие пожара на колонну (см. рис. 3) и рассмотрим его воздействие в момент времени $\tau_1=1,5$ ч.

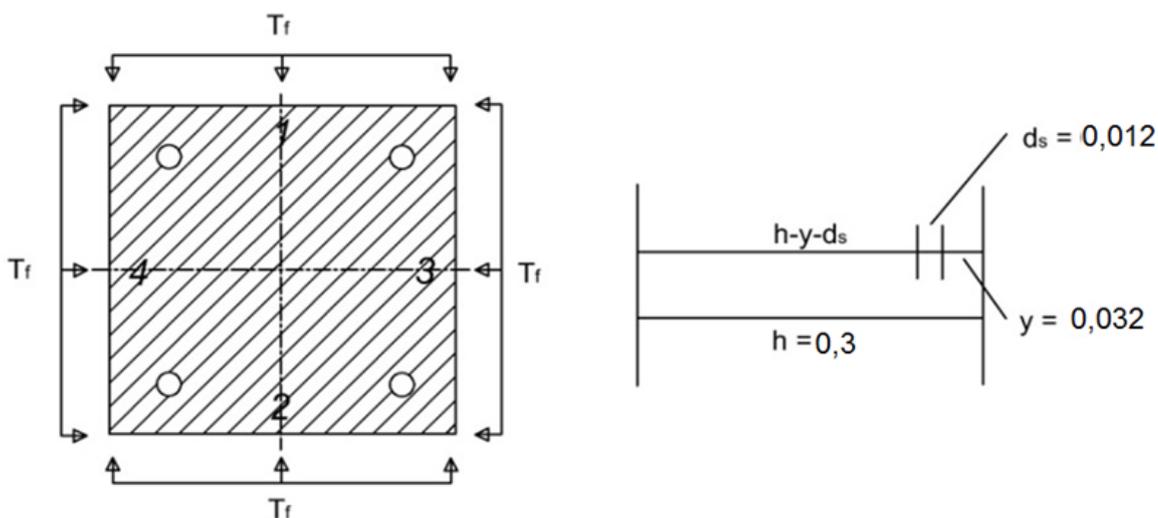


Рисунок 3. Расчетная схема определения предела огнестойкости железобетонной колонны, подвергаемой четырехстороннему воздействию пожара: 1,2,3,4 - номера обогреваемых пожаром поверхностей сечения колонны

Определяем значение приведенного коэффициента температуропроводности прогреваемого слоя бетона колонны:

Согласно справочным данным для тяжелого бетона на гранитном заполнителе, имеем: $\alpha_{red} = 0,00133$ м²/ч

Определяем значения коэффициентов φ_1 и φ_2 .

При $\rho=2350 \text{ кг/м}^3$ $\varphi_1=0,62$ и $\varphi_2=0,5$.

В силу симметричности сечения колонны и воздействия пожара на нее, рассмотрим только один из четырех арматурных стержней, расположенный между обогреваемыми поверхностями «1» и «3».

Определяем температуру прогрева арматуры T_s колонны в первый расчетный момент времени воздействия пожара $\tau_1=1,5$ ч.

Определим параметры $x_1^* = x_3^*$ и $x_2^* = x_4^*$:

$$x_i^* = y_i + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 \cdot d_s$$

здесь y_i - расстояние от i -ой обогреваемой поверхности до ближайшего к ней края арматуры, м.

Как видно из рисунка 1, в силу симметрии $x_1^* = x_3^*$ и $x_2^* = x_4^*$.

$$x_1^* = y_1 + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 \cdot d_s = 0,032 + 0,62 \cdot \sqrt{0,00133} + 0,5 \cdot 0,012 = 0,0606 \text{ м}$$

$$\begin{aligned} x_2^* &= y_2 + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 \cdot d_s = (h - \delta_s - d_s) + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + \varphi_2 \cdot d_s = \\ &= (0,3 - 0,032 - 0,012) + 0,5 \cdot \sqrt{0,00133} + 0,5 \cdot 0,012 = 0,285 \text{ м} \end{aligned}$$

Определим значения параметра $r_i = \frac{x_i^*}{l}$, где

$$l = \sqrt{12 \cdot \alpha_{red} \cdot \tau_1} = \sqrt{12 \cdot 0,00133 \cdot 1,5} = 0,155 \text{ м}$$

$$r_1 = r_3 = \frac{x_1^*}{l} = \frac{0,0606}{0,155} = 0,391$$

$$r_2 = r_4 = \frac{x_2^*}{l} = \frac{0,285}{0,155} = 1,839$$

Т.к. $r_2 > l$ и $r_4 > l$, то $r_2 = r_4 = 1$ (обогрев колонны со сторон 2 и 4 не оказывает влияния на прогрев заданного арматурного стержня)

Определяем значение температуры прогрева арматуры T_s при $\tau_1=1,5$ ч по формуле:

$$\begin{aligned} T_s(\tau = 1,5 \text{ ч}) &= 1220 - 1200 \cdot [1 - (1 - r_1)^2 - (1 - r_2)^2] \cdot [1 - (1 - r_3)^2 - (1 - r_4)^2] = \\ &= 1220 - 1200 \cdot [1 - (1 - 0,391)^2 - (1 - 1)^2] \cdot [1 - (1 - 0,391)^2 - (1 - 1)^2] = \\ &= 1220 - 1200 \cdot [1 - (1 - 0,391)^2]^2 = 745 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Определяем площадь бетона колонны, сохраняющего свою прочность в первый расчетный момент времени воздействия пожара $\tau_1=1,5$ ч (площадь сечения, ограниченная изотермой T_b^{cr}

Для тяжелого бетона на силикатном заполнителе $T_b^{cr}=500$ °С.

Площадь сечения F , ограниченную на момент времени $\tau = \tau_1$ изотермой $T = T_b^{cr}$ при четырехстороннем тепловом воздействии на конструкции квадратного сечения ($h_1 = h_2 = h$) по режиму стандартного пожара, можно определить по формуле:

$$F = \psi \cdot (2 \cdot c)^2,$$

Определим значение параметра r :

$$r = (h/2 + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}}) / l = (0,3/2 + 0,62 \cdot \sqrt{0,00133}) / 0,155 = 1,11$$

Т.к. $r > 1$, то принимаем $r=1$.

Соответственно, $w = 1 - 2 \cdot (1 - r)^2 = 1 - 2 \cdot (1 - 1)^2 = 1$

Определим значение параметра r' :

$$r' = 1 - \sqrt{\frac{1220 w - 1220 + T_b^{cr}}{1220 w}} = 1 - \sqrt{\frac{1220 \cdot 1 - 1220 + 500}{1220 \cdot 1}} = 0,519$$

Определяем значение толщины критически прогретого слоя бетона u середины прогреваемой поверхности:

$$\delta_c^{cr} = r' \cdot l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} = 0,373 \cdot 0,155 - 0,62 \cdot \sqrt{0,00133} = 0,0352 \text{ м}$$

Определяем значение c по формуле:

$$c = \frac{h}{2} - \delta_c^{cr} = \frac{0,3}{2} - 0,0352 = 0,115 \text{ м}$$

Определим значение параметра r_{yz} :

$$r_{yz} = 1 - \sqrt{1 - \sqrt{\frac{1220 - 500}{1220}}} = 0,519$$

Определим δ_{yz} :

$$\delta_{yz} = r_{yz} \cdot l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} = 0,519 \cdot 0,155 - 0,62 \cdot \sqrt{0,00133} = 0,058 \text{ м}$$

Определим параметр b_0 :

$$b_0 = \frac{h}{2} - \delta_{yz} = \frac{0,3}{2} - 0,058 = 0,092 \text{ м}$$

Определим значение поправки ψ :

$$\psi = \frac{b_0}{c} - 0,2 = \frac{0,1092}{0,115} - 0,2 = 0,6 \text{ (должно быть } \psi \leq 1 \text{)}$$

Рабочая площадь сечения бетона на момент времени $\tau = \tau_1 = 1,5$ ч будет равна:

$$A = F = \psi \cdot (2 \cdot c)^2 = 0,6 \cdot (2 \cdot 0,115)^2 = 0,0317 \text{ м}^2$$

А сторона рабочего сечения, приведенного к квадратному (h_b) на момент времени $\tau = \tau_1 = 1,5$ ч будет равна:

$$h_b(\tau = 1,5 \text{ ч}) = \sqrt{F} = \sqrt{0,0317} = 0,178 \text{ м}$$

Решим прочностную задачу применительно к рассматриваемой конструкции – определяем несущую способность колонны в момент времени $\tau = \tau_1 = 1,5$ ч воздействия стандартного пожара.

Определяем значение коэффициента продольного изгиба колонны (φ) с учетом уменьшения рабочего сечения бетона колонны при воздействия пожара.

Согласно таблице 14 имеем:

$$\frac{l}{h_b(\tau = 1,5 \text{ ч})} = \frac{3,6}{0,178} = 20,2, \text{ отсюда } \varphi = 0,81$$

Определяем значение коэффициента условий работы при пожаре $\gamma_{s,T}$ арматуры колонны при $\tau = \tau_1 = 1,5$ ч.

Согласно таблице 15 стали класса А-III (А400) имеем:

$$\text{При } T_s(\tau = 1,5 \text{ ч}) = 745 \text{ }^\circ\text{C}, \gamma_{s,T} = 0,10$$

Определяем несущую способность $\Phi(\tau)$ колонны в момент времени воздействия пожара $\tau = \tau_1 = 1,5$ ч:

$$\Phi(\tau_1) = \varphi \cdot [R_{su} \cdot \gamma_{sT} \cdot A_{s,tot} + R_{bu} \cdot F] = 0,81 \cdot [433 \cdot 0,1 \cdot 4,25 \cdot 10^{-4} + 34,9 \cdot 0,0317] \cdot 10^{-6} = 911980 \text{ Н}$$

$$\Phi(\tau_1) = 912 \text{ кН}$$

Проверяем условие наступления предельного состояния колонны по признаку «R» - потере несущей способности на момент воздействия пожара $\tau = \tau_1 = 1,5$ ч по формуле:

$$\Phi(\tau = \tau_1 = 1,5 \text{ ч}) < N_n = 1390 \text{ кН}$$

Условие не выполняется, т.к. $919 \text{ кН} < 1390 \text{ кН}$.

Соответственно, предел огнестойкости рассматриваемой колонны по признаку «R» менее 1,5 часов.

Для определение значения предела огнестойкости необходимо принять второй расчетный интервал времени $\tau = \tau_2 = 1,0$ ч и повторить расчеты.

Решаем теплотехническую задачу огнестойкости проводим расчет температур прогрева арматуры и бетона колонны для $\tau = 2,0$ ч воздействия пожара.

Определим значения параметра $r_i = \frac{x_i^*}{l}$, где

$$l = \sqrt{12 \cdot \alpha_{red} \cdot \tau_1} = \sqrt{12 \cdot 0,00133 \cdot 1,0} = 0,126 \text{ м}$$

$$r_1 = r_3 = \frac{x_1^*}{l} = \frac{0,0606}{0,126} = 0,481$$

$$r_2 = r_4 = \frac{x_2^*}{l} = \frac{0,285}{0,126} = 2,262$$

Т.к. $r_2 > l$ и $r_4 > l$, то $r_2 = r_4 = 1$ (обогрев колонны со сторон 2 и 4 не оказывает влияния на прогрев заданного арматурного стержня).

Определяем значение температуры прогрева арматуры T_s при $\tau_1 = 1,0$ ч по формуле:

$$\begin{aligned} T_s(\tau = 1,0 \text{ ч}) &= 1220 - 1200 \cdot [1 - (1 - r_1)^2 - (1 - r_2)^2] \cdot [1 - (1 - r_3)^2 - (1 - r_4)^2] = \\ &= 1220 - 1200 \cdot [1 - (1 - 0,481)^2 - (1 - 1)^2] \cdot [1 - (1 - 0,481)^2 - (1 - 1)^2] = \\ &= 1220 - 1200 \cdot [1 - (1 - 0,481)^2]^2 = 579^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Площадь бетона колонны, сохраняющего свою прочность в расчетный момент времени воздействия пожара $\tau = 1,0$ ч:

Аналогично предыдущего решения имеем:

$$r = (h/2 + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}}) / l = (0,3/2 + 0,62 \cdot \sqrt{0,00133}) / 0,126 = 1,37$$

Т.к. $r > 1$, то принимаем $r=1$.

$$\text{Соответственно, } w = 1 - 2 \cdot (1 - r)^2 = 1 - 2 \cdot (1 - 1)^2 = 1$$

Определим значение параметра r' :

$$r' = 1 - \sqrt{\frac{1200w - 1220 + T_b^{cr}}{1220w}} = 1 - \sqrt{\frac{1200 \cdot 1 - 1220 + 500}{1220 \cdot 1}} = 1 - 0,627 = 0,373$$

$$\delta_c^{cr} = r' \cdot l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} = 0,373 \cdot 0,126 - 0,62 \cdot \sqrt{0,00133} = 0,0244 \text{ м}$$

Определяем значение c :

$$c = \frac{h}{2} - \delta_c^{cr} = \frac{0,3}{2} - 0,0244 = 0,126 \text{ м}$$

Значение параметра r_{ye} :

$$r_{ye} = 1 - \sqrt{1 - \sqrt{\frac{1220 - 500}{1220}}} = 0,519$$

Определим δ_{ye} :

$$\delta_{ye} = r_{ye} \cdot l - \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} = 0,519 \cdot 0,126 - 0,62 \cdot \sqrt{0,00133} = 0,0428 \text{ м}$$

Определим параметр b_0 :

$$b_0 = \frac{h}{2} - \delta_{ye} = \frac{0,3}{2} - 0,0428 = 0,107 \text{ м}$$

Определяем значение поправки ψ :

$$\psi = \frac{b_0}{c} - 0,2 = \frac{0,107}{0,126} - 0,2 = 0,65 \text{ (должно быть } \psi \leq 1)$$

Рабочая площадь сечения бетона на момент времени $\tau = \tau_1 = 1,0$ ч будет равна:

$$F = \psi \cdot (2 \cdot c)^2 = 0,65 \cdot (2 \cdot 0,126)^2 = 0,0413 \text{ м}^2$$

А сторона рабочего сечения, приведенного к квадратному (h_b) на момент времени $\tau = \tau_1 = 1,0$ ч будет равна:

$$h_b(\tau = 1,0 \text{ ч}) = \sqrt{F} = \sqrt{0,0413} = 0,203 \text{ м}$$

Решим прочностную задачу применительно к рассматриваемой конструкции – определяем несущую способность колонны в момент времени $\tau = \tau_1 = 2,0$ ч воздействия стандартного пожара.

Определяем значение коэффициента продольного изгиба колонны (φ) с учетом уменьшения рабочего сечения бетона колонны при воздействия пожара.

Согласно таблице 14 имеем:

$$\frac{l}{h_b(\tau = 1,0ч)} = \frac{3,6}{0,203} = 17,7, \text{ отсюда } \varphi = 0,85$$

Определяем значение коэффициента условий работы при пожаре $\gamma_{s,T}$ арматуры колонны при $\tau = \tau_1 = 1,0$ ч.

Согласно таблице 15 для стали класса А-III имеем:

$$\text{При } T_s(\tau = 1,0ч) = 579 \text{ }^\circ\text{C}, \gamma_{s,T} = 0,53$$

Определяем несущую способность $\Phi(\tau)$ колонны в момент времени воздействия пожара $\tau = \tau_1 = 2,0$ ч:

$$\Phi(\tau_1) = \varphi \cdot [R_{su} \cdot \gamma_{sT} \cdot A_{s,tot} + R_{bu} \cdot F] = 0,85 \cdot [433 \cdot 0,53 \cdot 4,52 \cdot 10^{-4} + 34,9 \cdot 0,0413] \cdot 10^{-4} = 1545099 \text{ Н}$$
$$\Phi(\tau_1) = 1545 \text{ кН}$$

Проверяем условие наступления предельного состояния колонны по признаку «R» - потере несущей способности на момент воздействия пожара $\tau = \tau_1 = 1,0$ ч:

$$\Phi(\tau = \tau_1 = 1,0ч) \leq N_n = 1390 \text{ кН}$$

Условие не выполняется, т.к. $1545 \text{ кН} > 1390 \text{ кН}$.

Это означает, что фактический предел огнестойкости находится между $\tau=1$ ч и $\tau=1,5$ ч.

Строим график зависимости несущей способности колонны от времени воздействия пожара (см. рис. 4).

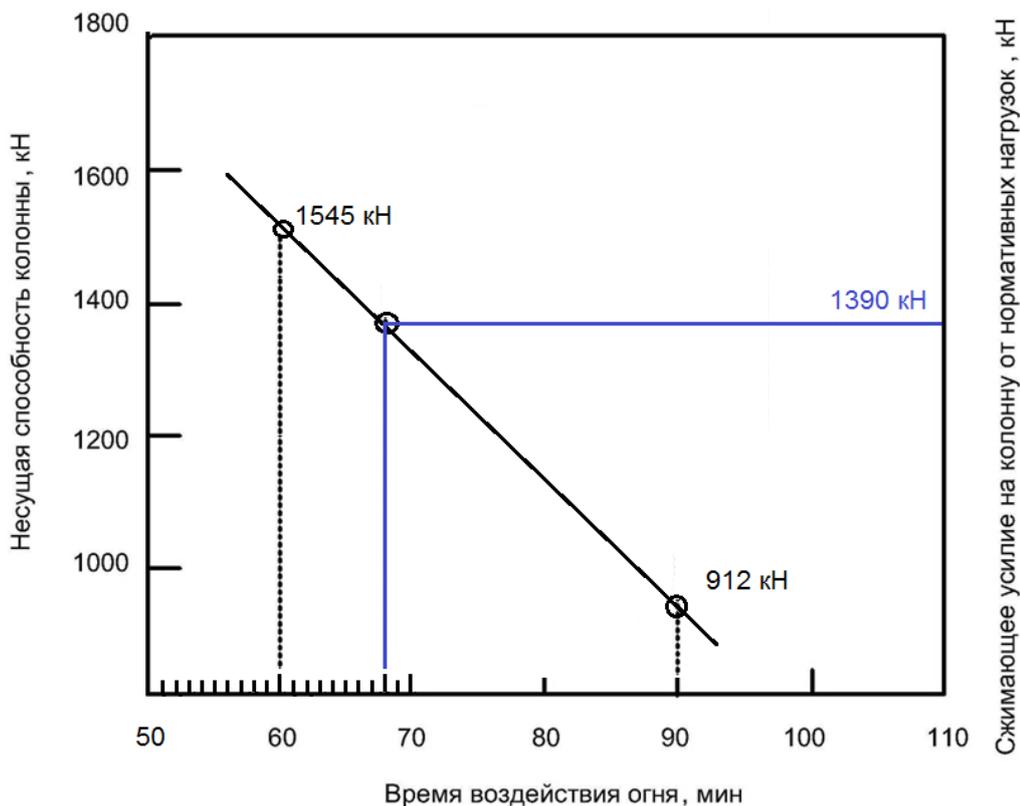


Рисунок 4. График снижения несущей способности колонны в период времени воздействия пожара от 60 до 90 мин

Точка пересечения прямой $\Phi(\tau)$ с уровнем эксплуатационной нагрузки N_n и будет соответствовать наступлению предела огнестойкости колонны $\tau_{fr}(R)$.

Согласно рисунку 4 при $\Phi(\tau) = N_n$ искомое значение предела огнестойкости колонны равно $\tau_{fr}(R) = 68$ минутам.

$$\tau_{fr}(R) = R68$$

Ответ: R68

Задания для самостоятельного решения

Рассчитать предел огнестойкости железобетонной колонны по признаку R – потере несущей способности при четырехстороннем воздействии пожара.

Таблица 18

Варианты заданий

Вариант	h	l	Класс бетона	Класс арматуры	d_s , м	$A_s, \times 10^{-4}$ м	y , м	N_n , кН
1	0,3	3	B35	A-III	12	4,25	0,030	1100
2	0,4	4	B40	A-IV	14	5,05	0,035	1250

3	0,5	5	B35	A-V	14	6,22	0,032	1150
4	0,6	6	B40	A-III	14	4,55	0,033	1320
5	0,3	3	B45	A-IV	14	5,12	0,030	1350
6	0,4	4	B50	A-V	18	6,13	0,035	1460
7	0,5	5	B55	A-III	14	4,64	0,032	1550
8	0,6	6	B35	A-IV	16	5,42	0,033	1270
9	0,3	3	B40	A-V	18	6,61	0,035	1220
10	0,4	4	B45	A-III	18	6,23	0,032	1350

Практическое занятие №7. Расчет предела огнестойкости железобетонной плиты по признаку R

Методические указания к решению задачи

Методические указания к решению задач представлены в описании практического занятия №6.

Условие задачи

Дана железобетонная плита перекрытия, многопустотная, свободно опирающаяся по двум сторонам. Размеры сечения: $b=1,2$ м; длина рабочего пролета $l=5,9$ м; высота сечения $h=0,24$ м; толщина защитного слоя бетона до низа растянутой арматуры $\delta=0,02$ м; диаметр пустот $d_{п}=0,16$ м. Бетон: тяжелый, класса B15, $R_{bu}=13,25$ МПа, на гранитном заполнителе. Арматура: растянутая класса АТ-V ($R_{sn}=785$ МПа; $R_{su}=785/0,9=872$ МПа); 2 стержня диаметром 12 мм и два стержня диаметром 14 мм, площадь поперечного сечения $A_s=5,34 \cdot 10^{-4}$ м². Нагрузка: нормативная $q=6700$ Па, нагрузка от собственного веса $p=3000$ Па.

Определить предел огнестойкости железобетонной плиты перекрытия:

По признаку R – потере несущей способности.

Варианты ответов

(!) R58

(?) R68

(?) R78

(?) R88

(?) R98

Указание или анализ (подсказка)

Расчетная схема приведена на рис. 5.

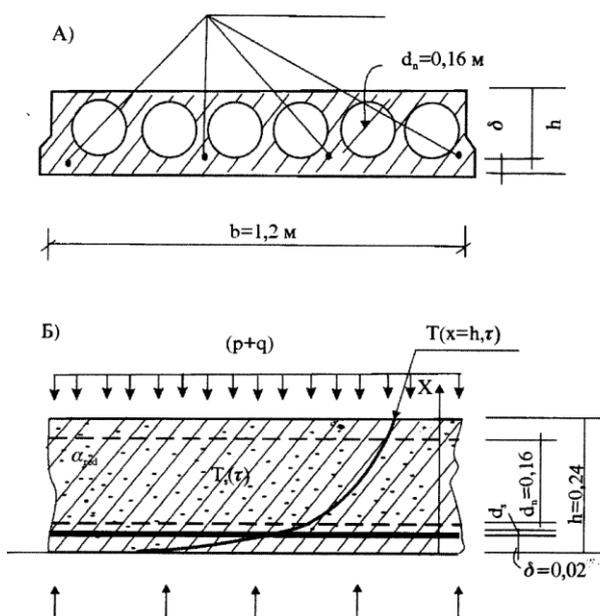


Рисунок 5. Схема для расчета предела огнестойкости железобетонной многоруствотной плиты перекрытия: А) поперечное сечение плиты; Б) расчетная схема определения предела огнестойкости плиты

Полное решение задачи

Определяем значение максимального изгибающего момента в плите:

$$M = \frac{(p + q)b \cdot l^2}{8} = \frac{(3000 + 6700) \cdot 12 \cdot 5,9^2}{8} = 5,07 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определяем рабочую высоту сечения плиты:

$$h_0 = 0,24 - 0,02 - 0,000534 = 0,2 \text{ м}$$

Определяем коэффициент условий работы при пожаре растянутой арматуры:

$$\gamma_{sT} = \frac{\frac{M}{h_0 A_s R_{su}}}{1 - \frac{M}{2bh_0^2 R_{bu}}} = \frac{5,07 \cdot 10^4}{0,2 \cdot 5,34 \cdot 10^{-4} \cdot 872 \cdot 10^6} / \left(1 - \frac{5,07 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,2 \cdot (0,214)^2 \cdot 13,25 \cdot 10^6}\right) = 0,53$$

Определяем значение критической температуры прогрева растянутой арматуры плиты по табл. 15 по интерполяции:

$$T_s^{cr} = 450 + \frac{0,7 - 0,53}{0,7 - 0,5} \cdot 50 = 492 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Решаем теплотехническую задачу огнестойкости.

Определяем значение среднего диаметра растянутой арматуры плиты:

$$d_s = \frac{\sum_{j=1}^n d_{s,j} A_{s,j}}{A_s} = \frac{2d_{s,1} A_{s,1} + 2d_{s,2} A_{s,2}}{A_s} =$$

$$= \frac{0,012 \cdot 2,26 \cdot 10^{-4} + 0,014 \cdot 3,08 \cdot 10^{-4}}{5,34 \cdot 10^{-4}} = 0,0132 \text{ м}$$

Определяем значение приведенного коэффициента температуропроводности прогреваемого бетона плита по таблице 13:

Для тяжелого бетона с крупным заполнителем из силикатных пород ($\rho=2350 \text{ кг/м}^3$) имеем: $\alpha_{red} = 0,00133 \text{ м}^2/\text{ч}$.

Определяем значение коэффициентов φ_1 и φ_2 по таблице 14:

$$\varphi_1 = 0,62 \text{ и } \varphi_2 = 0,5$$

Определяем значение предела огнестойкости сплошной железобетонной плиты по признаку R:

$$\tau_{f,r} = \frac{1}{12\alpha_{red}} \left(\frac{\delta_s + \varphi_1 \sqrt{\alpha_{red}} - \varphi_2 d_s}{1 - \sqrt{\frac{T^{cr} - 20}{1200}}} \right)^2 =$$

$$= \frac{1}{12 \cdot 0,00133} \cdot \left(\frac{0,02 + 0,62 \sqrt{0,00133} + 0,5 \cdot 0,00132}{1 - \sqrt{\frac{492 - 20}{1200}}} \right)^2 = 1,092 \cdot 60 = R65$$

Определяем искомое значение предела огнестойкости заданной многопустотной плиты по признаку R:

Предел огнестойкости многопустотных свободноопирающихся плит перекрытий по признаку R можно принимать как для сплошных плит с коэффициентом 0,9, тогда для данного случая:

$$\tau_{f,r}^{пуст} = \tau_{f,r} \cdot 0,9 = R65 \cdot 0,9 = R58$$

Ответ: R58

Задания для самостоятельного решения

Определить предел огнестойкости многопустотной плиты перекрытия по признаку R.

Таблица 19

Варианты заданий

Вариант	h	b	l	Класс бетона	Класс арматуры	d_s , м	$A_s \cdot 10^{-4}$ м	p , Па	q , Па
1	0,30	1,5	3	B25	A-III	12	4,25	3000	6700
2	0,25	1,5	4	B20	A-IV	14	5,05	2500	7250
3	0,33	1,5	5	B15	A-V	14	6,22	2750	5150
4	0,26	1,5	6	B20	A-III	14	4,55	2900	5320
5	0,23	1,5	3	B15	A-IV	14	5,12	3150	4350
6	0,34	1,6	4	B20	A-V	18	6,13	3300	5460
7	0,25	1,6	5	B25	A-III	14	4,64	3000	6550
8	0,26	1,6	6	B25	A-IV	16	5,42	2490	5270
9	0,23	1,6	3	B20	A-V	18	6,61	2500	4220
10	0,24	1,6	4	B25	A-III	18	6,23	3000	5350

Практическое занятие №8. Расчет предела огнестойкости железобетонной плиты по признаку I

Методические указания к решению задач

Методические указания к решению задач представлены в описании практического занятия №6.

Условие задачи

Дана железобетонная плита перекрытия, многопустотная, свободно опирающаяся по двум сторонам. Размеры сечения: $b=1,2$ м; длина рабочего пролета $l=5,9$ м; высота сечения $h=0,24$ м; толщина защитного слоя бетона до низа растянутой арматуры $\delta=0,02$ м; диаметр пустот $d_{п}=0,16$ м. Бетон: тяжелый, класса B15, $R_{bu}=13,25$ МПа, на гранитном заполнителе. Арматура: растянутая класса АТ-V ($R_{sn}=785$ МПа; $R_{su}=785/0,9=872$ МПа); 2 стержня диаметром 12 мм и два стержня диаметром 14 мм, площадь поперечного сечения $A_s=5,34 \cdot 10^{-4}$ м². Нагрузка: нормативная $q=6700$ Па, от собственного веса $p=3000$ Па.

Определить предел огнестойкости железобетонной плиты перекрытия:

По признаку I – потере теплоизолирующей способности.

Варианты ответов

(!) I150

(?) I160

(?) I170

(?) I180

(?) I190

Указание или анализ (подсказка)

Искомое значение предела огнестойкости для двух вариантов обогреваемой поверхности плиты находится по табл. 11 и 12. Выбирается наименьшее из двух вариантов значений.

Полное решение задачи

Определяем значение искомого предела огнестойкости заданной многопустотной плиты перекрытия по признаку I – потере теплоизолирующей способности.

Определяем площадь пустот в плите:

$$A_0 = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot 6 = \frac{3,14 \cdot 0,0256}{4} \cdot 6 = 0,121 \text{ м}^2$$

Определяем приведенную толщину плиты:

$$h_{red} = \frac{A - A_0}{b} = \frac{b \cdot A - A_0}{b} = \frac{1,2 \cdot 0,24 - 0,121}{1,2} = 0,14 \text{ м}$$

Определяем искомое значение предела огнестойкости для двух вариантов обогреваемой поверхности плиты:

При свободном теплоотводе (табл. 16) получаем:

при $h_{red} = 0,14 \text{ м}$ $\tau_{f,fi} \geq \text{I180}$

При отсутствии теплоотвода (табл. 17) получаем:

при $h_{red} = 0,14 \text{ м}$ $\tau_{f,fi} \geq \text{I150}$

Окончательно принимаем наименьшее из двух полученных значений.

Ответ: I150

Задания для самостоятельного решения

Определить предел огнестойкости многопустотной плиты перекрытия по признаку I.

Таблица 20

Варианты заданий

Вариант	h	b	l	Класс бетона	Класс арматуры	d_s , м	$A_s, \cdot 10^{-4}$ м	p , Па	q , Па
1	0,30	1,5	3	B25	A-III	12	4,25	3000	6700
2	0,25	1,5	4	B20	A-IV	14	5,05	2500	7250
3	0,33	1,5	5	B15	A-V	14	6,22	2750	5150
4	0,26	1,5	6	B20	A-III	14	4,55	2900	5320
5	0,23	1,5	3	B15	A-IV	14	5,12	3150	4350
6	0,34	1,6	4	B20	A-V	18	6,13	3300	5460
7	0,25	1,6	5	B25	A-III	14	4,64	3000	6550
8	0,26	1,6	6	B25	A-IV	16	5,42	2490	5270
9	0,23	1,6	3	B20	A-V	18	6,61	2500	4220
10	0,24	1,6	4	B25	A-III	18	6,23	3000	5350

Тема 1.4. Оценка безопасности пользования

Практическое занятие №9. Виды опасностей. Расчет времени эвакуации людей

Методические указания к решению задачи

Пожары в зданиях нередко сопровождаются человеческими жертвами, особенно в зданиях с массовым скоплением людей – торговых, культурных и спортивных центрах, гостиницах. Конструктивно-планировочное решение здания должно обеспечить безопасную эвакуацию людей в течение 1-3 минут до появления опасных факторов пожара – огонь, дым, ядовитые продукты горения.

Выходы считаются эвакуационные, если ведут (рис. 6):

1) из помещений 1-ого этажа наружу непосредственно или через вестибюль, коридор;

2) из помещений любого этажа, кроме 1-ого, в коридор или проход, ведущий к лестничной клетке или непосредственно в лестничную клетку, который имеет самостоятельный выход наружу;

3) из помещений в соседние помещения этажа, обеспеченные выходами по пунктам 1 и 2, если они не являются помещениями категории А и Б.

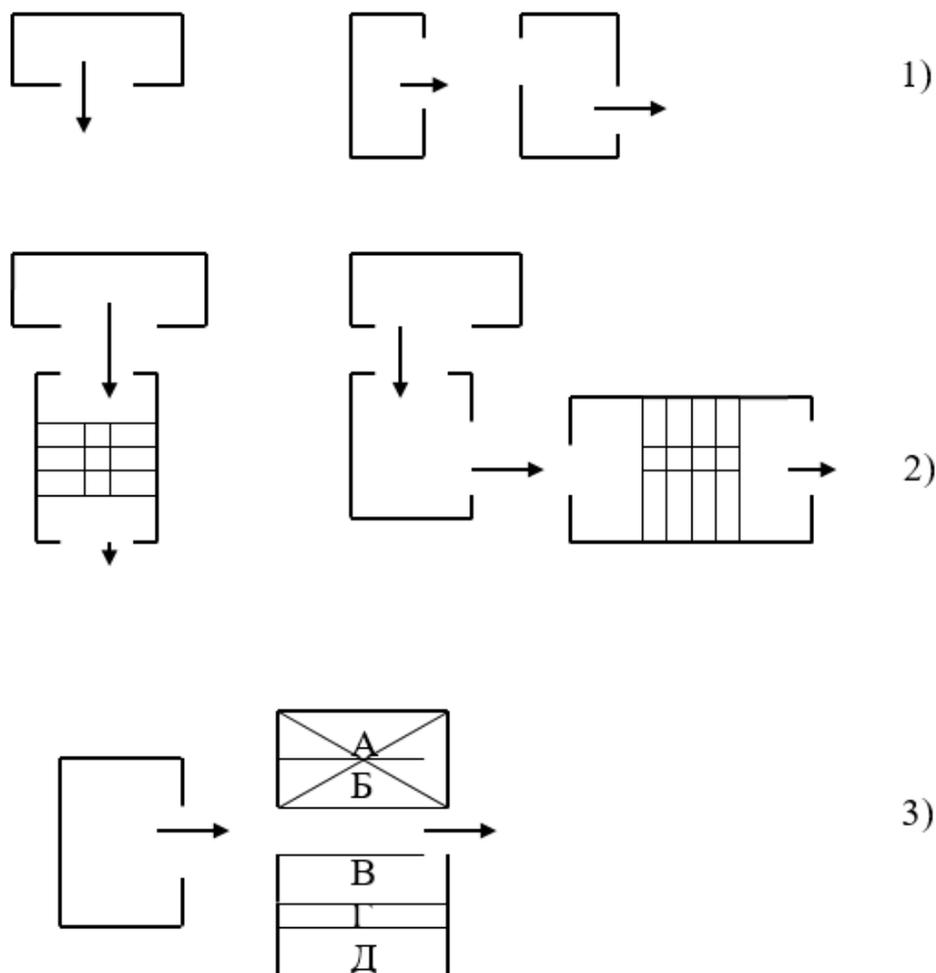


Рисунок 6. Схемы эвакуационных выходов

Выходы не считаются эвакуационными, если они оборудованы вращающимися или раздвижными дверями, а также турникетами. Также не являются эвакуационными пути сообщения, связанные с механическим приводом – лифты, эскалаторы, кроме противопожарных лифтов. Путь эвакуации рассчитывается, устанавливается возможная скорость движения людей, максимальная длина пути и др. параметры.

Основными требованиями к путям эвакуации являются:

1. Количество эвакуационных выходов рассчитывается, однако для большинства зданий их должно быть не менее двух. Выходы следует располагать рассредоточено. При двух выходах каждый из них должен обеспечить эвакуацию всех людей из помещения или этажа.

2. Минимальная ширина прохода или коридора определяется расчетом, но должна быть не менее 0,8 м, позволяющая пронести носилки с пострадавшим. Высота выхода должна быть не менее 1,9 м. Двери на путях эвакуации открываются по направлению к выходу.

3. Нормы устанавливают допустимые расстояния от наиболее удаленной точки помещения или рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода. Они зависят от класса функциональной пожарной опасности и категории взрывопожарной опасности помещения, плотности людского потока и др. параметров. Например, для категорий В1-В2 предельное допустимое расстояние составляет 40-240 м, верхняя граница предназначена для помещений объемом более 80 тыс. м³, нижнее – для помещений объемом до 15 тыс. м³. Также нормируется предельное расстояние от двери помещения до ближайшего выхода наружу или в лестничную клетку.

4. В большинстве зданий не допускается выполнять отделку стен и потолков в коридорах, лестничных клетках и вестибюлях из материалов группы горючести Г3 и Г4, определенной воспламеняемости и дымообразующей поверхности. Такие же требования предъявляются к материалам пола. Каркасы подвесных потолков должны выполняться из негорючих материалов.

5. Путь эвакуации не должен содержать порогов и других элементов, о которые человек может споткнуться или потерять равновесие, а также участков, требующих движение вверх, поэтому разрешается движение по горизонтали или вниз. Нормы устанавливают предельный уклон лестницы, высоту и ширину ступени.

6. Особые требования к путям эвакуации предусматривают для зданий высотой более 10 этажей. В систему противопожарной защиты таких

сооружений входят противодымная вентиляция, внутренний противопожарный водопровод, автоматические пожаротушение и сигнализация и другие инженерные системы.

Главным показателем эффективности технических решений, гарантирующих людям безопасность, является время, которое требуется для того, чтобы они при пожаре могли без ущерба для здоровья покинуть отдельные помещения и здание в целом. Условие безопасности людей выполнено, если фактическое время эвакуации равно или меньше времени появления опасных факторов пожара:

$$\tau_p \leq \tau_n, \quad (45)$$

где τ_p – расчетное (фактическое) время эвакуации людей, мин.; τ_n – необходимое время эвакуации (время появления опасных факторов пожара), мин.

Условие безопасности (45) положено в основу нормирования процесса эвакуации. Если оно выполняется, проект здания (сооружения) обеспечивает безопасность людей и соответствует нормам проектирования, если не выполняется, безопасность людей в случае пожара не обеспечивается, проект нуждается в переработке.

Для использования условия безопасности (45) необходимо уметь определять величину τ_p , зависящую от размеров путей эвакуации и параметров движения людей, и величину τ_n , зависящую от скорости изменения при пожаре таких опасных факторов пожара, как температура среды, концентрация токсичных продуктов горения, видимость, а также от особенностей движения людей при эвакуации.

Параметры движения людских потоков

Двигающиеся в одном направлении люди образуют людской поток, характеризующийся следующими параметрами:

– плотностью потока D ;

- скоростью движения потока v ;
- интенсивностью движения в потоке q ;
- пропускной способностью участка пути Q .

Плотность людского потока (D).

Плотность людского потока (D , чел/м²) определяется количеством человек (N), размещающихся на единице площади эвакуационного пути F (см. рис.7):

$$D = \frac{N}{F} = \frac{N}{l \cdot b} \quad (46)$$

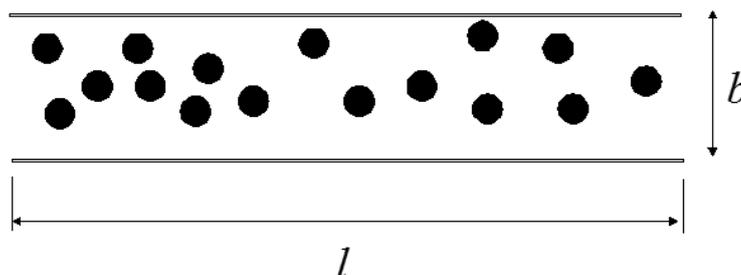


Рисунок 7. Схема размещения людей на единице площади эвакуационного пути

При эвакуации плотность может составлять:

- для взрослых людей – (10-12) чел/м²;
- для детей-школьников – (20-25) чел/м².

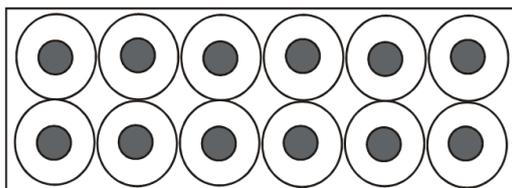
В нормах проектирования используется безразмерная характеристика плотности людского потока, которая определяется как отношение площади проекции, занимаемой эвакуирующимися, к площади эвакуационного пути:

$$D = \frac{N \cdot f}{l \cdot b} \quad (46)$$

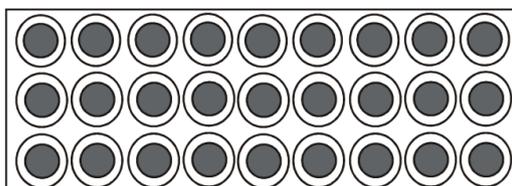
где f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая равной, м², для взрослого в домашней одежде 0,1; для взрослого в зимней одежде 0,125; для подростка 0,07.

Заданная плотность людского потока (D) достигается для людей в зимней одежде при их меньшем количестве, чем если бы они были в летней одежде (см. рис. 8).

Плотность людского потока – важная исходная характеристика движения, позволяющая определить скорость (v) и интенсивность движения (q).



Площадь горизонтальной проекции человека в зимней одежде



Площадь горизонтальной проекции человека в летней одежде

Рисунок 8. Количество людей в зимней и летней одежде, обеспечивающие заданную плотность людского потока D на заданном участке эвакуационного пути площадью F

Скорость движения людей (v).

Скорость движения людей в потоке зависит от вида пути и плотности людского потока. Эта зависимость приведена в виде таблицы (см. табл. 21).

Таблица 21

Зависимости плотности, скорости и интенсивности потоков

Плотность потока D , чел/м ²	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин		Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,6
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Как видно из таблицы 21 с увеличением плотности людского потока скорость движения (v) уменьшается и при предельной плотности ($D \geq 0,9$), характерной для скопления людей, составляет:

- для горизонтального пути $v = 15$ м/мин;
- по лестнице вниз – $v = 8$ м/мин;
- по лестнице вверх – $v = 11$ м/мин.

Интенсивность движения людского потока (q).

Интенсивность движения людского потока (q , м²/(м·мин)) характеризует количество людей, проходящих через 1 м ширины эвакуационного пути за 1 мин:

$$q = \frac{N \cdot f}{b \cdot \tau} \quad (47)$$

Интенсивность движения также зависит от плотности людского потока и вида пути. Эта зависимость также приведена в таблице 21.

Как видно из таблицы 21, что интенсивность движения функционально связана также со скоростью движения, поэтому, зная интенсивность, можно определить скорость движения, не имея данных о плотности теплового потока.

Характерно, что по мере увеличения плотности теплового потока интенсивность движения сначала увеличивается, затем достигает максимума (q_{max}), после чего уменьшается (рис. 9).

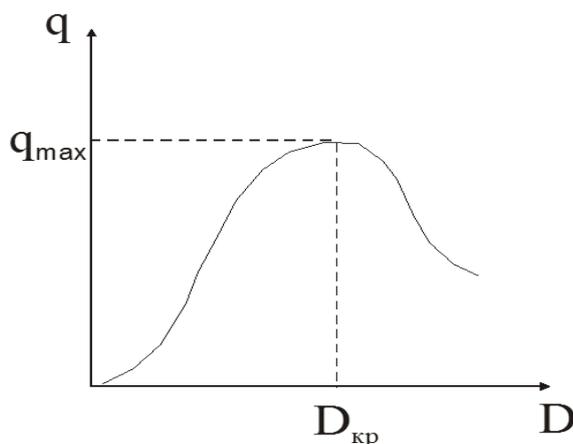


Рисунок 9. Характерная зависимость интенсивности движения от плотности людского потока

Значения q_{max} равны:

- для горизонтальных путей – 16,5 м/мин;
- для дверных проемов – 19,6 м/мин;
- для лестниц при движении вниз – 16 м/мин;
- для лестниц при движении вверх – 11 м/мин.

Если значение q , определяемое расчетом окажется больше q_{max} , то интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути определяют по табл. 21 при значении $D=0,9$ и более.

Табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равное 8,5 м/мин, установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины d интенсивность движения следует определять по формуле:

$$q = 2,5 + 3,75b \quad (48)$$

Пропускная способность участка пути (Q).

Пропускная способность участка пути (Q , м²/мин) характеризует количество людей, которое он способен пропустить в единицу времени:

$$Q = q \cdot b \quad (49)$$

Движения людских потоков при их слиянии.

Если происходит слияние нескольких людских потоков (рис. 10), то при беспрепятственном движении должно соблюдаться условие:

$$Q_i = \sum_{i-1} Q_{i-1} \quad (50)$$

Или

$$q_i b_i = \sum_{i-1} q_{i-1} b_{i-1} \quad (51)$$

Откуда

$$q_i = \frac{\sum_{i-1} q_{i-1} b_{i-1}}{b_i} \quad (52)$$

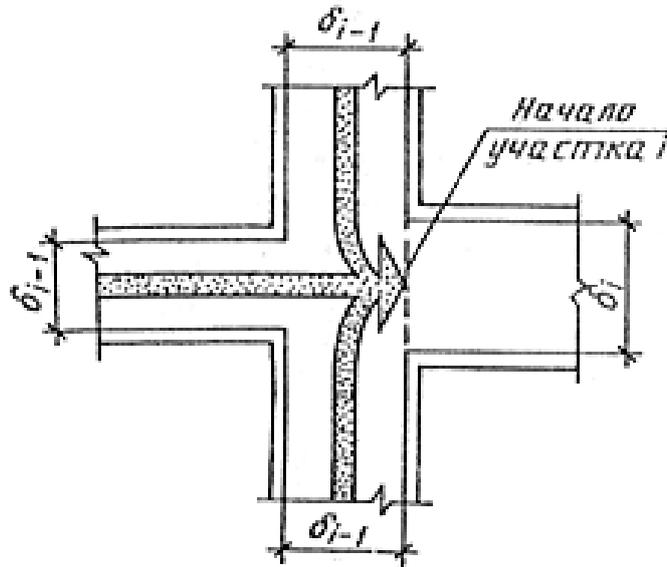


Рисунок 10. Схема слияния людских потоков

Задержка эвакуации людей.

Задержка людей в начале i -го участка наблюдается при:

$$Q_i \leq Q_{i-1} \quad (53)$$

Если значение q_i , определенное по формуле (52), больше q_{max} , то ширину b_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие:

$$q_i \leq q_{max} \quad (54)$$

В этом случае время движения по участку i определяется по формуле:

$$t_1 = \frac{l_i}{v_i} \quad (55)$$

При невозможности выполнения условия (54) интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути i определяют по табл. 21 при значении $D=0,9$ и более. При этом должно учитываться время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

Время задержки на i -ом участке определяется как разность времени эвакуации с учетом пропускной способности участков пути:

$$\Delta\tau_i = \tau_i - \tau_{i-1} \quad (56)$$

Время эвакуации людей по i -му участку при количестве людей N_i и предельной пропускной способности участка пути Q_{np} определяется по

формуле:

$$\tau_i = \frac{N_i \cdot f}{Q_{np}} = \frac{N_i \cdot f}{q_{np} \cdot b_i} \quad (57)$$

где q_{np} – интенсивность движения людей при предельной плотности $D \geq 0,9$, м/мин.

Аналогично для предшествующих эвакуационных путей:

$$\tau_{i-1} = \frac{N_i \cdot f}{\sum_{i-1} Q_{i-1}} = \frac{N_i \cdot f}{\sum_{i-1} q_{i-1} \cdot b_{i-1}} \quad (58)$$

Следовательно, время задержки эвакуации:

$$\Delta\tau = \tau_i - \tau_{i-1} = N_i \cdot f \left[\frac{1}{q_{np} \cdot b_i} - \frac{1}{\sum_{i-1} q_{i-1} \cdot b_{i-1}} \right] \quad (59)$$

Расчетное время эвакуации с i -го участка, на котором образовалось скопление людей в этом случае будет равно:

$$\tau_i = \frac{l_i}{v_{np}} + \Delta\tau_i \quad (60)$$

где v_{np} - скорость движения при предельной плотности ($D \geq 0,9$), м/мин; $\Delta\tau_i$ - время задержки движения на i -ом участке, мин.

Условие задачи

Определить расчетное время эвакуации людей в зимней одежде в количестве 579 чел. из секции зала универсального магазина. Торговое оборудование в секции расположено рядами (см. рис. 11). Геометрические размеры участок указаны в табл. 22.

Таблица 22

Геометрические размеры участков

№ участка	Длина, м	Ширина, м
1 (проходы между стеллажами)	44	2
2-6	3	4
7	1	4

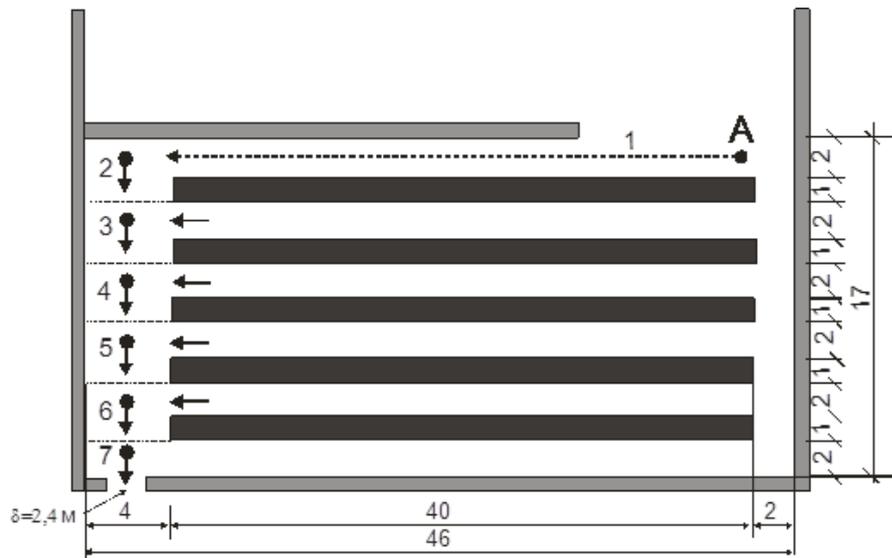


Рисунок 11. Расчетная схема планировки секции универмага

Варианты ответов

- (!) 3,3 мин
- (?) 5,3 мин
- (?) 4,3 мин
- (?) 2,3 мин
- (?) 1,3 мин

Указание или анализ (подсказка)

Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий устанавливается по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей. При расчете весь путь движения людского потока подразделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной l_i и шириной b_i . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п. При определении расчетного времени длина и ширина каждого участка пути эвакуации принимаются по проекту. Длина пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельным участком горизонтального пути, имеющим конечную длину l_i .

Расчетное время эвакуации людей (t_p) следует определять, как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (61)$$

где t_1 - время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин; t_2, t_3, t_i - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути мин.

Полное решение задачи

Путь эвакуации от наиболее удаленной от выхода точки А до выхода наружу подразделяется на семь участков, в пределах которых ширина пути и интенсивность движения могут быть приняты неизменными. Людские потоки из проходов сливаются с потоком, двигающимся по сборному проходу и направляются к выходу шириной 2,4 м.

Средняя плотность людского потока, размещенного на площади секции универмага составляет:

$$D_{cp} = \frac{N \cdot f}{F_{секц} - F_{обор}} = \frac{579 \cdot 0,125}{782 - 200} = 0,1 \text{ чел/м}^2$$

Рассчитаем время прохождения каждого участка пути:

Участок 1 (проход):

$$D_1 = D_{cp} = 0,1 \text{ чел/м}^2$$

По таблице 21: $q_1 = 8$ м/мин.; $v_1 = 80$ м/мин.

$$\tau_1 = \frac{l_1}{v_1} = \frac{44}{80} = 0,55 \text{ мин.}$$

Участок 2 (расширение пути):

$$q_2 = \frac{q_1 \cdot \delta_1}{\delta_2} = \frac{8 \cdot 2}{4} = 4 \text{ м/мин.}$$

По таблице 21: $v_2 \approx 100$ м/мин.

$$\tau_2 = \frac{l_2}{v_2} = \frac{3}{100} = 0,03 \text{ мин.}$$

Участок 3 (слияние потоков):

$$q_3 = \frac{q_2 \cdot \delta_2 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_3} = \frac{4 \cdot 4 + 8 \cdot 2}{4} = 8 \text{ м/мин.}$$

Т.к. $q_3 < q_{max}$ (16,5 м/мин), то по таблице 21 находим: $v_3 = 80$ м/мин.

$$\tau_3 = \frac{l_3}{v_3} = \frac{3}{80} = 0,04 \text{ мин.}$$

Участок 4 (слияние потоков):

$$q_4 = \frac{q_3 \cdot \delta_3 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_4} = \frac{8 \cdot 4 + 8 \cdot 2}{4} = 12 \text{ м/мин.}$$

Т.к. $q_4 < q_{max}$ (16,5 м/мин), то по таблице 21 находим: $v_4 = 60$ м/мин.

$$\tau_4 = \frac{l_4}{v_4} = \frac{3}{60} = 0,05 \text{ мин.}$$

Участок 5 (слияние потоков):

$$q_5 = \frac{q_4 \cdot \delta_4 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_5} = \frac{12 \cdot 4 + 8 \cdot 2}{4} = 16 \text{ м/мин}$$

Т.к. $q_5 < q_{max}$ (16,5 м/мин), то по таблице 21 находим: $v_5 = 40$ м/мин.

$$\tau_5 = \frac{l_5}{v_5} = \frac{3}{40} = 0,08 \text{ мин.}$$

Участок 6 (слияние потоков):

$$q_6 = \frac{q_5 \cdot \delta_5 + q_1 \cdot \delta_1}{\delta_6} = \frac{16 \cdot 4 + 8 \cdot 2}{4} = 19 \text{ м/мин} > q_{max} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

Таким образом на участках 6 и 7 образуются скопления.

Время задержки на i -ом участке пути эвакуации, на котором интенсивность движения людского потока $q_i > q_{max} = 16,5$ м/мин.

$$\Delta \tau_i = \tau_i - \tau_{i-1} = N_i \cdot f \left[\frac{1}{q_{np} \cdot \delta_i} - \frac{1}{\sum_{i-1} q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}} \right],$$

где N_i – количество людей перед началом i -го участка, где образуется скопление.

$q_{np} = q(D > 0,9) = 8,5$ м/мин, δ_i – ширина i -го участка.

Время задержек движения на участках 6 и 7.

На участке 6:

$$\Delta\tau_6 = N_6 \cdot f \cdot \left[\frac{1}{q_{np} \cdot \delta} - \frac{1}{q_{np} \cdot \delta + q_1 \cdot \delta_1} \right] = \frac{5N}{6} \cdot 0,1 \cdot \left[\frac{1}{13,5 \cdot 4} - \frac{1}{13,5 \cdot 4 + 8 \cdot 2} \right] =$$

$$= \frac{5 \cdot 579}{6} \cdot 0,1 \cdot \left[\frac{1}{13,5 \cdot 4} - \frac{1}{13,5 \cdot 4 + 8 \cdot 2} \right] = 0,2 \text{ мин.}$$

На участке 7:

$$\Delta\tau_7 = N_7 \cdot f \cdot \left[\frac{1}{q_{np} \cdot \delta} - \frac{1}{q_{np} \cdot \delta + q_1 \cdot \delta_1} \right] = N \cdot 0,1 \cdot \left[\frac{1}{8,5 \cdot 4} - \frac{1}{8,5 \cdot 4 + 8 \cdot 2} \right] =$$

$$= 579 \cdot 0,1 \cdot \left[\frac{1}{8,5 \cdot 4} - \frac{1}{8,5 \cdot 4 + 4 \cdot 2} \right] = 0,3 \text{ мин.}$$

Общее время задержки:

$$\Delta\tau_{6-7} = \Delta\tau_6 + \Delta\tau_7 = 0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ мин.}$$

Время движения по участкам 6 и 7:

$$\tau_{6-7} = \frac{l_6 + l_7}{v_{np}^{гориз}} = \frac{3 + 1}{15} = 0,27 \text{ мин.}$$

Общее время движения по участкам 6-7 с учетом задержек:

$$\tau_{6-7}^{общ} = \tau_{6-7} + \Delta\tau_{6-7} = 0,27 + 0,5 = 0,78 \text{ мин.}$$

Посмотрим, возникает ли задержка при движении через дверной проём:

$$q_{дв} = \frac{q_{np}^{гориз} \cdot \delta}{\delta_{дв}} = \frac{13,5 \cdot 4}{2,4} = 22,5 \text{ м/мин.} > q_{дв}^{\max} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Таким образом, перед дверью образуется скопление людей с задержкой движения.

Следовательно, движение через дверной проем будем осуществляться с предельной для дверного проема интенсивностью $q_{дв}^{np} = 8,5 \text{ м/мин.}$

$$\Delta\tau_{дв} = N \cdot f \cdot \left(\frac{1}{q_{дв}^{np} \cdot \delta_{дв}} - \frac{1}{q_{гориз}^{np} \cdot \delta} \right) = 579 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{1}{8,5 \cdot 2,4} - \frac{1}{13,5 \cdot 4} \right) = 1,8 \text{ мин.}$$

Общее время эвакуации до выхода из торгового зала составит:

$$\tau_1^{расч} = \sum_{i=1}^4 \tau_i + \tau_{5-7}^{общ} + \Delta\tau_{дв} = 0,55 + 0,03 + 0,04 + 0,05 + 0,08 + 0,78 + 1,8 = 3,3 \text{ мин.}$$

Ответ: расчетное время эвакуации людей из торгового зала составляет 3,3 мин.

Задания для самостоятельного решения

Определить расчетное время эвакуации людей в зимней одежде в количестве 579 чел. из секции зала универсального магазина. Торговое оборудование в секции расположено рядами см рис. 12.

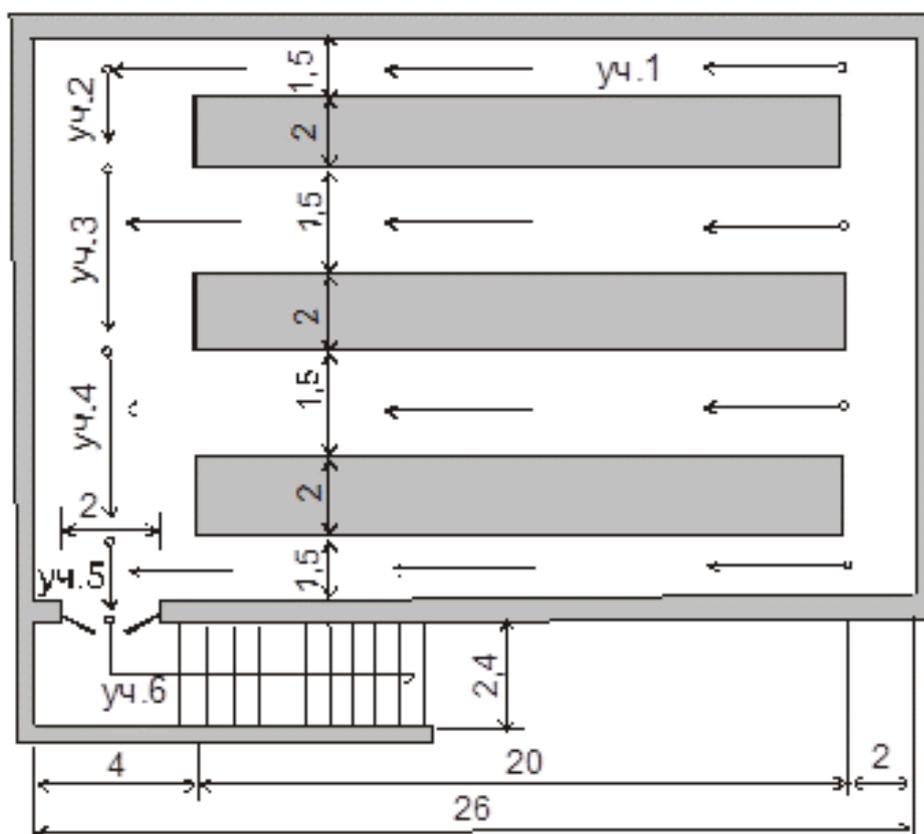


Рисунок 12. Расчетная схема эвакуации людей из зала торгового центра

Таблица 23

Варианты заданий

Вариант а	Объем секции, м ³	Площадь секции, F _{сек.} , м ²	Площадь под оборудование F _{об.} , м ²	Ширина прохода на участке 1, δ ₁ , м	Длина прохода на участке 1, l ₁ , м	Ширина лестничной клетки, δ _л , м	Длина лестничного марша l _л , м
1	1350	300	120	1,5	15	2,4	3,2
2	1500	318	130	1,5	20	2,4	3,6
3	1250	215	110	1,5	15	2,4	2,8
4	1870	312	125	1,5	15	2,4	3,8
5	1780	200	110	1,5	22	2,4	2,5
6	1600	210	135	1,5	18	2,4	3,4
7	1000	180	80	1,5	18	2,4	3,2
8	1100	150	90	1,5	15	2,4	2,8
9	1950	260	100	1,5	15	2,4	3,2

10	1785	200	111	1,5	22	2,4	2,5
----	------	-----	-----	-----	----	-----	-----

Практическое занятие №10. Опасные факторы пожара. Расчет необходимого времени эвакуации с учетом воздействия опасного фактора

Методические указания к решению задачи

Необходимое время эвакуации ($\tau_{нб}$) – время, по истечению которого при пожаре на уровне рабочей зоны появляются опасные для жизни и здоровья людей факторы пожара (ОФП).

Высота рабочей зоны (см. рис. 13):

$$h = h_{нл} + 1,7 - 0,5\delta, \quad (62)$$

где $h_{нл}$ – высота площадки, на которой находятся люди, м; δ – разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

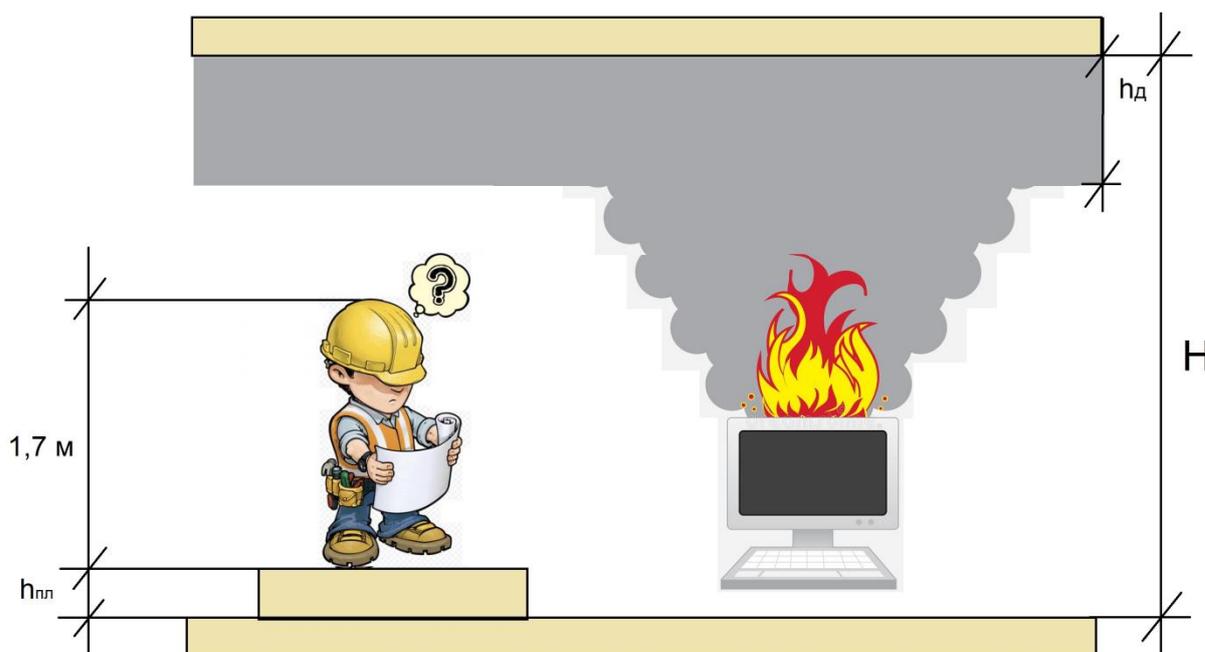


Рисунок 13. Схема рабочей зоны.

Следует иметь в виду, что наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на более высокой отметке. Поэтому, например, при определении необходимого времени эвакуации людей из партера зрительного зала с наклонным полом значение h следует находить, ориентируясь на наиболее высоко расположенные ряды кресел.

Опасные факторы пожара

Согласно п.1.5 ГОСТ 12.1.004 опасными факторами, воздействующими на людей являются:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

Температура среды

Наибольшую опасность представляет вдыхание нагретого воздуха, приводящее к поражению верхних дыхательных путей, удушью и смерти. Критической температурой по ГОСТ 12.1.004 принята температура в 70°C. В качестве критических значений опасных факторов пожара принимают не смертельно опасные значения, а такие, при которых происходит потеря способности к движению.

Лучистые потоки

В некоторых случаях опасность для людей могут представлять лучистые потоки. Исследованиями установлено, что при пожаре в сценической коробке зрелищного предприятия лучистые потоки представляют для зрителей первых рядов партера уже через 0,5 мин. Пожара. Еще большая интенсивность лучистых потоков наблюдается при пожарах технологических установок. В некоторых случаях человек без специальных средств защиты не в состоянии приблизиться к таким установкам ближе 10 м.

Опасные для человека значения лучистых потоков приведены в табл. 24.

Таблица 24

Значения лучистых потоков

Интенсивность тепловой радиации, Вт/м ²	840	1400	2100	2800	3500	7000	8750
Время переносимости, с	360	150	40-60	30-40	10-30	5-11	3-8

Критическим значением лучистого потока является величина 3000 Вт/м² (3

кВт/м²).

Токсичные продукты горения

При пожарах в современных зданиях с применением полимерных и синтетических материалов на человека могут воздействовать токсичные продукты горения. Хотя в продуктах горения нередко содержится 50-100 видов химических соединений, оказывающих токсическое воздействие, по мнению большинства ученых разных стран, основной причиной гибели людей при пожарах является отравление окисью углерода. Критическую концентрацию окиси углерода в воздухе принимают равной 3,6 г/м³. При такой концентрации через несколько минут воздействия теряется координация движений и эвакуация становится невозможной. Для определения необходимого времени эвакуации надо знать критические значения ОФП и, кроме того, уметь определять время появления этих значений при пожаре.

Потеря видимости вследствие задымления

Кратковременность процесса эвакуации обеспечивается лишь при беспрепятственном движении людей. Во время движения люди обязательно должны четко видеть или эвакуационные выходы, или указатели выходов. При потере видимости организованное движение людей нарушается и становится хаотичным, каждый человек, по-видимому, будет двигаться в произвольно выбранном направлении. В результате процесс эвакуации затрудняется или даже становится невозможным. Психологическое воздействие дыма заключается в том, что люди отказываются вступить в зону видимого дыма даже в тех случаях, когда он достаточно разбавлен и относительно безопасен.

Время начала эвакуации людей из зданий

Значение времени начала эвакуации ($\tau_{н.э}$) для зданий (сооружений) без систем оповещения вычисляют по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При наличии в здании системы оповещения о пожаре значение $\tau_{н.э}$ принимают равной времени срабатывания системы с учетом ее инерционности.

При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину $\tau_{н.э}$, следует принимать равной 0,5 мин – для этажа пожара и 2 мин – для вышележащих этажей.

Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то $\tau_{н.э}$ допускается принимать равным нулю.

Расчет необходимого времени эвакуации из рассматриваемого помещения ($\tau_{н.э}$) производится для наиболее опасного варианта развития пожара, характеризующегося наибольшим темпом нарастания ОФП в рассматриваемом помещении. Сначала рассчитывают значения критической продолжительности пожара ($t_{кр}$) по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне):

по повышенной температуре:

$$t_{кр}^T = \left[\frac{B}{A} \ln \left(1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}}, \quad B = \frac{353 \cdot C_p \cdot V}{(1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q} \quad (63)$$

по потере видимости:

$$t_{кр}^{n.в.} = \left[\frac{B}{A} \ln \left(1 - \frac{V \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{np} \cdot B \cdot D_m \cdot Z} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (64)$$

по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{кр}^{O_2} = \left[\frac{B}{A} \ln \left(1 - \frac{0,044}{(0,27 + \frac{B \cdot L_{O_2}}{V})Z} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (65)$$

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения:

$$t_{кр}^{m.n.} = \left[\frac{B}{A} \ln \left(1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (66)$$

где B – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг; t_0 – начальная температура воздуха в

помещения, °С; n – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени; A – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг·с⁻¹; Z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения; Q – низшая теплота сгорания материала, МДж/кг⁻¹; C_p – удельная изобарная теплоемкость газа МДж·кг⁻¹·К⁻¹ ($C_p=0,00132$ МДж·кг⁻¹·К⁻¹); φ – коэффициент теплопотерь; η – коэффициент полноты горения; V – свободный объем помещения, м³, α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации; E – начальная освещенность, лк; l_{np} – предельная дальность видимости в дыму, м; D_m – дымообразующая способность горящего материала, м²/кг⁻¹; L – удельный выход газов при сгорании 1 кг материала, кг/кг⁻¹; X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, кг/м³ ($X_{CO_2}=0,11$ кг/м³; $X_{CO}=1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³; $X_{HCL}=23 \cdot 10^{-6}$ кг/м³); L_{O_2} – удельный расход кислорода, кг/кг⁻¹.

При отсутствии специальных требований значения α и E принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а значение $l_{np}=20$ м.

Исходные данные для проведения расчетов могут быть взяты из справочной литературы.

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный ОФП не представляет опасности. Параметр Z вычисляют по формуле:

$$Z = \frac{h}{H} \exp\left(\frac{1,4 \cdot h}{H}\right), \text{ при } H \leq 6 \text{ м} \quad (67)$$

где h – высота рабочей зоны, м; H – высота помещения, м.

Параметры A и n вычисляют так:

– для случая горения жидкости с установившейся скоростью с фиксированной площади:

$$A = \psi_F F, n=1 \quad (68)$$

где ψ_F – удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг·м⁻²·с⁻¹; F – площадь горения, м².

– для кругового распространения пожара:

$$A = 1,05\psi_F v^2, n=3 \quad (69)$$

где v – линейная скорость распространения пламени, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

– для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени (например, распространение огня в горизонтальном направлении по занавесу после охвата его пламенем по всей высоте) (рис. 14):

$$A = \psi_F v b, n=2 \quad (70)$$

где b – перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м .

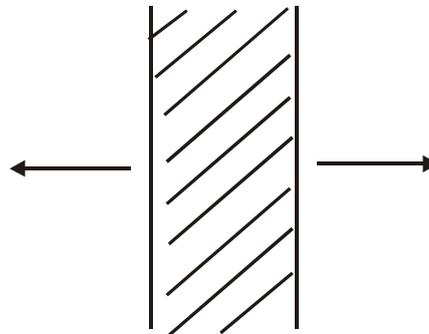


Рисунок 14. Распространение огня в горизонтальном направлении.

Из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара выбирается минимальное:

$$\tau_{кр} = \min\{\tau_{кр}^T, \tau_{кр}^{НВ}, \tau_{кр}^{O2}, \tau_{кр}^{НГ}\} \quad (71)$$

Необходимое время эвакуации людей ($\tau_{нб}$), мин, из рассматриваемого помещения рассчитывают по формуле:

$$\tau_{нв} = \frac{0,8\tau_{кр}}{60}, \quad (72)$$

где 0,8 – коэффициент запаса.

При расположении людей на различных по высоте площадках необходимое время эвакуации следует определять для каждой площадки.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов,

находящихся внутри. Если рассчитывать свободный объем невозможно, допускается принимать его равным 80% геометрического объема.

Требуемое время эвакуации с учетом задержки начала эвакуации составит:

$$\tau_{эв} = \tau_{нб} - \tau_{н.э.} \quad (73)$$

Условие задачи

Определить необходимое время эвакуации людей по условию по условию снижения концентрации кислорода до минимально допустимого уровня.

Размеры помещения: в плане 90×60 м, высота этажа $H=4$ м. Возможная площадь поверхности горения $F_{гор}=80$ м². Удельная массовая скорость выгорания дизельного топлива $\psi=0,048$ кг/(м²·с). Расход кислорода для сгорания 1 кг вещества $L_{O_2} = 3,34$ кг/кг. Низшая теплота сгорания $Q=43540$ кДж/кг. Рабочая зона работающих расположена на отметке $h=1,8$ м. Коэффициент теплопотерь $\varphi = 0,75$. Коэффициент теплоты горения $\eta=0,5$, удельная изобарная теплоемкость $C_p=1,32$ кДж/(кг·К).

Варианты ответов

(!) 38 с

(?) 28 с

(?) 58 с

(?) 68 с

(?) 78 с

Указание или анализ (подсказка)

Для определения τ_n используем формулу (65), предварительно определив значения комплекса B и параметров A и Z : при горении жидкости с установившейся скоростью разлитой на площади $F_{гор}$

Примечание: После подстановки значений указанных размерностей в формулы (63) - (66) $t_{кр}$ получается в секундах!

Полное решение задачи

$A = \psi_F \cdot F_{гор}$, при этом $n = 1$.

$A = 0,048 \cdot 80 = 3,84$ кг/с

$$B = \frac{353 \cdot C_p \cdot V_{ном}}{(1-\varphi) \cdot \eta \cdot Q} = \frac{353 \cdot 0,00132 \cdot (0,8 \cdot 90 \cdot 60 \cdot 4)}{(1-0,75) \cdot 0,5 \cdot 43,54} = 1479,43 \text{ кг}$$

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(\frac{1,4 \cdot h}{H}\right) = \frac{1,8}{4} \exp\left(\frac{1,4 \cdot 1,8}{4}\right) = 0,845$$

$$\tau_n = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(0,27 + \frac{B \cdot L_{O_2}}{V_{ном}}\right) \cdot Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{1479,43}{3,84} \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(0,27 + \frac{1479,43 \cdot 3,34}{17280}\right) \cdot 0,845} \right]^{-1} \right\}^{1/1} = 38 \text{ с}$$

Ответ: $\tau_n = 38 \text{ с}$.

Задания для самостоятельного решения

Определить необходимое время эвакуации людей по условию по условию потери видимости.

Таблица 25

Варианты заданий

Вариант	Размеры, м	H, м	h, м	v, м/с	ψ, кг/(м·с)	Q, кДж/кг	η	φ	D _m , м ² /кг	C _p , кДж/(кг·К)
1	30x10	3	1,7	0,05	0,0035	40000	0,5	0,75	300	1,32
2	40x15	6	1,7	0,05	0,0035	45000	0,5	0,75	330	1,32
3	30x26	3	1,7	0,05	0,0035	40700	0,5	0,75	350	1,32
4	20x13	6	1,7	0,05	0,0035	41000	0,5	0,75	400	1,32
5	20x10	3	1,7	0,05	0,0035	40030	0,5	0,75	200	1,32
6	25x15	6	1,7	0,05	0,0035	50000	0,5	0,75	260	1,32
7	30x20	3	1,7	0,05	0,0035	42000	0,5	0,75	280	1,32
8	45x10	6	1,7	0,05	0,0035	55000	0,5	0,75	450	1,32
9	30x11	3	1,7	0,05	0,0035	54600	0,5	0,75	540	1,32
10	30x15	6	1,7	0,05	0,0035	40900	0,5	0,75	380	1,32

Практическое занятие №11. Разработка плана эвакуации эксплуатируемого здания (сооружения)

Методические указания к решению задачи

Планы эвакуации могут быть этажными, секционными, локальными и сводными (общими).

Этажные планы эвакуации разрабатывают для этажа в целом.

Секционные планы эвакуации следует разрабатывать:

- если площадь этажа более 1000 м²;

- при наличии на этаже нескольких обособленных эвакуационных выходов, отделенных от других частей этажа стеной, перегородкой;

- при наличии на этаже раздвижных, подъемно-опускных и вращающихся дверей, турникетов;

- при сложных (запутанных или протяженных) путях эвакуации.

Вторые экземпляры этажных (секционных) планов эвакуации, относящихся к одному зданию, сооружению, транспортному средству или объекту, включают в сводный (общий) план эвакуации для здания, сооружения, транспортного средства или объекта в целом.

Сводные планы эвакуации следует хранить у дежурного и выдавать по первому требованию руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации.

Локальные планы эвакуации следует разрабатывать для отдельных помещений (номеров гостиниц, общежитий, больничных палат, кают пассажирских судов и т.п.).

При проведении работ по реконструкции или перепланировке здания, сооружения, транспортного средства, объекта в план эвакуации должны быть внесены соответствующие изменения.

Планы эвакуации должны состоять из графической и текстовой частей. Графическая часть должна включать в себя этажную (секционную) планировку здания, сооружения, транспортного средства, объекта с указанием:

а) путей эвакуации;

б) эвакуационных выходов и (или) мест размещения спасательных средств;

в) аварийных выходов, незадымляемых лестничных клеток, наружных открытых лестниц и т.п.;

г) места размещения самого плана эвакуации в здании, сооружении, транспортном средстве, объекте;

д) мест размещения спасательных средств, обозначаемых знаками безопасности и символами ИМО;

е) мест размещения средств противопожарной защиты, обозначаемых знаками пожарной безопасности и символами ИМО.

Цветографические изображения знаков безопасности, символов ИМО и знаков безопасности (символов) отраслевого назначения на планах эвакуации должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 12.4.026, Резолюций ИМО А.654 (16), А.760 (18) и нормативным документам отраслевого назначения.

Знаки безопасности и символы могут быть дополнены цифровыми, буквенными или буквенно-цифровыми обозначениями.

Высота знаков безопасности и символов на плане эвакуации должна быть от 8 до 15 мм, на одном плане эвакуации они должны быть выполнены в едином масштабе. При необходимости конкретизации признаков (технических характеристик) средств противопожарной защиты, обозначаемых на планах эвакуации, допускается применять условные графические обозначения по ГОСТ 28130 «Огнетушители, установки пожаротушения и пожарной сигнализации».

Для знаков безопасности, символов и условных графических обозначений должны быть даны пояснения их смыслового значения в текстовой части плана эвакуации.

На этажных планах эвакуации в графической части должен быть указан номер этажа.

В текстовой части следует излагать:

- способы оповещения о возникновении чрезвычайной ситуации (пожара, аварии и др.);
- порядок и последовательность эвакуации людей;
- обязанности и действия людей, в том числе порядок вызова пожарных или аварийно-спасательных подразделений, экстренной медицинской помощи и др.;
- порядок аварийной остановки оборудования, механизмов, отключения электропитания и т.п.;

- порядок ручного (дублирующего) включения систем (установок) пожарной и противоаварийной автоматики.

Текстовая часть планов эвакуации должна содержать инструкции о действиях в условиях чрезвычайной ситуации (при пожаре, аварии и т.п.), дополненные для наглядности знаками безопасности и символами в соответствии с перечислениями д) и е).

Размеры планов эвакуации выбирают, мм не менее:

600×400 - для этажных и секционных планов эвакуации;

400×300 - для локальных планов эвакуации.

Размер плана эвакуации выбирается в зависимости от его назначения, площади помещения, количества эвакуационных и аварийных выходов.

Пути эвакуации, ведущие к основным эвакуационным выходам, следует обозначать сплошной линией зеленого цвета с указанием направления движения. Пути эвакуации, ведущие к запасным эвакуационным выходам, следует обозначать штриховой линией зеленого цвета с указанием направления движения.

Планы эвакуации следует выполнять на основе фотолюминесцентных материалов. Допускается использовать для выполнения планов эвакуации несветящиеся материалы, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 12.4.026 «Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний», установленным к несветящимся материалам.

Фон плана эвакуации должен быть:

– желтовато-белым или белым - для фотолюминесцентных материалов;

– белым - для несветящихся материалов.

Надписи и графические изображения на плане эвакуации (кроме знаков безопасности и символов) должны быть черного цвета независимо от фона.

Шрифт надписей на плане эвакуации по ГОСТ Р 12.4.026. Высота шрифта - не менее 5 мм.

Планы эвакуации следует вывешивать на стенах помещений и коридоров, на колоннах и т.п. в строгом соответствии с местом размещения, указанным на самом плане эвакуации.

Преобразователи света как элементы ФЭС применяют в целях:

- визуализации предметов и объектов оперативного опознания в условиях темноты;

- освещения пути эвакуации.

Экраны светового фона размещают на стенах, полу, потолке и в местах нахождения объектов оперативного опознания. Экраны светового фона выполняют на основе фотолюминесцентных пленок, пластиков, керамических или полимерных плит, а также фотолюминесцентных лакокрасочных материалов. Химические источники света (ХИС) размещают в фотолюминесцентных пеналах на стенах коридоров и помещений, а также на рабочих местах.

Лампы длительного послесвечения применяют в качестве источников света в светильниках различного назначения, стационарного и нестационарного исполнений (потолочных, настенных, подвесных, напольных, ручных и т.п.).

Условие задачи

Разработать план эвакуации для испытательной лаборатории (ИЛ) производственной безопасности НИУ МГСУ с общей площадью 900 м² без использования фотолюминесцентных материалов.

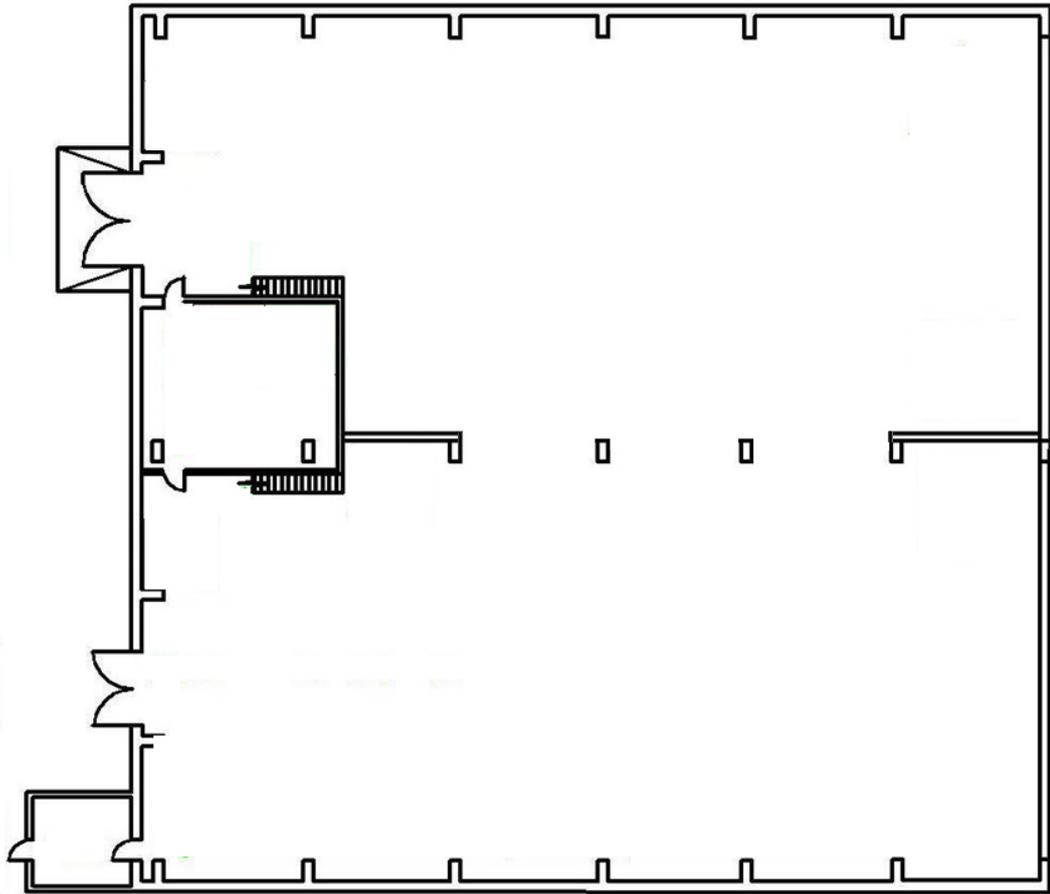
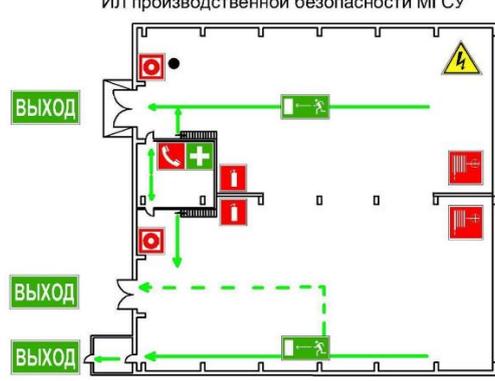


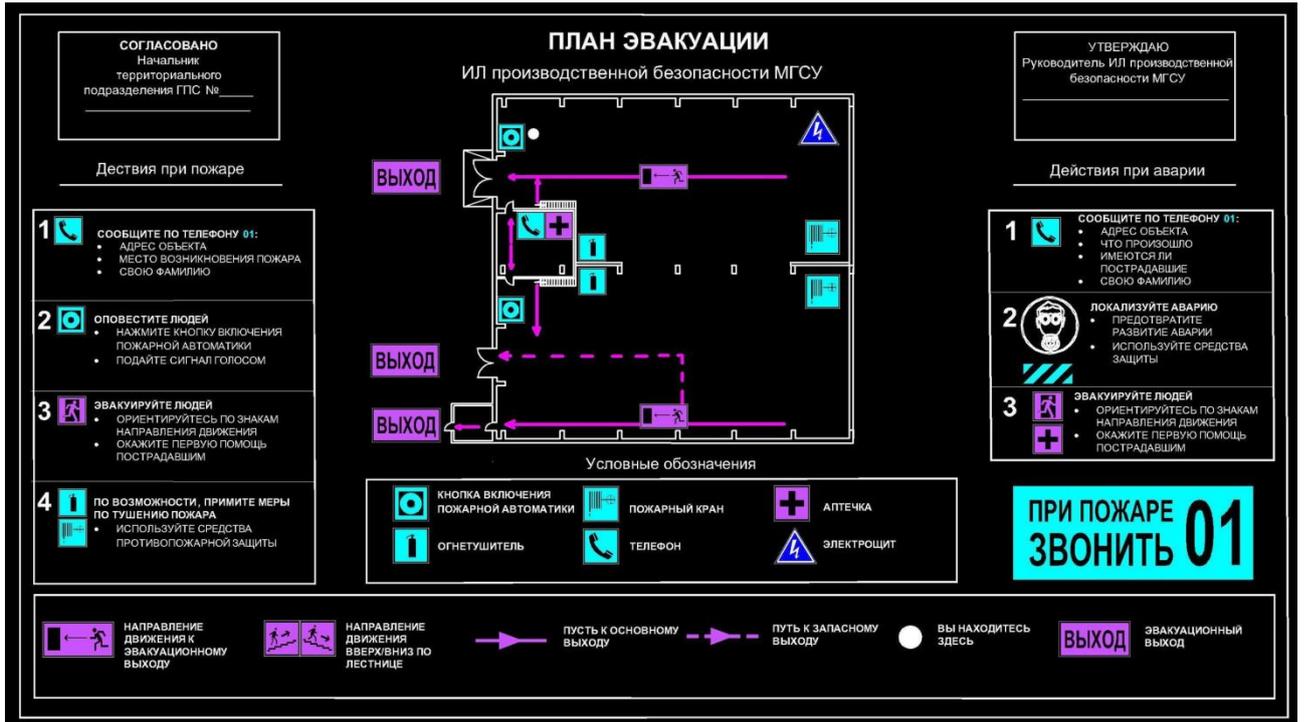
Рисунок 15. Схема помещения ИЛ

Варианты ответов

(!)

<p>СОГЛАСОВАНО Начальник территориального подразделения ГПС № _____</p>	<p>ПЛАН ЭВАКУАЦИИ ИЛ производственной безопасности МГСУ</p> 	<p>УТВЕРЖДАЮ Руководитель ИЛ производственной безопасности МГСУ _____</p>						
<p>Действия при пожаре</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 СООБЩИТЕ ПО ТЕЛЕФОНУ 01: <ul style="list-style-type: none"> • АДРЕС ОБЪЕКТА • МЕСТО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА • СВОЮ ФИМИЛИЮ 2 ОПОВЕСТИТЕ ЛЮДЕЙ <ul style="list-style-type: none"> • НАЖМИТЕ КНОПКУ ВКЛЮЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ • ПОДАЙТЕ СИГНАЛ ГОЛОСОМ 3 ЭВАКУИРУЙТЕ ЛЮДЕЙ <ul style="list-style-type: none"> • ОРИЕНТИРУЙТЕСЬ ПО ЗНАКАМ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ • ОКАЖИТЕ ПЕРВУЮ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ 4 ПО ВОЗМОЖНОСТИ, ПРИМИТЕ МЕРЫ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРА <ul style="list-style-type: none"> • ИСПОЛЬЗУЙТЕ СРЕДСТВА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ 	<p>Условные обозначения</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td> КНОПКА ВКЛЮЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ</td> <td> ПОЖАРНЫЙ КРАН</td> <td> АПТЕЧКА</td> </tr> <tr> <td> ОГнетушитель</td> <td> ТЕЛЕФОН</td> <td> ЭЛЕКТРОЦИТ</td> </tr> </table>	КНОПКА ВКЛЮЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ	ПОЖАРНЫЙ КРАН	АПТЕЧКА	ОГнетушитель	ТЕЛЕФОН	ЭЛЕКТРОЦИТ	<p>Действия при аварии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 СООБЩИТЕ ПО ТЕЛЕФОНУ 01: <ul style="list-style-type: none"> • АДРЕС ОБЪЕКТА • ЧТО ПРОИЗОШЛО • ИМЕЮТСЯ ЛИ ПОСТРАДАВШИЕ • СВОЮ ФИМИЛИЮ 2 ЛОКАЛИЗИРУЙТЕ АВАРИЮ <ul style="list-style-type: none"> • ПРЕДОТВРАТИТЕ РАЗВИТИЕ АВАРИИ • ИСПОЛЬЗУЙТЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ 3 ЭВАКУИРУЙТЕ ЛЮДЕЙ <ul style="list-style-type: none"> • ОРИЕНТИРУЙТЕСЬ ПО ЗНАКАМ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ • ОКАЖИТЕ ПЕРВУЮ ПОМОЩЬ ПОСТРАДАВШИМ
КНОПКА ВКЛЮЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ	ПОЖАРНЫЙ КРАН	АПТЕЧКА						
ОГнетушитель	ТЕЛЕФОН	ЭЛЕКТРОЦИТ						
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td> НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ К ЭВАКУАЦИОННОМУ ВЫХОДУ</td> <td> НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВВЕРХ/НИЗ ПО ЛЕСТНИЦЕ</td> <td> ПУТЬ К ОСНОВНОМУ ВЫХОДУ</td> <td> ПУТЬ К ЗАПАСНОМУ ВЫХОДУ</td> <td> ВЫ НАХОДИТЕСЬ ЗДЕСЬ</td> <td> ВЫХОД ЭВАКУАЦИОННЫЙ ВЫХОД</td> </tr> </table>			НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ К ЭВАКУАЦИОННОМУ ВЫХОДУ	НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВВЕРХ/НИЗ ПО ЛЕСТНИЦЕ	ПУТЬ К ОСНОВНОМУ ВЫХОДУ	ПУТЬ К ЗАПАСНОМУ ВЫХОДУ	ВЫ НАХОДИТЕСЬ ЗДЕСЬ	ВЫХОД ЭВАКУАЦИОННЫЙ ВЫХОД
НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ К ЭВАКУАЦИОННОМУ ВЫХОДУ	НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВВЕРХ/НИЗ ПО ЛЕСТНИЦЕ	ПУТЬ К ОСНОВНОМУ ВЫХОДУ	ПУТЬ К ЗАПАСНОМУ ВЫХОДУ	ВЫ НАХОДИТЕСЬ ЗДЕСЬ	ВЫХОД ЭВАКУАЦИОННЫЙ ВЫХОД			
<div style="background-color: red; color: white; padding: 10px; display: inline-block; font-weight: bold; font-size: 1.2em;"> ПРИ ПОЖАРЕ ЗВОНИТЬ 01 </div>								

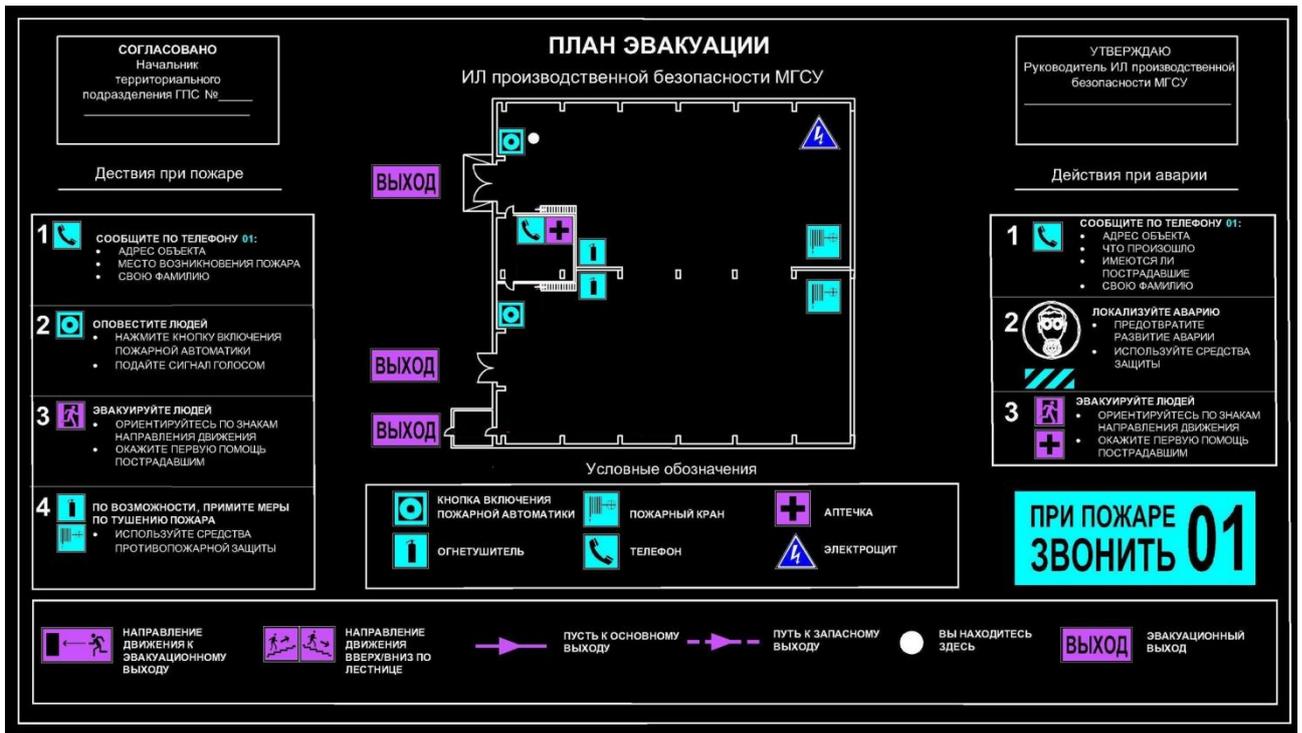
(?)



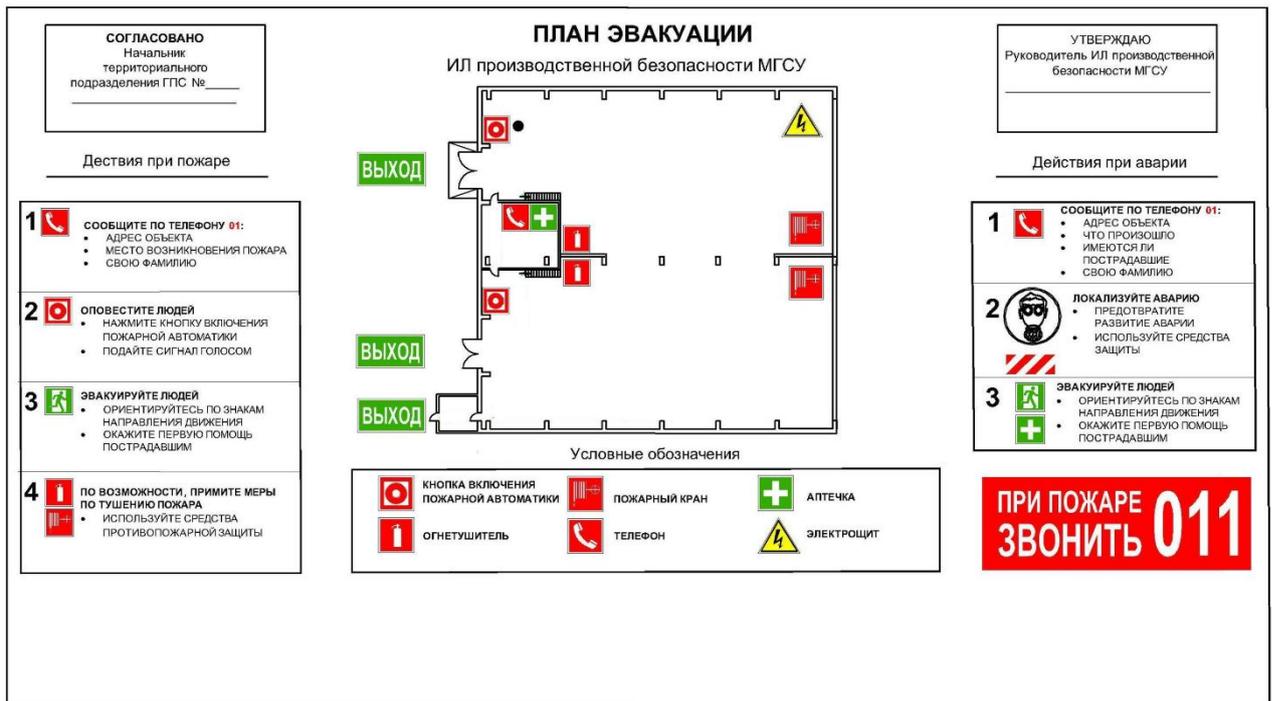
(?)



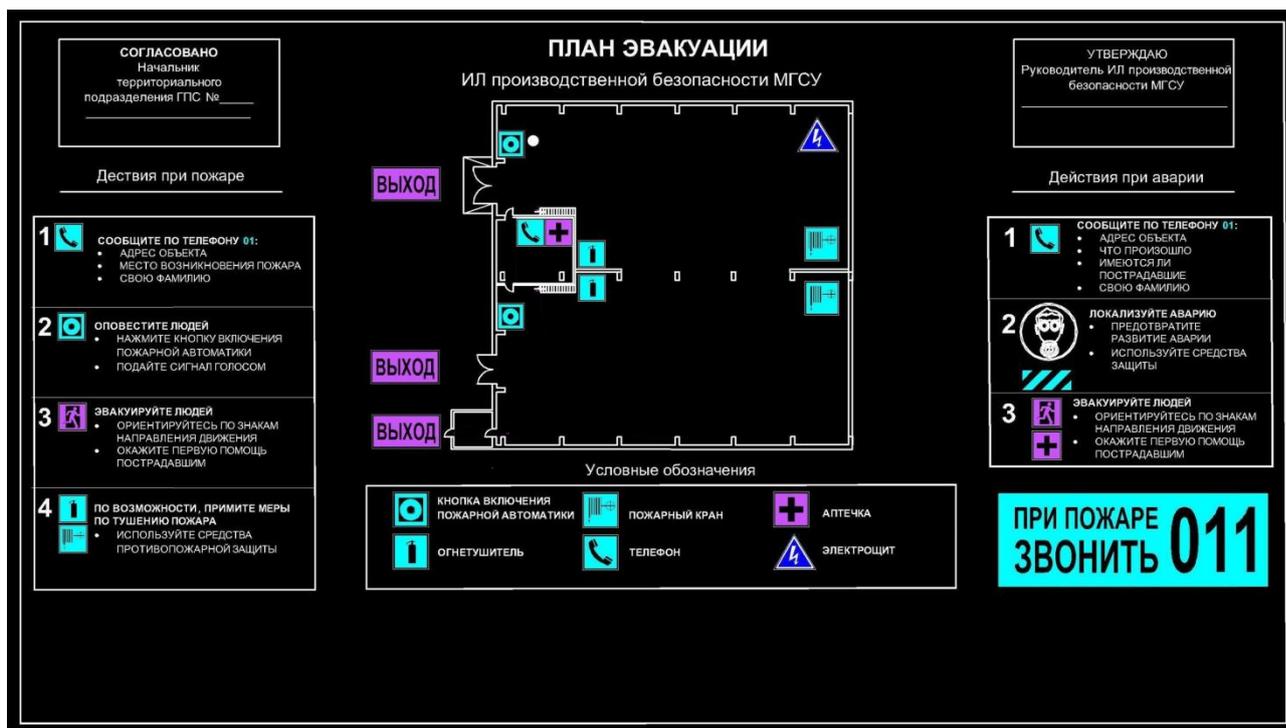
(?)



(?)



(?)



Указание или анализ (подсказка)

План эвакуации без использования фотолюминесцентных материалов разрабатывается на белом фоне.

Полное решение задачи

Т.к. площадь ИЛ меньше 1000 м² разрабатываем этажный план эвакуации.

План эвакуации должен состоять из графической и текстовой частей. Графическая часть должна включать в себя этажную (секционную) планировку здания с указанием:

- а) путей эвакуации;
- б) эвакуационных выходов и (или) мест размещения спасательных средств;
- в) аварийных выходов, незадымляемых лестничных клеток, наружных открытых лестниц и т.п.;
- г) места размещения самого плана эвакуации в здании, сооружении, транспортном средстве, объекте;
- д) мест размещения спасательных средств, обозначаемых знаками безопасности и символами ИМО;
- е) мест размещения средств противопожарной защиты, обозначаемых знаками пожарной безопасности и символами ИМО.

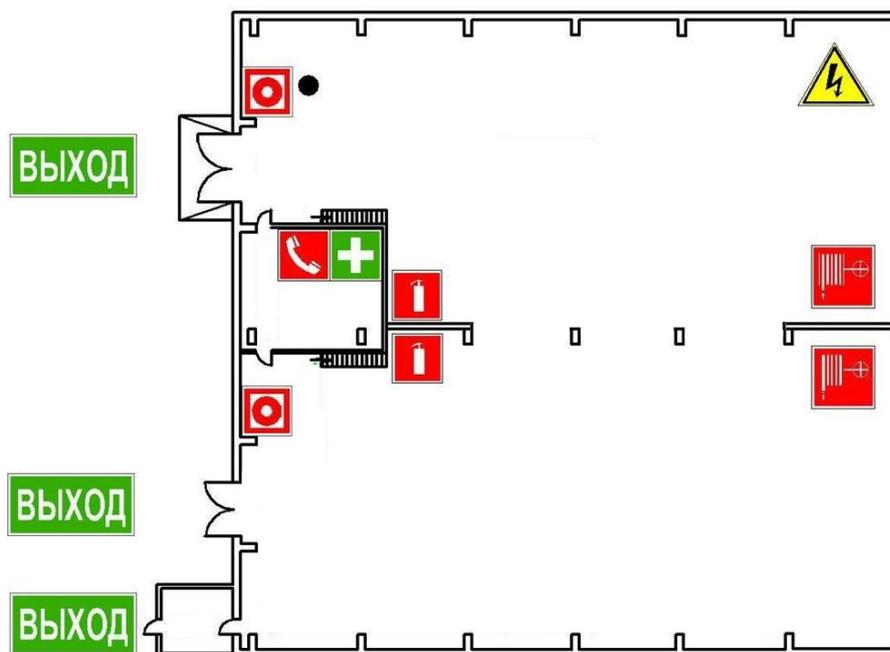


Рисунок 16. Условные обозначения на схеме помещения.

Пути эвакуации, ведущие к основным эвакуационным выходам, следует обозначать сплошной линией зеленого цвета с указанием направления движения.

Пути эвакуации, ведущие к запасным эвакуационным выходам, следует обозначать штриховой линией зеленого цвета с указанием направления движения.

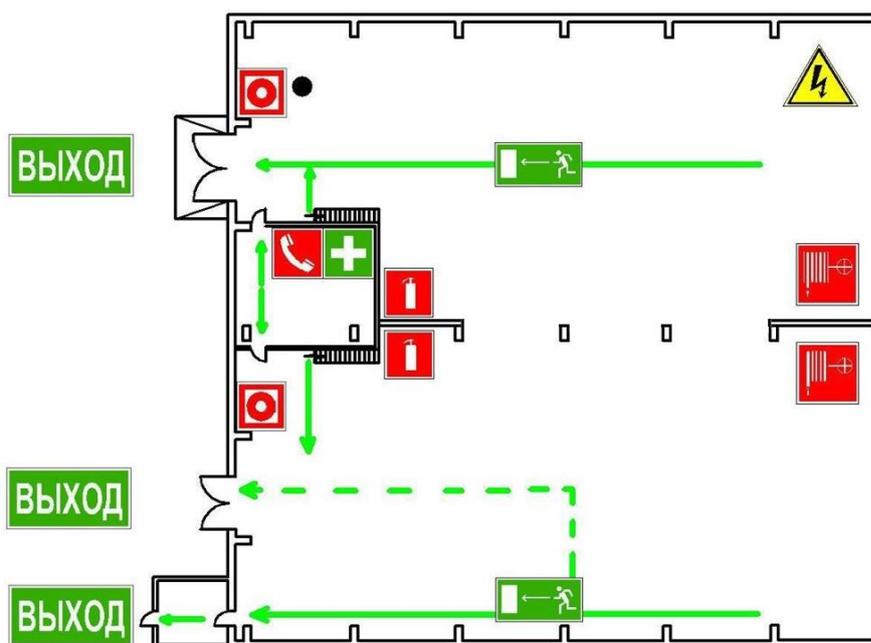


Рисунок 17. Пути эвакуации на схеме помещения.

В текстовой части следует излагать:

- способы оповещения о возникновении чрезвычайной ситуации (пожара, аварии и др.);
- порядок и последовательность эвакуации людей;
- обязанности и действия людей, в том числе порядок вызова пожарных или аварийно-спасательных подразделений;
- порядок аварийной остановки оборудования, механизмов, отключения электропитания и т.п.;
- порядок ручного (дублирующего) включения систем (установок) пожарной и противоаварийной автоматики.

Текстовая часть планов эвакуации должна содержать инструкции о действиях в условиях чрезвычайной ситуации (при пожаре, аварии и т.п.), дополненные для наглядности знаками безопасности и символами в соответствии с перечислениями д) и е).

Надписи и графические изображения на плане эвакуации (кроме знаков безопасности и символов) должны быть черного цвета независимо от фона.



Рисунок 18. План эвакуации ИЛ производственной безопасности МГСУ.

Задания для самостоятельного решения

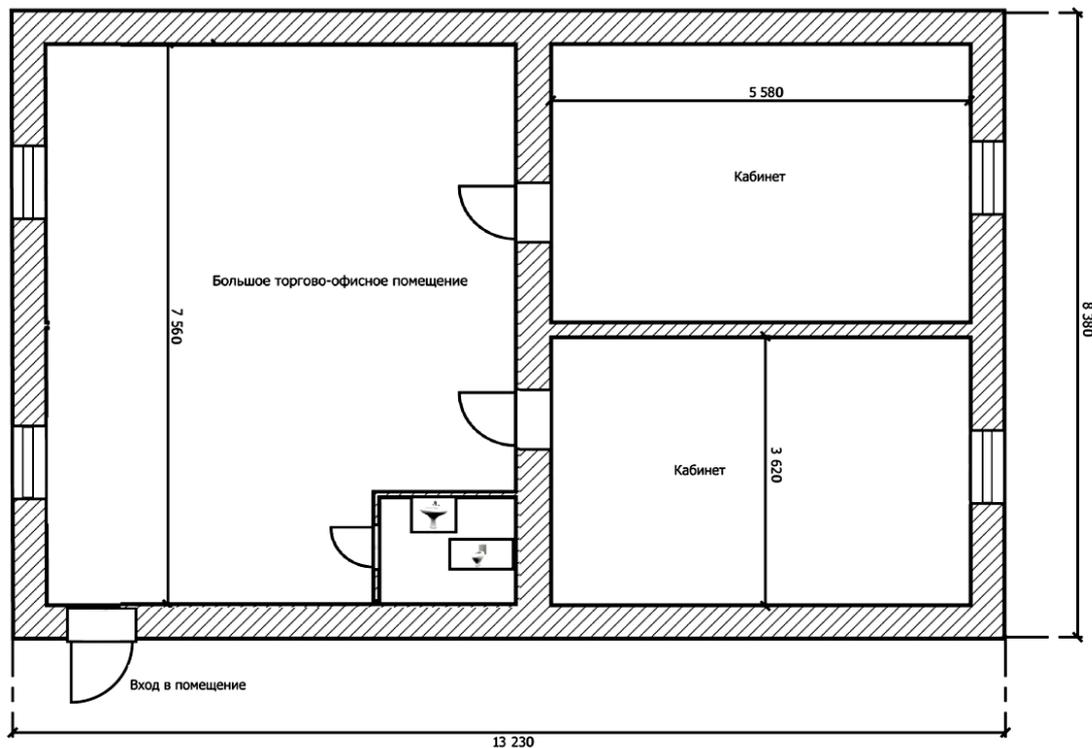
Разработать план эвакуации для представленного помещения. Варианты 2,4,6,8, 10 разрабатывают план эвакуации с использованием фотолюминесцентных материалов. Варианты 1,3,5,7,9 разрабатывают план эвакуации без использования фотолюминесцентных материалов.

Варианты заданий:

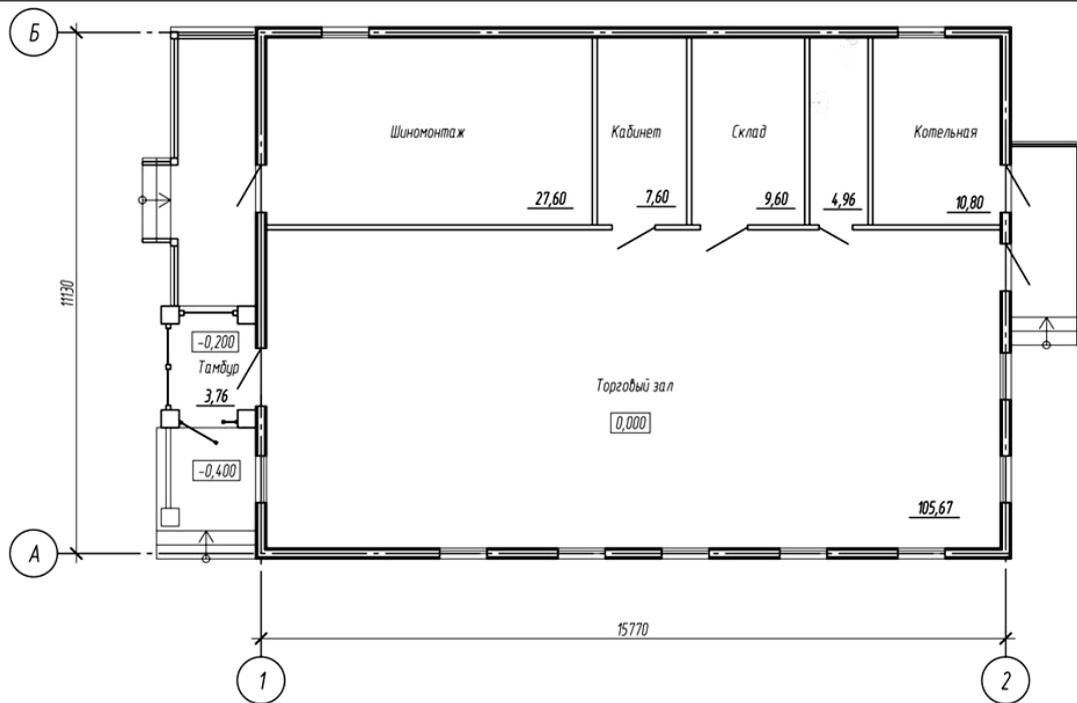
Вариант Т	Схема помещений
1, 2	<p>The diagram shows a floor plan with the following dimensions and room areas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Overall dimensions: 13 200 (width) x 7 500 (height). Main rooms and areas: <ul style="list-style-type: none"> Торговый зал: 65.58 Склад: 7.48 Коридор: 3.63 Санузел: 2.53 Техпомещение: 1.0 Dimensions and offsets: <ul style="list-style-type: none"> Left side: 1 200, 3 600, 3 600, 1 200 (total 9 600). Right side: 2 200, 3 400, 3 400, 700 (total 7 500). Bottom side: 1 200, 3 600, 8 400 (total 13 200). Internal offsets: 1 705, 2 544, 7 008, 9 400, 6 900, 100, 120.

3, 4

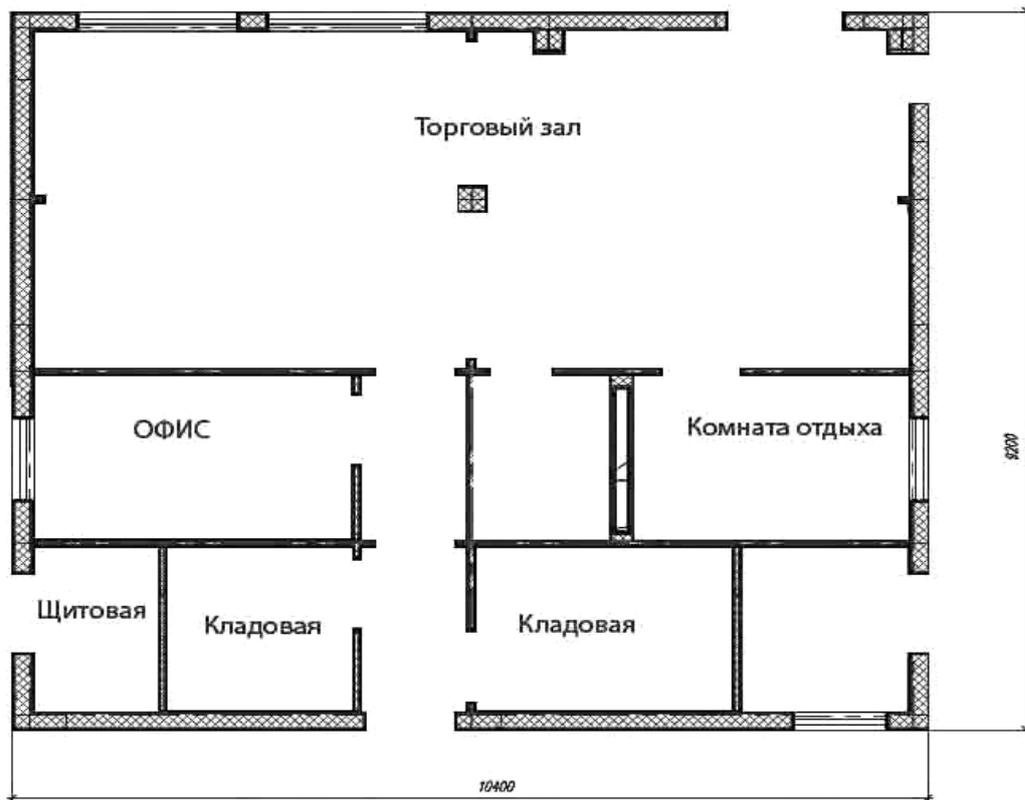
Общая площадь 94,5 м2



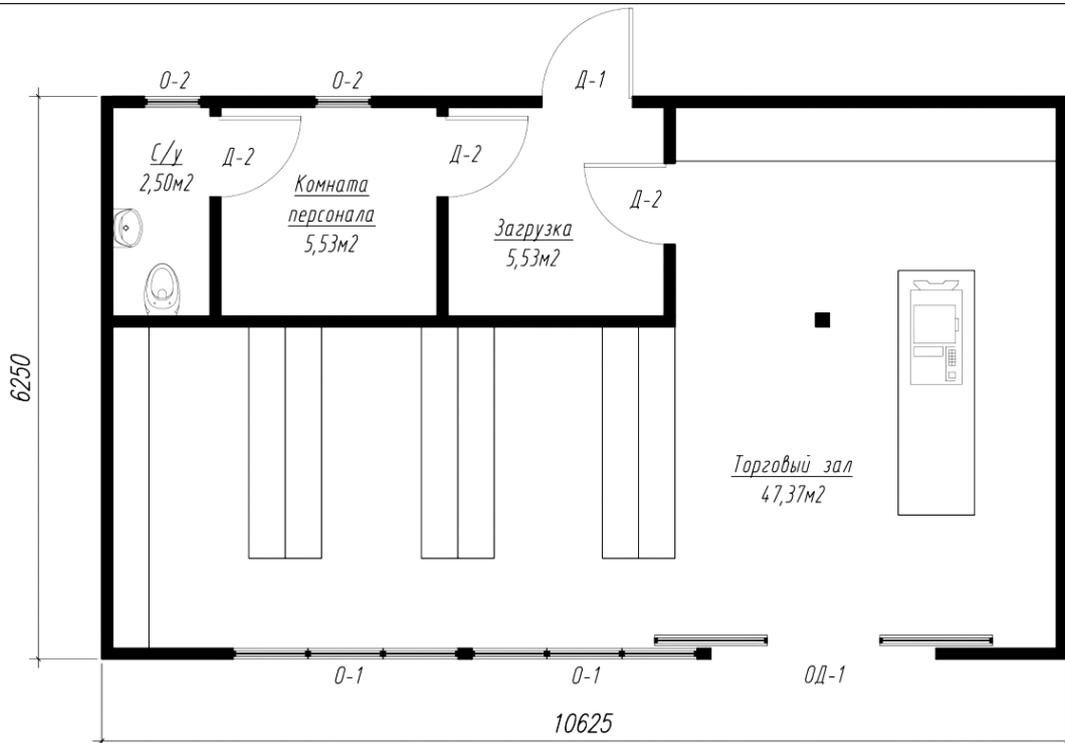
5, 6



7, 8



9, 10



Практическое занятие №12. Расчет защитного заземления насоса

Методические указания к решению задачи

В различных частях электрических установок инженерных систем здания возможны пробой изоляции и замыкания на металлические корпуса двигателей, пускателей, светильников, оболочек кабелей, стальных труб проводки и т.п. Вследствие этого металлические нетоковедущие части оборудования, не находящиеся под напряжением могут оказаться под током и представлять опасность в случае прикосновения к ним людей. Средством защиты от поражения током при переходе напряжения на нетоковедущие части электроустановок является защитное заземление.

Расчет защитного заземления имеет целью определить основные параметры заземления – число, размеры и размещение одиночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превышают допустимых значений. Способ расчета основан на применении коэффициентов использования проводимости заземлителя, поэтому его называют способом коэффициентов использования. Расчет может быть выполнен как по допустимому сопротивлению растеканию тока заземлителя, так и по допустимому напряжению прикосновения (шага). В настоящее время расчет заземлителей производится в большинстве случаев по допустимому сопротивлению заземлителя.

Расчет защитного заземления производится в соответствующем порядке:

1. Уточняются исходные данные.

Для расчета заземления необходимы следующие сведения:

1) характеристика электроустановки — тип установки, виды основного оборудования, рабочие напряжения, способы заземления нейтралей трансформаторов и генераторов;

2) план электроустановки с указанием основных размеров и размещения оборудования;

3) формы и размеры электродов, из которых предполагается соорудить проектируемый групповой заземлитель, а также предполагаемая глубина погружения их в землю;

4) данные измерений удельного сопротивления грунта на участке, где предполагается сооружение заземлителя, а также характеристика климатической зоны.

2. Определяется расчетный ток замыкания на землю.

Электроустановки по значению тока замыкания на землю условно делятся на две группы:

– установки с большими токами замыкания на землю, в которых однофазный ток замыкания на землю больше 500 А. К ним относятся установки трехфазного тока напряжением 110 кВ и выше с глухозаземленной нейтралью;

– установки с малыми токами замыкания на землю, в которых однофазный ток замыкания на землю не превышает 500 А. К ним относятся установки трехфазного тока напряжением до 35 кВ включительно с изолированной нейтралью.

3. Определяется нормативное допустимое сопротивление R_n растеканию тока заземляющего устройства.

Наибольшие допустимые значения сопротивления защитного заземления R_n , установленные Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) для любого времени года, составляют:

– для установок напряжением до 1000 В:

– 10 Ом — при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВА;

– 4 Ом — во всех остальных случаях;

– для установок напряжением выше 1000 В:

– 0,5 Ом — при больших токах замыкания на землю (I_z более 500 А);

– 250/Із – при малых токах замыкания на землю и при условии, что заземлитель используется только для электроустановок напряжением выше 1000 В;

– 125/Із – при малых токах замыкания на землю и при условии, что заземлитель используется одновременно для установок напряжением до 1000 В.

4. Выбирается тип заземлителя и составляется схема заземляющего устройства.

На основании данных о территории, на которой возможно размещение искусственного заземлителя, выбирается тип заземляющего устройства – выносной или контурный.

Затем после выбора формы электродов (обычно стержневые и полосовые) их ориентировочно размещают на плане участка.

5. Рассчитываются параметры заземлителя.

На основании схемы заземлителя и имеющихся данных об удельном сопротивлении грунта вычисляется расчетное сопротивление R_z этого заземлителя в следующем порядке:

1) определяется расчетное удельное сопротивление грунта, в котором предполагается размещать электроды заземления.

Для вертикального заземлителя:

$$\rho_{\text{расч}} = \rho \cdot \varphi \quad (74)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м, определяется по результатам измерений или по табл. 26; φ_v – коэффициент сезонности для вертикального заземлителя, учитывающий возможности повышения сопротивления грунта в течение года. Коэффициент сезонности определяется по табл. 28 с учетом табл. 27.

Таблица 26

Значения удельных сопротивлений растеканию тока для различных грунтов

Вид грунта	Удельное сопротивление ρ , Ом·м
Глина	8...70

Суглинок	40...150
Песок	400...700
Супесь	150...400
Торф	10...30
Чернозем	9...53
Садовая земля	30...60
Каменистый	500...800
Скалистый	$10^4...10^7$

Таблица 27

Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны России			
	I	II	III	IV
Средняя низшая температура января, °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя высшая температура июля, °С	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, мм	400	500	500	300...500
Продолжительность задержания вод, дни	190...170	150	100	0

Таблица 28

Коэффициенты сезонности для однородной земли ф

Климатические зоны	Влажность земли во время измерения ее сопротивления		
	повышенная	нормальная	малая
Вертикальный заземлитель длиной до 3 м			
I	1,9	1,9	1,5
II	1,7	1,7	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0
Вертикальный заземлитель длиной до 5 м			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
I	1,2	1,1	1,0
Горизонтальный заземлитель длиной до 10 м			
I	9,3	5,5	4,1
II	5,9	3,5	2,6
III	4,2	2,5	2,0
IV	2,5	1,5	1,1

Горизонтальный заземлитель длиной до 50 м			
I	7,2	5,9	3,6
II	4,8	3,6	2,4
III	3,2	2,0	1,6
IV	2,2	1,4	1,12

2) определяется сопротивление растеканию тока одиночного вертикального заземлителя R^B по формуле:

$$R_{\text{од}}^B = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{расч}}^B}{l_B} \left(\lg \frac{2l_B}{d} + 0,5 \lg \frac{4h_B + l_B}{4h - l_B} \right) \quad (75)$$

где l_B и d – длина и диаметр вертикального заземлителя, м (рис. 19); h_B – расстояние от середины заземлителя до поверхности грунта, м; $h_B = h + l_B/2$, где h – величина заглубления заземлителя в землю, м.

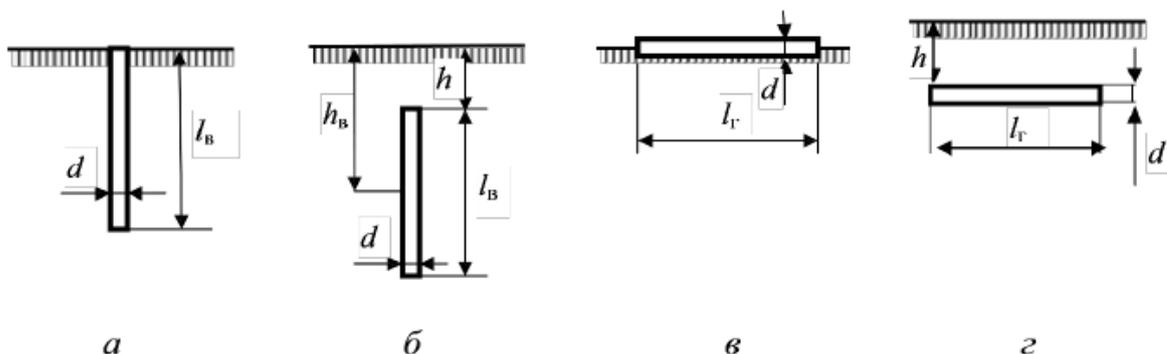


Рисунок 19. Размещение заземлителей: а — стержневой вертикальный у поверхности земли; б — стержневой вертикальный, заглубленный в землю; в — стержневой горизонтальный у поверхности земли; г — стержневой горизонтальный, заглубленный в землю

3) определяется предварительное количество вертикальных электродов n :

$$n = \frac{R_{\text{од}}^B}{R_{\text{зз}}^{\text{доп}} \cdot \eta_B} \quad (76)$$

где η_B – коэффициент использования вертикальных стержней заземлителя.

Для ориентировочного расчета сначала принимают $\eta_B=1$ и подсчитывают n' . Затем по табл. 29 для рассчитанного n и принятого отношения a/l_B , где a – расстояние между электродами, определяется действительное значение коэффициента использования вертикального электрода η_B .

Таблица 29

Коэффициенты использования η_B вертикальных групповых заземлителей из труб, уголков и т.п. без учета влияния полосы связи

Число заземлителей, n	Отношение расстояний между заземлителями к их длине a/l_b					
	1	2	3	1	2	3
	Размещены в ряд			Размещены по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,88	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
10	0,59	0,74	0,81	0,56	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

4) уточняется необходимое число вертикальных электродов n по формуле (76).

5) для горизонтального заземлителя определяется длина полосы, соединяющей вертикальные заземлители, l_r .

Если электроды расположены в ряд: $l_r = 1,05 \cdot a (n - 1)$, м.

Если электроды расположены по контуру: $l_r = 1,05 \cdot a \cdot n$, м.

Расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтального заземлителя определяется аналогично по формуле (74) и табл. 28.

6) определяется сопротивление растеканию тока горизонтального электрода R_r по формуле:

$$R_r = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\text{расч}}^r}{l_r \cdot \eta_r} \lg \frac{l_r^2}{b \cdot h_0} \quad (77)$$

где b – ширина металлической полосы, из которой изготавливается горизонтальный электрод, соединяющий вертикальные электроды, м;

7) по табл. 30 при заданном n и принятом отношении a/l_b определяется коэффициент использования горизонтального электрода η_r ;

Таблица 30

Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового заземлителя, соединяющего одиночные заземлители группового заземлителя

Отношение расстояний между вертикальными заземлителями к их длине, a/l_b	Число вертикальных заземлителей, n							
	2	4	6	10	20	40	60	100

Вертикальные заземлители размещены в ряд								
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	-	-	-
Вертикальные заземлители размещены по замкнутому контуру								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,4	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,7	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

8) определяется расчетное сопротивление растеканию тока принятого группового заземлителя R_3 :

$$R_3^{\text{общ}} = \frac{R_{\text{сум}}^{\text{В}} \cdot R^{\Gamma}}{R_{\text{сум}}^{\text{В}} + R^{\Gamma}} \quad (78)$$

$$\text{где } R_{\text{сум}}^{\text{В}} = \frac{R_{\text{од}}^{\text{В}}}{n * \eta_{\text{В}}} \quad (79)$$

Условие задачи

В системе водоснабжения применяется повысительный насос с электродвигателем серии 5А. Мощность двигателя 1,5 кВт; Напряжение 380 В. Насос работает от трехфазной сети.

Грунт в месте заложения: суглинок тугопластичный, повышенной влажности. Климатическая зона III.

Необходимо рассчитать защитное заземление электродвигателя насоса.

Варианты ответов

- (!) 9,6 Ом, условие защиты выполняется
- (?) 9,6 Вт, условие защиты выполняется
- (?) 19,6 Ом, условие защиты выполняется
- (?) 19,6 Ом, условие защиты не выполняется
- (?) 19,6 Вт, условие защиты не выполняется

Указание или анализ (подсказка)

Целесообразно применить несколько вертикальных заземлителей, объединенных одной горизонтальной полосой. Удельное сопротивление грунтов в расчете принято 100 Ом·м.

Для расчета приняты в качестве заземлителей:

Трубы металлические диаметр 0,06 м; длина 2,5 м.

Соединение горизонтальной полосой 40×4 мм.

Расстояние между стержнями 2,5 м.

Глубина заложения вертикальных заземлителей 0,5 м.

Согласно ПУЭ при мощности электродвигателя $N \leq 100$ кВА $R_{33}^{\text{доп}} \leq 10$ Ом.

Полное решение задачи

Определим по табл. 26 удельное сопротивление растеканию тока для суглинков, примем $\rho = 100$ Ом · м.

Примем следующие элементы заземлителя (рис. 20):

Трубы металлические диаметр 0,06 м; длина $l=2,5$ м.

Соединение горизонтальной полосой 40×4.

Расстояние между стержнями $a=2,5$ м.

Глубина заложения вертикальных заземлителей 0,5 м.

Расчетная схема

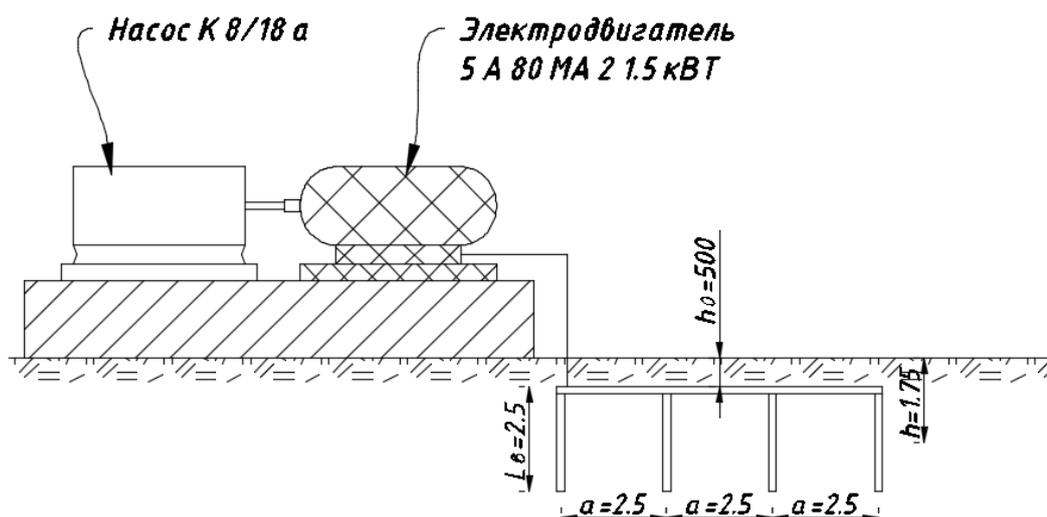


Рисунок 20. Расчетная схема защитного заземления электродвигателя

Расчет выполняется по допустимому сопротивлению заземлителя. Согласно ПУЭ при мощности электродвигателя $N \leq 100$ кВА $R_{33}^{\text{доп}} \leq 10$ Ом.

По табл. 28 $\varphi = 1,5$ для грунтов повышенной влажности и III климатической зоны.

Определим расчетное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{расч}} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Определим величину заглубления заземлителя (рис. 19б):

$$h = h_0 + 0,5 \cdot l_{\text{в}} = 0,5 + 0,5 \cdot 2,5 = 1,75 \text{ м}$$

Определим сопротивление одиночного вертикального стержня заземлителя:

$$R_{\text{од}}^{\text{в}} = 0,366 \cdot \frac{150}{2,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,06} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 45,73 \text{ Ом}$$

Определим количество вертикальных стержней в проектируемом заземлителе.

$$\text{При } \frac{a}{l_{\text{в}}} = \frac{2,5}{2,5} = 1 \text{ по табл. 29 возьмем } \eta_{\text{в}} = 0,73$$

$$n = \frac{45,73}{10 \cdot 0,73} = 6,26$$

Принимаем $n = 6$

Суммарное сопротивление вертикальных стержней заземлителей:

$$R_{\text{сум}}^{\text{в}} = \frac{45,73}{6 \cdot 0,65} = 11,73 \text{ Ом}$$

$$\text{По табл. 30 при } \frac{a}{l_{\text{в}}} = \frac{2,5}{2,5} = 1 \text{ и } n = 6 \quad \eta_{\text{г}} = 0,72$$

Тогда длина горизонтального заземлителя:

$$l_{\text{г}} = 1,05(n - 1) \cdot a = 1,05(6 - 1) \cdot 2,5 = 13,13 \text{ м}$$

Сопротивление горизонтальной полосы заземлителя:

$$R_{\text{г}} = 0,366 \cdot \frac{100 \cdot 3,5}{13,13 \cdot 0,72} \lg \frac{13,13^2}{0,04 \cdot 0,5} = 53,25 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление группового заземлителя:

$$R_{\text{з}}^{\text{общ}} = \frac{R_{\text{сум}}^{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{сум}}^{\text{в}} + R_{\text{г}}} = \frac{11,73 \cdot 53,25}{11,73 + 53,25} = 9,61 \text{ Ом}$$

Проверка правильности расчета заземлителя.

Условие защиты человека с помощью данного заземлителя $R_{\text{з}}^{\text{общ}} = 9,61 \text{ Ом} \leq R_{\text{з}}^{\text{доп}} = 10 \text{ Ом}$, выполняется.

Заземлитель запроектирован правильно.

Задания для самостоятельного решения

В системе водоснабжения применяется циркуляционно-повысительный насос с мощностью электродвигателя $N \leq 100$ кВА.

$$R_{зз}^{\text{доп}} \leq 10 \text{ Ом.}$$

Необходимо рассчитать защитное заземление электродвигателя насоса. Принять конструктивное решение, как в примере: несколько вертикальных труб, объединенных стальной полосой 40×4 мм.

Таблица 31

Варианты заданий

Вариант	Грунт	Влажность грунта	Климатическая зона	Диаметр труб, м	Длина труб, м	Расстояние между стержнями, м	Глубина заложения вертикальных труб, м
1	Глина	повышенная	I	0,05	2,0	2,4	0,5
2	Суглинок	нормальная	II	0,04	2,1	2,3	0,4
3	Песок	малая	III	0,06	2,2	2,5	0,6
4	Супесь	повышенная	IV	0,07	2,3	2,1	0,7
5	Глина	нормальная	I	0,08	2,4	2,0	0,3
6	Суглинок	малая	II	0,05	2,0	2,4	0,5
7	Песок	повышенная	III	0,04	2,1	2,3	0,4
8	Супесь	нормальная	IV	0,06	2,2	2,5	0,6
9	Суглинок	малая	II	0,07	2,3	2,1	0,7
10	Супесь	повышенная	III	0,08	2,4	2,0	0,3

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Тема 2.1. Методика расчета основных показателей безотказности элементов здания на основе статистических и натурных исследований

Практическое занятие №13. Расчет основных показателей безотказности элементов зданий

Методические указания к решению задач

Показатели надежности могут быть определены статистическими или математическими методами. Основным показателем надежности – безотказность – может быть представлена как случайная величина, зависящая от времени исправной работы до момента возникновения отказа.

В качестве количественной характеристики безотказности пользуются показателем вероятности безотказной работы элемента $P(Z)$, которая означает вероятность того, что на определенном временном интервале не наступит отказ.

Еще одним критерием безотказности может служить плотность распределения отказов элемента, т.е. среднее удельное число отказов за единицу времени.

Если собраны статистические данные об отказах однотипных элементов, используя их можно подсчитать интенсивность отказов $\lambda(Z)$ и приближенно определить вероятность безотказной работы $P(Z)$:

$$\lambda(Z) = \frac{n(Z)}{N\Delta Z}, \quad (80)$$

$$P(Z) = \frac{N - n(Z)}{N}, \quad (81)$$

где, $n(Z)$ – число элементов, отказавших к моменту Z ; N – общее число исправных элементов на начальный момент времени; ΔZ – период наблюдения от начального момента времени до времени Z .

Условие задачи

В помещениях общего пользования заменили 50 приборов УЗО (устройство защитного отключения). За первые 2000 часов отказало 2 УЗО, за последующие 1000 часов еще 3. Определить вероятность безотказной работы

$P(Z)$ за 2000 ч и интенсивность отказов УЗО $\lambda(Z)$ в интервале 2000-3000 ч. Является ли приемлемой безотказность УЗО на момент времени 3000 часов, если допустимая вероятность безотказной работы $P=0,9$.

Варианты ответов

(!) $P(2000) = 0,96$; $\lambda(2000-3000) = 6,25 \cdot 10^{-5}$, является

(?) $P(2000) = 0,92$; $\lambda(2000-3000) = 4,6 \cdot 10^{-5}$, является

(?) $P(2000) = 0,95$; $\lambda(2000-3000) = 4,3 \cdot 10^{-5}$, является

(?) $P(2000) = 0,97$; $\lambda(2000-3000) = 4,5 \cdot 10^{-5}$, не является

(?) $P(2000) = 0,99$; $\lambda(2000-3000) = 4,8 \cdot 10^{-5}$, не является

Указание или анализ (подсказка)

При расчете показателей в интервале 2000-3000 часов принимаем $\Delta Z=000$ часов.

Полное решение задачи

Вычисляем значения вероятности безотказной работы на момент $Z=2000$ часов по формуле (81):

$$P(2000) = \frac{50 - 2}{50} = \frac{48}{50} = 0,96;$$

Вычисляем интенсивность отказов по формуле (80):

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t};$$

$$\lambda(2000; 3000) = \frac{3}{48 \cdot 1000} = 6,25 \cdot 10^{-5}$$

Ответ: $P(2000) = 0,96$; $\lambda(2000-3000) = 6,25 \cdot 10^{-5}$.

Принимая минимально допустимую надежность $P=0,9$ на момент времени $Z=3000$ надежность $P=0,92$ является допустимой.

Задания для самостоятельного решения

Определить вероятность безотказной работы $P(Z)$ и интенсивность отказов $\lambda(Z)$ в интервале времени работы задвижек в котельной.

Таблица 32

Варианты заданий

Вариан	Количество	Наработк	Количество	Наработк	Количество	Интерва
--------	------------	----------	------------	----------	------------	---------

Т	о КОТЕЛЬНЫХ установок	а, Ч	о ОТКАЗОВ	а, Ч	о ОТКАЗОВ	л, Ч
1	50	10000	2	11000	4	10000- 11000
2	50	15000	5	16000	10	15000- 16000
3	50	20000	6	24000	12	20000- 24000
4	50	25000	8	29500	16	25000- 29500
5	50	30000	9	36000	18	30000- 36000
6	50	35000	7	38000	14	35000- 38000
7	50	40000	3	45000	8	40000- 45000
8	50	45000	5	48000	9	45000- 48000
9	50	50000	2	55000	5	50000- 55000
10	50	55000	6	59000	10	55000- 59000

Практическое занятие №14. Расчет основных показателей безотказности сложной системы

Методические указания к решению задачи

В реальных условиях эксплуатации большинство элементов представляют собой сложные системы с последовательным, параллельным или смешанным соединением. При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы всей системы (ее надежность) будет ниже, чем надежность каждого отдельного элемента. При параллельном соединении принцип обратный: надежность всей системы будет выше надежности каждого из элементов.

Например, система состоит из двух элементов, вероятность безотказной работы которых равна $P_1(Z)=P_2(Z)=0,9$. Найти вероятность безотказной работы системы из двух элементов в случае последовательного и параллельного

Рисунок 21. Техническая схема насосной группы

Статистически установлено, что за расчетный временной интервал вероятность безотказной работы насоса составила $P_n=0,998$, обратного клапана $P_{ок}=0,991$, задвижки $P_з=0,9987$. Надежная работа системы обеспечивается при работе хотя бы одного насоса. Определить вероятность безотказной работы насосной группы и оценить ее соответствие требованиям надежности. Принять допустимую вероятность отказа 0,01.

Варианты ответов

(!) 0,9972

(?) 0,9864

(?) 0,991

(?) 0,9998

(?) 0,9872

Указание или анализ (подсказка)

Необходимо систему разбить на 2 параллельные ветки, в которых элементы рассматривать как последовательно соединенные.

Полное решение задачи

Определение типа включения элементов:

При отказе одного насоса работа системы водоснабжения не прекратится, следовательно, насосы соединены параллельно. При отказе задвижки «б» или обратного клапана прекратит работу соединенный с ними насос, следовательно, соединение задвижка—насос—обратный клапан—задвижка является последовательным. При отказе задвижки «а» насосная группа становится неработоспособной, следовательно, она соединена со всеми другими элементами системы последовательно.

Вероятность безотказной работы соединения задвижка—насос—обратный клапан—задвижка:

$$P_1 = P_n \cdot P_з \cdot P_{ок} = 0,998 \cdot 0,9987 \cdot 0,9987 \cdot 0,991 = 0,9864$$

Вероятность безотказной работы параллельно соединенной группы из двух насосов:

$$P_2=1-[(1-P_1)\cdot(1-P_1)]=1-[(1-0,9864)\cdot(1-0,9864)]=0,9998$$

Вероятность безотказной работы всей системы насосной группы:

$$P_{\text{сист}}=P_2\cdot P_3\cdot P_3=0,9998\cdot 0,9987\cdot 0,9987=0,9972$$

Вывод: вероятность безотказной работы насосной группы из 2-х насосов составляет 0,9972, т.е. на 10000 насосных групп неработоспособными могут быть 28. Допустимая вероятность безотказной работы $P=1-0,01=0,99$.

$$P_{\text{ф}}=0,9972>0,99, \text{ следовательно надежность обеспечена.}$$

Задания для самостоятельного решения

Насосная группа представлена двумя насосами в обвязке с задвижками и обратными клапанами (рис. 22).

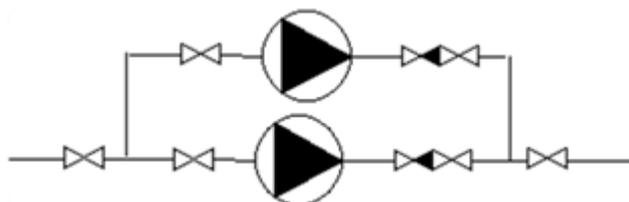


Рисунок 22. Техническая схема насосной группы

Определить вероятность безотказной работы насосной группы и оценить ее соответствие требованиям надежности. Принять допустимую вероятность отказа 0,05.

Таблица 33

Варианты заданий

Вариант	Вероятность безотказной работы насоса	Вероятность безотказной работы обратного клапана	Вероятность безотказной работы задвижки
1	0,998	0,997	0,991
2	0,999	0,996	0,992
3	0,997	0,995	0,993
4	0,996	0,996	0,997
5	0,995	0,995	0,994
6	0,998	0,994	0,997
7	0,999	0,996	0,995
8	0,996	0,995	0,997
9	0,995	0,994	0,996
10	0,997	0,996	0,997

Тема 2.2. Методика расчета основных показателей безотказности элементов здания на основе статистических и натурных исследований

Практическое занятие №15. Прогнозирование изменения безотказности элементов здания в различных режимах применения: расчет комплексного показателя надежности сложной системы

Методические указания к решению задачи

Качество здания зависит от свойств его элементов, соответствия их эксплуатационных параметров нормативным или расчетным показателям и их способности выполнять заданные функции. В процессе эксплуатации возникают ситуации, когда конструктивный элемент не выполняет свои функции в полном объеме или его эксплуатационные показатели не соответствуют нормативным значениям. Окончание эксплуатации всего здания определяется предельным состоянием, при котором дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена по требованиям безопасности, из-за неустранимого изменения технических характеристик конструктивных элементов, утраченных в процессе эксплуатации, или экономической нецелесообразности их восстановления.

Оценка состояния здания и безопасности его функционирования базируется на теории надежности, которая позволяет разрабатывать оптимальную систему контроля состояния элементов, определять их технические параметры, разрабатывать эффективную стратегию эксплуатационных мероприятий. Надежность является определяющим свойством, общим для различных элементов здания. Сама по себе надежность не характеризует их высокое качество, но служит одним из свойств, определяющих качество каждого элемента здания. Надежность – это свойство элемента выполнять свои функции в течение заданного промежутка времени с сохранением эксплуатационных характеристик. Надежность, как свойство элемента, характеризуется рядом показателей, таких как, безотказность,

долговечность, ремонтпригодность, исправность, работоспособность, предельное состояние, отказ [6].

В качестве показателя надежности многократно используемых конструкций можно использовать коэффициент готовности k_{Γ} , который показывает долю времени выполнения объектом своих функций в полном объеме за весь расчетный период эксплуатации:

$$k_{\Gamma} = \frac{N \cdot Z_{\text{э}} - \sum_{i=1}^k n_i \cdot z_{\text{отк}}^i}{N \cdot Z_{\text{э}}} \quad (84)$$

где N – общее число потребителей, пользующихся объектом; $Z_{\text{э}}$ – период эксплуатации; n_i – количество потребителей, для которых объект не выполнял свои функции в полном объеме за период эксплуатации; $z_{\text{отк}}^i$ – продолжительность периода, в течение которого объект не выполнял свои функции; k – количество случаев за период эксплуатации, когда для каких-либо потребителей объект не выполнял свои функции.

Условие задачи

Обслуживающая организация занимается эксплуатацией системы водоснабжения 100 домов. Диспетчерской службой за год было зафиксировано: 8 отключений потребителей в 17 домах из-за аварийных работ по 2 часа каждое, 1 отказ насосной подстанции, что повлекло остановку систем водоснабжения во всех домах на 6 часов, 172 вызова от потребителей для ремонта водоразборной арматуры с продолжительностью работ по 30 минут каждая. Требуется определить полноту функционирования системы водоснабжения. Допустимую безотказность принять равной 0,99.

Варианты ответов

- (!) 0,9989, надежность обеспечена
- (?) 0,9954, надежность обеспечена
- (?) 0,9889, надежность не обеспечена
- (?) 0,9989, надежность не обеспечена
- (?) 0,9889, надежность обеспечена

Указание или анализ (подсказка)

Все составляющие должны быть выражены в одинаковых единицах измерения.

Полное решение задачи

Определение времени невыполнения функций с учетом количества необеспеченных водоснабжением потребителей:

$$\tau = \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot N_i = \sum_1^1 100 \cdot 6 + \sum_1^8 17 \cdot 2 + \sum_1^{172} 1 \cdot 0,5 = 958 \text{ часов}$$

Где, N – количество потребителей, для которых система не выполнила функции в полном объеме.

Определение коэффициента готовности при расчетом периоде эксплуатации за год с учетом обслуживания всех потребителей:

$$k_r = \frac{100 \cdot 1 - \frac{958}{24 \cdot 365}}{100 \cdot 1} = 0,9989$$

Вывод: за расчетный период времени коэффициент готовности системы составил 0,9989, т.е. на 10000 случаев система водоснабжения не выполняет свои функции 11 раз. $P_\phi = 0,9989 > P_n = 0,99$, следовательно, надежность работы системы обеспечена.

Задания для самостоятельного решения

Определить полноту функционирования системы водоснабжения при заданных повреждениях.

Таблица 34

Варианты заданий

Вариант	Аварийное отключение домов, шт	Продолжительность аварии в доме, час	Количество отключенных домов, шт	Отказ насосной станции, шт	Продолжительность ремонта насосной, час	Вызов к потребителям, шт	Продолжительность отказа у потребителя, в среднем, мин
1	8	2	20	1	7	180	30
2	7	3	18	2	6	170	45

3	9	2	17	1	7	180	60
4	10	1	16	2	7	160	90
5	9	2	19	2	6	190	75
6	8	3	20	1	8	200	30
7	7	3	18	1	9	190	45
8	7	3	17	1	10	210	60
9	8	2	16	2	7	180	90
10	7	2	19	2	6	170	75

Практическое занятие №16. Прогнозирование безотказности многослойной конструкции

Методические указания к решению задачи

Безотказность конструкции зависит от соотношения приложенных нагрузок к ее несущей способности. Вероятность безотказной работы на основании данных о потоке отказов может определяться как:

$$P(Z) = e^{-\int_0^Z \lambda(Z) dZ}, \quad (85)$$

где $\lambda(Z)$ – интенсивность отказов, которая показывает количество отказов элемента за определенный временной интервал; dZ – временной интервал, на котором определяют безотказность конструкции.

На практике часто имеет место одновременное проявление внезапных и износных (постепенных) отказов. В этом случае для оценки надежности элемента в период нормальной работы, т.е. при $\lambda \approx \text{const}$, плотность распределения вероятностей безотказной работы может быть выражена как:

$$f(Z) = \lambda \cdot e^{-\lambda Z}, \quad (86)$$

Интенсивность отказов при наличии статистических данных об отказах определяется по формуле (80):

Интенсивность отказов в начальный период эксплуатации обусловлена значительным снижением надежности некоторых элементов вследствие грубых ошибок при конструировании и в технологии производства строительных материалов и изделий, а также в технологии возведения, несоблюдения

требований конструкторской и технологической документации, применения материалов с недопустимыми отклонениями параметров, недостаточного контроля качества в процессе производства, возведения и т.д. Эти недостатки в принципе устранимы, а элементы со скрытыми грубыми дефектами могут быть выявлены в процессе тренировок и испытаний

Отказы в период длительной эксплуатации при нагрузках, не превышающих допустимых значений, вызваны снижением надежности отдельных элементов из-за менее грубых ошибок и отклонений от норм, что также принципиально устранимо. Но в конечном счете достигаемый уровень надежности в этот период обусловлен неучтенными при проектировании и производстве явлениями физико-химических процессов в материалах. Отказы по причине старения начинают оказывать влияние на надежность с определенного момента. Постепенный отказ возникает в результате постепенного накопления повреждений, главным образом вследствие износа и старения материалов.

Условие задачи

Кровельное покрытие «рубемаст» представляет собой систему из 3 гидроизоляционных слоев, в которой верхний слой – основной элемент, два нижних выступают как резервные элементы, замещающие основной в случае его отказа. Площадь кровли 1000 м². При эксплуатации аналогичных кровель общей площадью 12000 м² эксплуатационной организацией в течение одного года зафиксировано 2 случая протечек площадью по 0,5 м² каждая. Требуется определить безотказность 3-хслойной рулонной кровли жилого дома в течение предстоящих трех лет эксплуатации и ее соответствие требованиям надежности, если допустимая вероятность отказа 0,01.

Варианты ответов

- (!) 0,9893, не соответствует
- (?) 0,9893, соответствует
- (?) 0,9993, соответствует

(?) 0,9993, не соответствует

(?) 0,99, соответствует

Указание или анализ (подсказка)

При определении числа отказавших элементов необходимо учитывать площадь повреждения и количество поврежденных участков. Вероятность безотказной работы всей системы определяется как параллельном соединении путем замещения.

Полное решение задачи

Определение интенсивности отказов 1 м^2 кровли в год:

$$\lambda(Z) = \frac{0,5 \cdot 2}{12000 \cdot 1} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ отказов/год}$$

Определение вероятности безотказной работы одного слоя кровли площадью 1000 м^2 в течение трех лет эксплуатации:

$$P(Z) = e^{-8,3 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 1000} = 0,7796$$

3. Определение возможных состояний S_i кровельной системы, состоящей из трех слоев:

S_1 – основной слой исправен, резервные слои не включены в работу. Вероятность безотказной работы основного слоя P_1 .

S_2 – основной слой отказал, вероятность отказа $(1-P_1)$, в работу включился первый резервный слой, вероятность безотказной работы которого P_2 .

S_3 – основной и первый резервный слои отказали, вероятность отказа которых $(1-P_1)$, $(1-P_2)$, вероятность безотказной работы второго резервного слоя P_3 .

Определение вероятности исправного состояния существующей кровли из 3 слоев:

Вероятность исправного состояния кровли, состоящей из трех слоев с последовательным общим резервированием, определяется как сумма вероятностей всех возможных состояний системы:

$$P_{\text{сист}} = P_1 + (1-P_1) \cdot P_2 + (1-P_1) \cdot (1-P_2) \cdot P_3.$$

Т.к. вероятность безотказной работы всех слоев принимается одинаковой, то выражение приобретает вид:

$$P_{\text{сист}} = 3P - 3P^2 + P^3 = 3 \cdot 0,7796 - 3 \cdot 0,7796^2 + 0,7796^3 = 0,9893.$$

Вывод: вероятность безотказной работы рассмотренной конструкции кровли составляет $P_{\phi} = 0,9893 < P_{н} = (1 - 0,01) = 0,99$, т.е. при эксплуатации 1000 аналогичных кровель протечки могут иметь каждые 11. Для обеспечения безотказности требуется проконтролировать соблюдение технологии производства ремонтно-строительных работ и условий эксплуатации в течение всего срока службы конструкции. Также возможно требуется устройство дополнительного 4-го слоя.

Задания для самостоятельного решения

Определить безотказность 3-слойной рулонной кровли жилого дома заданной площади в течение перспективных 5 лет эксплуатации и ее соответствие требованиям надежности, если допустимая вероятность отказа 0,01.

Таблица 35

Варианты заданий

Вариант	Площадь обследованных кровель, тыс м ²	Количество зафиксированных протечек, шт	Средняя площадь протечки, м ²	Площадь эксплуатируемой кровли, м ²	Продолжительность эксплуатации, лет
1	15	3	1	1000	2
2	15	3	0,5	900	3
3	9	1	1	1100	2
4	12	2	1	1000	2
5	11	2	0,5	1000	3
6	10	1	1	1000	2
7	12	2	0,8	1100	1
8	14	3	0,8	900	1
9	10	1	0,8	1100	1
10	15	3	0,8	1100	1

Тема 2.3. Численное определение долговечности. Закон распределения срока службы как случайной величины

Практическое занятие №17. Статистическая обработка результатов испытаний

Методические указания к решению задачи

Надежность строительных конструкций рассматривается, как правило, на заданном временном интервале, в качестве которого часто принимают срок службы элемента или его долговечность. Долговечность элемента можно оценить по показателю среднего времени безотказной работы элемента:

$$Z_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(Z) dZ \quad (87)$$

Срок безотказной работы элементов зданий является непрерывной случайной величиной, принимающей любые значения, поскольку он зависит от ряда факторов, в том числе от качества изготовления материала, качества ремонтно-строительных работ по устройству, монтажу конструкции, интенсивности эксплуатационных нагрузок, воздействия факторов окружающей среды и пр.

При проектировании новых конструкций, разработке новых материалов прогнозирование их долговечности осуществляется на основании лабораторных испытаний или по аналогии с существующими объектами.

Для экспериментальных данных функция эмпирического распределения отказов имеет вид:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i \quad (88)$$

где N – общее количество элементов, за которыми ведется наблюдение; z_i — период наблюдения, год.

Условие задачи

Проводились испытания 6 одинаковых насосных установок, по

результатам которых получены следующие значения безотказной работы: $z_1 = 2800$ ч; $z_2 = 3500$ ч; $z_3 = 4000$ ч; $z_4 = 3200$ ч; $z_5 = 3800$ ч; $z_6 = 3300$ ч. Определить среднее время безотказной работы насосных установок.

Варианты ответов

- (!) 3433 ч
- (?) 4333 ч
- (?) 5433 ч
- (?) 2433 ч
- (?) 1433 ч

Указание или анализ (подсказка)

Расчет среднего времени безотказной работы насосных установок производится по формуле (88).

Полное решение задачи

$$Z_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{2800 + 3500 + 4000 + 3200 + 3800 + 3300}{6} = 3433 \text{ ч.}$$

Ответ: $Z_{\text{ср}}=3433$ ч.

Задания для самостоятельного решения

Определить среднее время безотказной работы домофонов 4 подъездов многоквартирного жилого дома.

Таблица 36

Варианты заданий

Вариант	Время безотказной работы 1 домофона, ч	Время безотказной работы 2 домофона, ч	Время безотказной работы 3 домофона, ч	Время безотказной работы 4 домофона, ч
1	111000	12119	121100	1290
2	123000	22438	124300	2280
3	142000	42627	126200	4270
4	124000	32946	129400	3260
5	135000	13650	136500	1300
6	136000	23861	138600	2310
7	147000	44572	145700	4420
8	148000	34883	148800	3430

9	159000	25594	155900	2540
10	155100	25995	159900	2550

Практическое занятие №18. Определение среднего срока службы конструктивного элемента по данным лабораторных испытаний

Методические указания к решению задачи

Под средним сроком службы понимается срок эксплуатации однотипных конструкций, рассчитанный на основе статистических данных об отказах этих конструкций за определенный период эксплуатации.

Исходными данными для расчета среднего срока службы могут служить результаты лабораторных или натурных испытаний группы образцов, при которых фиксируется время наступления отказа. В этом случае используется стандартный план наблюдений, что означает систематические наблюдения за объектами до их полного выхода из строя. При этом отказавшие объекты (образцы) не восстанавливаются и не заменяются новыми.

Для экспериментальных данных функция эмпирического распределения отказов имеет вид:

$$I(Z_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n(Z_i), \quad (89)$$

где N – общее количество элементов, за которыми ведется наблюдение; n – число элементов, в которых зафиксирован отказ; Z_i – период наблюдения, год.

Среднее время эксплуатации образцов до отказа определяется по формуле:

$$Z_{cp} = \sum_{i=1}^k [n(Z_{i+1}) - n(Z_i)] \cdot Z_i, \quad (90)$$

Вероятность безотказной работы, которая позволяет обосновать межремонтный срок ($Z_{пл}$), можно определить по формуле:

$$P(Z_{пл}) = 1 - I(Z_{пл}), \quad (91)$$

Однако определение долговечности путем натурального наблюдения для строительных конструкций часто оказывается неприемлемым, поскольку их срок эксплуатации довольно значителен (десятки лет).

Поэтому при подготовке проекта капитального ремонта здания следует учитывать опыт эксплуатации аналогичных по конструктивным решениям зданий, эксплуатируемых в одинаковых условиях. В первую очередь это относится к типовым зданиям, монтируемым из индустриальных конструкций. При сборе статистических данных с целью прогнозирования срока службы конструкций необходимо фиксировать следующие показатели: характеристика конструкции (конструктивное решение, материалы, размеры); характеристика условий эксплуатации и режима работы; значения наблюдаемых параметров, характеризующих состояние конструкции и соответствующий им срок ее эксплуатации.

Условие задачи

Проведено лабораторное исследование долговечности 100 образцов отделочного слоя фасада. По результатам наблюдений, которые велись в течение 10 лет, получены следующие данные об отказах:

Период наблюдения	Z_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество зафиксированных отказов в данный период	$n(Z_i)$	0	0	1	3	12	22	31	20	9	2

Требуется определить средний срок службы отделочного слоя и целесообразный межремонтный период для фасада здания, исходя из технического состояния отделочного слоя и допустимой вероятности безотказной работы, равной 0,95.

Варианты ответов

- (!) 6,7 лет; 4,2 года
- (?) 16,7 лет; 14,2 года
- (?) 8,8 лет; 5,2 года
- (?) 6,7 лет; 5,2 года
- (?) 17,7 лет; 4,2 года

Указание или анализ (подсказка)

Расчет удобнее всего вести в табличной форме.

Полное решение задачи

Функция эмпирического распределения отказов $I(Z_i)$ при i -том наблюдении рассчитывается для каждого периода:

$$I(5) = \left(\frac{1}{100}\right) \cdot (0 + 0 + 1 + 3 + 12) = 0,38$$

$$P(5) = 1 - I(3) = 1 - 0,38 = 0,62$$

$$f(5) = \left(\frac{1}{100}\right) \cdot (12) = 0,12$$

Z_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n(Z_i)$	0	0	1	3	12	22	31	20	9	2
$I(t_i)$	0	0	0,01	0,04	0,16	0,38	0,69	0,89	0,98	1
$P(Z_i)$	1	1	0,99	0,96	0,84	0,62	0,31	0,11	0,02	0
$f(Z_i)$	0	0	0,01	0,03	0,12	0,22	0,31	0,2	0,09	0,02

Средний срок службы отделочного слоя Z_{cp} :

$$Z_{cp} = 3 \cdot 0,01 + 4 \cdot (0,04 - 0,01) + 5 \cdot (0,16 - 0,04) + 6 \cdot (0,38 - 0,16) + 7 \cdot (0,69 - 0,38) + 8 \cdot (0,89 - 0,69) + 9 \cdot (0,98 - 0,89) + 10 \cdot (1 - 0,98) = 6,7 \text{ лет.}$$

Изменение вероятности безотказной работы представлено в графическом виде (рис. 23):

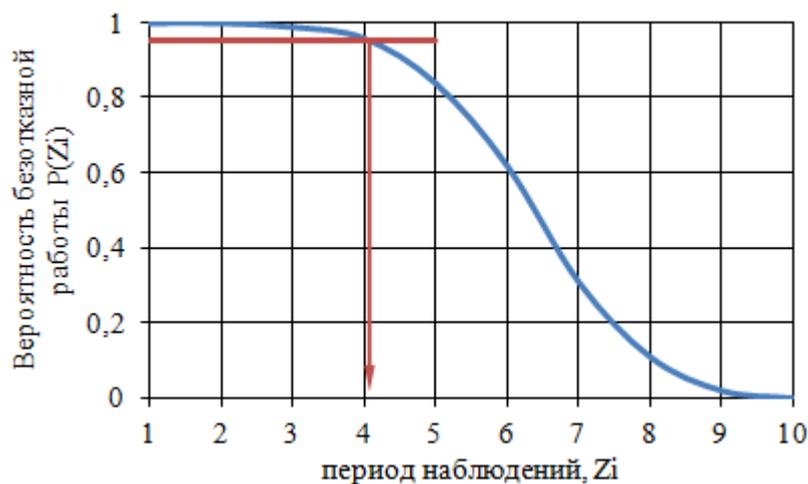


Рисунок 23. Прогнозирование межремонтного периода по изменению вероятности безотказной работы элемента отделки фасада

Межремонтный период определяется графически как соответствующий

допустимой вероятности безотказной работы, равной 0,95, что для элемента отделки здания вполне достаточно:

$$P(Z_{пл})=0,95 \Rightarrow Z_{пл}=4,2 \text{ года.}$$

Вывод: расчет показал, что средний срок службы отделки фасада данного вида можно рекомендовать принимать равным 6,7 годам. Целесообразный межремонтный период (без учета экономических факторов) составляет 4,2 года, при этом будет обеспечено должное качество и безотказность функционирования фасада здания.

Задания для самостоятельного решения

Требуется определить средний срок службы и целесообразный межремонтный период по результатам лабораторных испытаний. N в варианте задания – номер варианта.

Таблица 37

Варианты заданий

Для вариантов с N от 1 по 5											
Период наблюдения	Z _i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество зафиксированных отказов в данный период	n(Z _i)	0	0	1	3+N	12-N	22+N	31+N	20-N	9	2
Для вариантов с N от 6 по 10											
Период наблюдения	Z _i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество зафиксированных отказов в данный период	n(Z _i)	0	0	1	3	12+N	22+N	31+N	20-N	9	2

Практическое занятие №19. Планирование ремонтов на основе среднего срока службы

Накопленная статистика по дефектам и отказам отдельных конструкций, с использованием нормального закона распределения и закона Гнеденко-Вейбулла, позволяет обоснованно прогнозировать их фактические сроки службы, которые в значительной степени зависят от условий эксплуатации, особенностей воздействия окружающей среды, качества монтажа и т.д.

Динамика роста отказов фиксируется в ежегодно составляемых дефектных ведомостях сотрудниками эксплуатационных организаций.

Используя математический аппарат «метода наименьших квадратов» и статистические данные по отказам конкретной конструкции, можно определить ее средний срок службы $Z_{ср}$ и период проведения плановых ремонтов $Z_{пл}$.

Для этого определяются следующие параметры:

частота отказов при i -том наблюдении $I(Z_i)$, определяемая как соотношение накопленного объема работ к общему объему:

$$I(Z_i) = \frac{m_0(Z_i)}{N_{эл}}, \quad (92)$$

где $m_0(Z_i)$ – число элементов, отказавших за период Z_i ; $N_{эл}$ – общее число элементов.

Вероятность безотказной работы определяется как:

$$P(Z_i) = 1 - I(Z_i), \quad (93)$$

По значениям вероятности безотказной работы $P(Z_i)$ определяется соответствующий ей квантиль нормального распределения $U(Z_i)$, который представляет собой коэффициент, отвечающий определенному уровню безотказной работы. Значения квантилей $U(Z_i)$ в зависимости от величины $P(Z_i)$ приведены в табл. 38.

Таблица 38

Значение квантилей нормального распределения

$P(Z_i)$	$U(Z_i)$	$P(Z_i)$	$U(Z_i)$	$P(Z_i)$	$U(Z_i)$	$P(Z_i)$	$U(Z_i)$
0.5	0	0.64	0.358	0.87	1.126	0.98	2.054
0.51	0.025	0.66	0.412	0.88	1.175	0.99	2.326
0.52	0.05	0.68	0.468	0.89	1.227	0.991	2.366
0.53	0.075	0.7	0.524	0.9	1.282	0.992	2.409
0.54	0.1	0.72	0.583	0.91	1.341	0.993	2.457
0.55	0.126	0.74	0.643	0.92	1.405	0.994	2.512
0.56	0.151	0.76	0.706	0.93	1.476	0.995	2.576
0.57	0.176	0.78	0.772	0.94	1.555	0.996	2.652
0.58	0.202	0.8	0.842	0.95	1.645	0.997	2.748
0.59	0.228	0.82	0.915	0.96	1.751	0.998	2.878
0.6	0.253	0.84	0.994	0.97	1.881	0.999	3.09

0.62	0.305	0.86	1.08	0.975	1.96	0,9995	3,291
						0.9999	3.719

Каждое конкретное значение срока службы Z_i , зарегистрированное в процессе эксплуатации, может быть представлено через его среднее значение Z_{cp} и среднее квадратичное отклонение от него σ как:

$$Z_i = Z_{cp} - U(Z_i) \cdot \sigma, \quad (94)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение случайной величины, U – квантиль нормального распределения случайной величины.

На основании данных об отказах конструкции в моменты времени Z_1, Z_2, \dots, Z_n составляется система уравнений, решение которой позволяет определить средний срок службы конструкции Z_{cp} и среднее квадратичное отклонение от него σ :

$$\sigma = \frac{c - \frac{a \cdot b}{n}}{\frac{b^2}{n} - d}, \quad (94)$$

где a – сумма значений сроков службы элемента Z_i за весь период наблюдений; b – сумма значений квантилей нормального распределения $U(Z_i)$ за период наблюдений; c – сумма произведений квантилей нормального распределения $U(Z_i)$ на соответствующий им период наблюдений; d – сумма квадратов квантилей нормального распределения $U(Z_i)$ за период наблюдений; n – число наблюдений.

$$a = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (95)$$

$$b = \sum_{i=1}^n U(Z_i), \quad (96)$$

$$c = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot U(Z_i), \quad (97)$$

$$d = \sum_{i=1}^n U^2(Z_i), \quad (98)$$

Тогда средний срок службы будет определяться как:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{a + \sigma \cdot b}{n}, \quad (99)$$

Следует учитывать, что при любых, даже самых совершенных технических решениях вероятность отказа элемента всегда остается. Уменьшить количество отказов или сделать их последствия минимальными возможно предупредительными мероприятиями, такими как техническое обслуживание, плановые ремонты и т.д.

Условие задачи

В домах серии П-44 обследовано 34 тыс. м² линолеумных полов, имеющих рекомендуемую продолжительность эксплуатации до капитального ремонта 20 лет. Из анализа дефектных ведомостей подсчитано, что для данной группы домов отказы наблюдались: через 6 лет – на площади 50 м²; через 8 лет – на площади 54 м²; через 10 лет – на площади 910 м²; через 12 лет – на площади 1420 м². На основании представленных данных требуется рассчитать средний срок службы линолеумных полов.

Варианты ответов

(!) 17,5 лет

(?) 27,5 лет

(?) 7,5 лет

(?) 15,7 лет

(?) 5,7 лет

Указание или анализ (подсказка)

число отказавших элементов $m_0(Z_i)$ не складывается. Квантиль нормального распределения $U(Z_i)$ определяется интерполяцией. Точность расчетов - 4 знака после запятой.

Полное решение задачи

Частота отказов $I(Z_i)$ при i -том наблюдении:

$$I(Z_1) = 50 : 34000 = 0,0014$$

$$I(Z_2) = 54 : 34000 = 0,0015$$

$$I(Z_3) = 910 : 34000 = 0,0267$$

$$I(Z_4)=1420:34000=0,0417$$

Вероятность безотказной работы $P(Z_i)$ в процессе эксплуатации:

$$P(Z_1)=1-0,0014=0,9986$$

$$P(Z_2)=1-0,0015=0,9985$$

$$P(Z_3)=1-0,0267=0,9733$$

$$P(Z_4)=1-0,0417=0,9583$$

Квантиль нормального распределения $U(Z_i)$ определяется по таблице 1 путем интерполяции по значению $P(Z_i)$:

$$U(Z_1)=3,0052$$

$$U(Z_2)=2,9840$$

$$U(Z_3)=1,9331$$

$$U(Z_4)=1,7298$$

Среднее квадратичное отклонение σ от срока службы определяется как:

$$\sigma = \frac{81,9918 - \frac{36 \cdot 9,6521}{4}}{\frac{9,6521^2}{4} - 24,6644} = 3,5 \quad (\text{лет})$$

где,

$$a=6+8+10+12=36 \text{ лет}$$

$$b=3,0052+2,9840+1,9331+1,7298=9,6521$$

$$c=6 \cdot 3,0052+8 \cdot 2,9840+10 \cdot 1,9331+12 \cdot 1,7298=18,0312+23,872+19,331+20,7576=81,9918$$

$$d=3,0052^2+2,9840^2+1,9331^2+1,7298^2=9,0312+8,9042+3,7368+2,9922=24,6644$$

$$n=4 \text{ (количество наблюдений)}$$

Средний срок службы $Z_{\text{ср}}$ линолеумных полов:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{36 + 3,5506 \cdot 9,6521}{4} = 17,5 \text{ лет}$$

Вывод: прогнозируемая долговечность линолеумных полов 17,5 лет несколько меньше рекомендуемой в ВСН 58-88(р) «Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий

объектов коммунального и социально-культурного назначения» (20 лет), что вызвано спецификой условий их эксплуатации в рассматриваемой группе зданий. Для обеспечения надлежащего качества состояния конструкций в эксплуатируемых зданиях рекомендуется планировать проведение капитального ремонта линолеумных полов на 17 год их эксплуатации.

Задания для самостоятельного решения

Рассчитайте средний срок службы элементов здания по результатам данных периодического обследования.

Таблица 39

Варианты заданий

Вариант	Обследованный конструктивный элемент		Период наблюдений, год	Количество отказов, ед. изм.
	Материал	Количество, ед. изм.		
1	штукатурка фасада декоративная	42 420 м ²	8	10
			12	28
			16	440
			20	1760
2	оконные заполнения деревянные	34 200 м ²	2	80
			4	110
			6	280
			8	520
3	полы из коврового покрытия	54 320 м	1	10
			2	80
			3	110
			4	180
4	кровля из волнистого шифера	18 340 м ²	10	110
			12	240
			15	620
			18	1050
5	полы паркетные (бук)	110 000 м ²	10	90
			15	110
			18	950
			20	1100
6	кровля из оцинкованной стали	22 880 м ²	5	10
			7	450
			9	1000
			12	1980

Вариант	Обследованный конструктивный элемент		Период наблюдений, год	Количество отказов, ед. изм.
	Материал	Количество, ед. изм.		
7	герметизация стыков силиконовым герметиком	7 110 м ²	2	70
			3	180
			4	210
			5	420
8	полы из линолеума на тканевой основе	27 520 м ²	4	12
			5	40
			6	90
			7	110
9	кровля из рулонных материалов «рубемаст»	32 200 м ²	5	25
			6	46
			7	650
			8	850
10	полы из плит типа «брекчия»	4 100 м ²	4	18
			10	26
			15	150
			20	230

Тема 2.4. Расчет показателей ремонтпригодности

Практическое занятие №20. Расчет проектных показателей ремонтпригодности: технологические показатели

Методические указания к решению задачи

Одним из параметров надежности является ремонтпригодность, т.е. приспособленность конструкции к восстановлению и замене. Особенно важно проводить предварительную оценку ремонтпригодности для сменяемых в процессе эксплуатации многоэлементных (например, многослойных) конструктивных элементов. Сюда, в первую очередь, относятся полы, кровли, стыки наружных панелей.

Для анализа ремонтпригодности конструкций используется система показателей и коэффициентов, позволяющих оценить технологичность конструкции, время, затраченное на ремонт, материальные затраты.

Применяя эту систему, необходимо рассматривать порядок восстановления конструкции, который диктуется необходимостью замены наименее долговечного элемента (именуемого основным). Прочие необходимые работы являются вспомогательными.

Таким образом, приступая к анализу ремонтпригодности, следует рассмотреть поэлементно конструкцию (начиная с верхнего элемента) с учетом сроков службы всех элементов, трудоемкости и стоимости замены каждого из них.

Если работы проводятся в стесненных условиях, необходимо вводить коэффициент 1,15 к затратам труда рабочих и прямым затратам.

Конструктивное решение любого многослойного элемента здания оценивается с помощью технологических коэффициентов.

Коэффициент доступности k_d показывает долю затрат труда на выполнение замены отказавшего элемента от суммарных трудозатрат на ремонт конструкции из-за отказавшего элемента:

$$k_d = 1 - \frac{T_{\text{вспом}}}{T_{\text{вспом}} + T_{\text{осн}}}, \quad (100)$$

где, $T_{\text{осн}}$ – затраты труда на выполнение основных операций в процессе восстановления работоспособности конструкции; $T_{\text{вспом}}$ – затраты труда на выполнение вспомогательных операций в процессе восстановления работоспособности конструкции.

Коэффициент контролепригодности k_k определяет долю элементов конструкции, состояние которых контролируется без разборки других элементов в процессе замены конкретного элемента:

$$k_k = 1 - \frac{N_1}{N_1 + N_2}, \quad (101)$$

где, N_1 – число элементов, которые необходимо демонтировать, чтобы провести контроль работоспособности рассматриваемого элемента конструкции; N_2 – число элементов, контролируемых без демонтажа.

Условие задачи

Кровля состоит из 3-х слоев рубемаста, основанием кровли служит цементно-песчаная стяжка толщиной 30 мм по утеплителю из жестких минераловатных плит, пароизоляция – из слоя пергамина. Трудоемкость замены элементов конструкции указаны в таблице 3.

Требуется дать оценку ремонтпригодности слоя утеплителя по показателю доступности.

Таблица 40

Исходные данные

Перечень работ по ремонту кровли		Трудоемкость процесса замены элемента Т, чел-час/м ²
1.Разборка	рулонного ковра	0,29
2.Устройство		0,87
3.Разборка	стяжки	0,29
4.Устройство		0,41
5.Демонтаж	утеплителя	0,44
6.Устройство		0,34
7.Разборка	пароизоляции	0,11
8.Устройство		0,17

Варианты ответов

(!) 0,3

(?) 0,2

(?) 0,86

(?) 1,86

(?) 0,78

Указание или анализ (подсказка)

При расчете коэффициента доступности следует понимать, что основными работами являются работы по разборке и устройству заменяемого слоя многослойной конструкции, а под вспомогательными работами подразумеваются работы по вынужденной замене всех предыдущих слоев. Слой считается полностью доступным, если при его ремонте не выполняются никакие вспомогательные работы.

Полное решение задачи

Что отремонтировать утеплитель, необходимо разобрать, а затем устроить заново все выше лежащие слои, а именно гидроизоляцию и стяжку.

Определим трудозатраты вспомогательных операций:

$$T_{\text{вспом}} = 0,29 + 0,87 + 0,29 + 0,41 = 1,86 \text{ чел-час/м}^2$$

Определим трудозатраты основных операций:

$$T_{\text{осн}} = 0,44 + 0,34 = 0,78$$

Определим коэффициент доступности утеплителя:

$$k_d = 1 - \frac{1,86}{1,86 + 0,78} = 0,3$$

Из общих трудозатрат на ремонт отказавшего слоя уходит только 30%.

Задания для самостоятельного решения

Определите коэффициент доступности заданного слоя многослойной конструкции

Таблица 41

Варианты заданий

Вариант	Заданный слой	Трудоемкость процесса замены элемента Т, чел-час/м ²					
		Слой 1		Слой 2		Слой 3	
		Разборка	Устройство	Разборка	Устройство	Разборка	Устройство
1	2	0,15	0,39	0,26	0,27	0,2	0,29
2	3	0,73	1,09	0,29	0,41	0,44	0,26
3	2	0,42	0,32	0,3	0,53	0,34	0,2
4	3	0,51	1,27	0,26	0,27	0,12	0,18
5	2	0,42	0,96	0,29	0,41	0,11	0,17
6	3	0,18	0,79	0,3	0,53	0,2	0,29
7	2	0,2	0,43	0,26	0,27	0,44	0,26
8	3	0,2	0,58	0,29	0,41	0,34	0,2
9	2	0,18	0,36	0,3	0,53	0,12	0,18
10	3	0,59	1,25	0,3	0,53	0,11	0,17

Практическое занятие №21. Расчет проектных показателей ремонтпригодности: временные и экономические показатели

Методические указания к решению задачи

Показательными критериями ремонтпригодности отдельных элементов

являются время восстановления рабочего состояния конструкции, а также объем материальных ресурсов, затраченных на ремонт или замену отказавших конструктивных элементов.

Коэффициент ремонтозависимости k_{pz} учитывает необходимость вывода элемента до истечения его срока службы из состава конструкции при необходимости замены других элементов, т.е. полноту использования ресурса отдельными элементами конструкции:

$$k_{pz} = \frac{Z_3}{Z_{nz}}, \quad (102)$$

где, Z_3 – срок службы элемента, зависящего от срока службы других элементов, входящих в комплекс данной конструкции; Z_{nz} – срок службы элемента, независимого от срока службы других элементов, входящих в комплекс данной конструкции.

Лучшим конструктивным решением считается такое, при котором сроки службы всех элементов совпадают. На практике этого добиться бывает практически невозможно. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы соотношение срока службы ремонтнозависимого элемента к сроку службы ремонтонезависимого было кратным целому числу из соображения полноты использования ресурса каждого элемента конструкции.

Относительная стоимость восстановительных работ или стоимостной показатель ремонтпригодности показывает долю затрат на восстановление элемента в общих затратах:

$$C_{отн} = \frac{C_{осн}}{C_{общ}} \quad (103)$$

где, $C_{осн}$ – стоимость основных затрат на восстановление отказавшего элемента; $C_{общ}$ – стоимость общих затрат, связанных с восстановлением работоспособности всей конструкции.

Условие задачи

Кровля состоит из 3-х слоев рубемаста, основанием кровли служит цементно-песчаная стяжка толщиной 30 мм по утеплителю из жестких

минераловатных плит, пароизоляция – из слоя пергамина. Стоимость замены элементов конструкции и их сроки службы указаны в таблице 42. Требуется дать оценку ремонтпригодности слоя утеплителя по временному и экономическому показателям.

Таблица 42

Исходные данные

Перечень работ по ремонту кровли		Материал и срок службы элемента Z_{cp} , год	Стоимость процесса замены элемента C , руб/м ²
1.Разборка	рулонного	рубемаст	14,83
2.Устройство	ковра	12	43,87
3.Разборка	стяжки	стяжка цем.-песч.	11,83
4.Устройство			20
5.Демонтаж	утеплителя	минватные плиты	17,62
6.Устройство			15
7.Разборка	пароизоляции	пергамин	5,67
8.Устройство			8

Варианты ответов

(!) 1,25; 0,39

(?) 1,39; 0,25

(?) 0,8; 0,39

(?) 0,32; 0,39

(?) 1,25; 0,46

Указание или анализ (подсказка)

Независимыми считаются элементы (слои), которые можно отремонтировать без затрагивания других элементов (слоев).

Полное решение задачи

Что отремонтировать утеплитель, необходимо разобрать, а затем устроить заново все выше лежащие слои, а именно гидроизоляцию и стяжку.

Ремонтнезависимым является только верхний слой.

Тогда коэффициент ремонтзависимости:

$$k_{pz} = \frac{15}{12} = 1,25$$

Определим стоимость вспомогательных операций:

$$C_{\text{вспом}} = 14,83 + 43,87 + 11,83 + 17,98 = 88,51 \text{ руб/м}^2$$

Определим стоимость основных операций:

$$C_{\text{осн}} = 17,62 + 37,79 = 55,41 \text{ руб/м}^2$$

Определим относительную стоимость восстановительных работ:

$$C_{\text{отн}} = \frac{55,41}{55,41 + 88,51} = 0,39$$

Из общей стоимости на ремонт отказавшего слоя уходит 39%.

Задания для самостоятельного решения

Определите коэффициент ремонтозависимости и относительную стоимость восстановительных работ заданного слоя многослойной конструкции.

Таблица 41

Варианты заданий

Вариант	Заданный слой	Стоимость процесса замены элемента С, руб/м ²								
		Слой 1			Слой 2			Слой 3		
		Разборка	Устройство	Срок службы, лет	Разборка	Устройство	Срок службы, лет	Разборка	Устройство	Срок службы, лет
1	2	11,51	171,26	40	15,64	77,38	30	5,67	13,79	12
2	3	10,50	206,19	60	14,83	38,99	15	15,17	16,32	9
3	2	9,58	216,86	50	244	43,87	30	12,60	15,13	10
4	3	19,67	91,09	30	14,41	57,39	18	2,76	19,97	15
5	2	29,12	132,08	25	21,51	98,31	25	22,50	10,24	20
6	3	2,68	40,22	40	31,11	93,99	12	11,61	28,41	40
7	2	12,77	41,96	12	10,69	13,63	20	17,62	34,79	30
8	3	22,45	48,60	20	11,83	17,98	15	9-38	39,94	8
9	2	18,29	76,23	15	13,04	23,19	15	19,67	91,09	9
10	3	14,41	66,45	40	5,67	13,42	25	29,12	132,08	10

Практическое занятие №22. Эксплуатационные показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления работоспособности

Методические указания к решению задачи

Вероятность восстановления работоспособности является одним из

показателей ремонтпригодности и показывает вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение. Если известны статистические данные о фактических сроках восстановления, о потоке отказов, то вероятность восстановления элементов зданий и сооружений можно найти по формуле:

$$P(\tau) = 1 - e^{-\mu}, \quad (104)$$

где μ – интенсивность восстановления работоспособности элемента:

$$\mu = \frac{\tau}{T_B}, \quad (105)$$

где τ – нормативное время восстановления, ч; T_B – среднее время восстановления, ч.

Условие задачи

В период отопительного сезона обнаружен отказ системы отопления в многоквартирном жилом доме. Характеру отказа соответствует среднее время восстановления 0,5 часа. Нормативный срок аварийного восстановления 1 час. Какова вероятность восстановления системы отопления к требуемому времени?

Варианты ответов

(!) 0,86

(?) 0,95

(?) 0,96

(?) 0,85

(?) 0,80

Указание или анализ (подсказка)

Вероятность восстановления следует определять по формуле (104).

Полное решение задачи

Определим интенсивность восстановления работоспособности элемента:

$$\mu = \frac{1}{0,5} = 2$$

Тогда вероятность восстановления системы к заданному сроку:

$$P(\tau) = 1 - e^{-\mu} = 1 - e^{-2} = 1 - 0,1353 = 0,86$$

Ответ: $P(\tau)=0,86$

Задания для самостоятельного решения

Определить вероятность восстановления водоснабжения многоквартирного жилого дома после аварии.

Таблица 42

Варианты заданий

Вариант	Среднее время восстановления, ч	Нормативное время восстановления, ч
1	2,0	4
2	0,5	4
3	1,0	4
4	1,5	4
5	3,0	4
6	2,5	4
7	4,0	4
8	3,5	4
9	2,2	4
10	3,5	4

Тема 2.5. Влияние надежности на показатели энергоресурсоэффективности эксплуатируемого объекта

Практическое занятие №23. Выбор и обоснование технического мероприятия по обеспечению надежности и энергоресурсоэффективности

Методические указания к решению задачи

Увлажнение конструкций, образование в них устойчивой сырости являются наиболее опасным дефектом, т.к. ведет к их промерзанию, поскольку коэффициент теплопроводности влажного материала выше, а также снижению прочности и разрушению. Также приводит к увеличению влажности воздуха в помещениях, что негативно сказывается на сохранности оборудования, конструкций и жизнедеятельности людей.

Следовательно, поддержание требуемых характеристик влажности конструкций является необходимым условием, определяющим безопасность

объекта эксплуатации, а также долговечность его функционирования, т.е. надежность.

Осушение конструкций может выполняться разными способами, которые требуют дополнительных затрат энергоресурсов, следовательно, требуется расчет таких способов.

В случае необходимости искусственной сушки выбор способа сушки следует производить с учетом площади поверхностей и объема осушаемых конструкций, допустимых сроков сушки, вида строительной конструкции и примененных в ней материалов, имеющихся источников энергии и отопительно-обогревательных устройств, технологического процесса размещенного в здании производства, климатических условий и др.

При применении отопительно-обогревательных устройств конвективного типа нагретый воздух, движущийся около осушаемых поверхностей, должен иметь, как правило, температуру 50-55°C. При применении отопительно-обогревательных устройств радиационного типа на осушаемых поверхностях следует поддерживать температуру, как правило, до 70°C. Отопительно-обогревательные устройства конвективного типа следует применять преимущественно для общей сушки помещений, а радиационного – для сушки отдельных участков конструкций. В процессе сушки должен быть обеспечен отвод влаговывделений из помещений.

Количество избыточной влаги, подлежащее удалению в процессе сушки из единицы площади конструкции, может быть определено как:

$$G = \frac{\gamma(\omega_n - \omega_k)}{100} \cdot b, \quad (106)$$

где G – количество удаляемой влаги из конструкции, кг/м³, γ – объемный вес материала, кг/м³; ω_n – начальная фактическая влажность материала, %; ω_k – конечная допустимая влажность материала, %; b – толщина конструкции, м.

Количество воздуха L , которое подаваемого вентилятором в течение часа для удаления влаги из конструкции (производительность вентиляционной установки):

$$L = \frac{1000 \cdot G}{t(\alpha_B - \alpha_H)}, \quad (107)$$

где L – количество осушающего воздуха, м³/ч; t – продолжительность осушения, ч; α_B – содержание влаги в 1 м³ воздуха, удаляемого из помещения, при сушке, г; α_H – содержание влаги в 1 м³ воздуха, подаваемого в помещение, где производится сушка, г.

Таблица 43

Содержание влаги в 1 кубометре воздуха

Температура воздуха, °С	При его относительной влажности, г				
	60	70	80	90	100
-30	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7
-25	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
-20	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
-15	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6
-10	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3
0	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9
+5	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8
+10	5,6	6,6	7,6	8,5	9,4
+15	7,7	9,0	10,2	11,5	12,8
+20	10,8	12,0	13,8	15,5	17,2
+25	13,7	16,0	18,3	20,6	22,9
+30	18,1	21,1	24,1	27,1	30,1

Производительность отопительных систем оценивается по количеству тепла, необходимого для осушения стен, которое определяется по тепловому балансу помещения:

$$Q = 1,1 \cdot (1,2 \cdot Q_1 + Q_2 + Q_3) - Q_4, \quad (108)$$

где Q – производительность конвективной установки, кКал/ч; Q_1 – количество тепла, необходимое для испарения влаги из стены, кКал/ч; Q_2 – количество тепла, необходимое для нагревания подаваемого в помещение воздуха, кКал/ч; Q_3 – теплопотери через ограждения, кКал/ч; Q_4 –

производительность постоянного отопления, кКал/ч.

Если считать, что теплопотери восполняются производительностью отопительных систем, то в расчетах ими пренебрегаем:

$$Q_1 = \frac{\tau \cdot G}{t}, \quad (109)$$

где τ – скрытая теплота парообразования, кКал/кг.

Таблица 44

Скрытая теплота парообразования

Температура воздуха в помещении, °С	Скрытая теплота парообразования τ , кКал/кг
5	603
10	600
15	596
20	593
25	589

Количество тепла, необходимое для нагревания воздуха, подаваемого в помещение:

$$Q_2 = 0,31 \cdot L \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (110)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С.

Таблица 45

Нормативные значения влажности материалов

№ п/п	Материал	Плотность γ , кг/м ³	Влажность материала, %	
			массовая	объемная
1	Красный кирпич в сплошных стенах	1800	1,5	2,7
2	Кирпич красный в стенах с воздушной прослойкой	1800	0,5	0,9
3	Кирпич силикатный	1900	2,5	4,8
4	Бетон тяжелый	2000	1,5	3,0
5	Шлакобетон	1300	3,0	3,9
6	Керамзитобетон	1000	6,0	6,0
7	Пенобетон в наружных стенах	700	10,0	7,0
8	Пеностекло	350	3,0	1,1
9	Штукатурка известково-песчаная	1600	1,0	1,6
10	Шлак топливный в засыпке	750	3,5	2,6
11	Минераловатные плиты	200	2,0	0,4
12	Дерево (сосна)	500	15	7,5
13	Фибролит цементный	350	15	5,2
14	Торфоплиты	225	20	4,5

15	Пенополистирол	25	5	0,12
----	----------------	----	---	------

Условие задачи

Стена площадью 100 м^2 выполнена из силикатного кирпича толщиной 380 мм и имеет влажность 16% . Необходимо довести влажность стены до нормируемого значения. Температура внутри помещения составляет $t_{\text{в}}=20^\circ\text{C}$, влажность в помещении $\varphi_{\text{в}}=80\%$. Температура наружного воздуха $t_{\text{н}}=-15^\circ\text{C}$, влажность наружного воздуха $\varphi_{\text{н}}=70\%$.

Рассчитать производительность тепловентиляционных установок.

Варианты ответов

(!) 675 кВт

(?) 675 ч

(?) 675 кг

(?) 1675 кВт

(?) 115 кВт

Указание или анализ (подсказка)

При расчете необходимо помнить, что формула (106) приведена на единицу конструкции, поэтому в расчете надо учесть площадь увлажненной конструкции. Продолжительность работы установок принимаем круглосуточно. Табличные данные определяются по интерполяции.

Полное решение задачи

По табл. 45 по данным материала стены $\gamma=1900 \text{ кг/м}^3$, $\omega_{\text{н}}=4,8\%$

Определение количества влаги, подлежащего удалению:

$$G = \frac{\gamma(\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{к}})}{100} \cdot b \cdot S = \frac{1900 \cdot (16 - 4,8)}{100} \cdot 0,38 \cdot 100 = 8086,4 \text{ кг.}$$

По табл. 43 по данным температуры и влажности воздуха определяем $\alpha_{\text{в}}=13,8 \text{ г.}; \alpha_{\text{н}}=1,1 \text{ г.}$

Определение количества воздуха, которое должно быть удалено вентилятором в течение суток:

$$L = \frac{1000 \cdot G}{Z(\alpha_{\text{в}} - \alpha_{\text{н}})} = \frac{1000 \cdot 8086,4}{24(13,8 - 1,1)} = 26530 \text{ м}^3/\text{ч}$$

По табл. 44 определяем скрытую теплоту парообразования $\tau=593$ кКал/кг.

Определение количества тепла, необходимого для испарения влаги из стены:

$$Q_1 = \frac{\tau \cdot G}{Z} = \frac{593 \cdot 8086,4}{24} = 199801 \text{ кКал/ч}$$

Определение количества тепла, необходимого для нагревания подаваемого в помещение воздуха:

$$Q_2 = 0,31 \cdot L(t_B - t_H) = 0,31 \cdot 26530 \cdot (20 - (-15)) = 287850 \text{ кКал/ч}$$

Определение производительности отопительных установок:

$$Q = 1,1(1,2Q_1 + Q_2) = 1,1(1,2 \cdot 199801 + 287850) = 580372 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Учитывая, что 1 кКал/час = 0,001163 кВт

Производительность нагревательных установок составит

$$Q = 580372 \cdot 0,001163 = 675 \text{ кВт}$$

Вывод: подбор установки для конвективного осушения стен производится по двум параметрам: производительности вентиляционных установок и нагревательных приборов по соответствующим таблицам и номограммам. Зная модель установки по максимальному расходу воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) и диапазону мощности нагрева (кВт) подбирается нужное количество элементов и определяется период осушения конструкции.

Рассмотрим конвективную установку с расходом воздуха $5500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и мощностью нагрева 10 кВт. Тогда принимаем 6 установок и период осушения составит $675 \text{ кВт} : 6 \text{ шт} = 115 \text{ кВт}$ 1 прибор. Осушение за 115 ч.

$$Z = \frac{1000 \cdot G}{L(\alpha_B - \alpha_H)} = \frac{1000 \cdot 8086,4}{5500(13,8 - 1,1)} = 115 \text{ ч}$$

Задания для самостоятельного решения

Рассчитать конвективную установку по осушению конструкции, если было зафиксировано увлажнение материала.

Таблица 46

Варианты заданий

Вариан	Площадь	Толщина	Фактическая	Температура и
--------	---------	---------	-------------	---------------

Т	ограждающе й конструкции, м ²	ограждающе й конструкции, м	я влажность материала, %	влажность			
				Внутреннег о воздуха		Наружног о воздуха	
				°С	%	°С	%
1	20	0,38	15	25	70	-15	70
2	30	0,38	19	17	80	-16	70
3	40	0,4	25	20	75	-20	65
4	20	0,35	23	22	70	-25	60
5	50	0,45	15	15	90	-10	85
6	40	0,51	17	17	80	-11	90
7	20	0,5	19	24	75	-19	65
8	50	0,4	17	20	75	-16	70
9	30	0,45	23	18	70	-11	90
10	50	0,4	19	16	90	-16	70