НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ С ТРЕБУЕМОЙ ОГНЕСТОЙКОСТЬЮ

МОСКВА–1987

gost.e-ecolog.ru

Госстрой СССР
Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский институт
бетона и железобетона
(НИИЖБ)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ С ТРЕБУЕМОЙ ОГНЕСТОЙКОСТЬЮ

Утверждены
директором НИИЖБ
21 ноября 1986 г.

Москва 1987

УДК 699.81

Печатается по решению секции коррозии и спецбетонов НТС НИИЖБ Госстроя СССР от 22 апреля 1986 г.

Рекомендации по проектированию многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью. М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1987, с.27.

Рекомендации содержат основные положения по проектированию многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью. Приведе н ы таблицы для определения параметров, используемых при расчетах. Даны программы для расчетов на программируемых микрокалькулято р а х МК-54, БЗ-34, а также приведены примеры проектирования многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью.

Предназначены для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

Табл. 5.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) Госстроя СССР, 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года намечено продолжить совершенствование проектно-сметного дела, предусматривать в проектах широкое применение прогрессивных научно-технических достижений. Повышение надежности и экономичности проектных решений возможно при комплексном подходе и учете на стадии проектирования различных факторов, возникающих в процессе эксплуатации, в частности, возможных пожаров. Для обеспечения этого необходима методика проектирования конструкций с требуемой огнестойкостью.

Настоящие Рекомендации составлены в дополнение и развитие "Пособия по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП П-2-80)", (М., Стройиздат, 1985) и "Рекомендаций по определению пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций" (М., Стройиздат, 1986).

Рекомендации обобщают опыт теоретических и экспериментальных исследований огнестойкости железобетонных конструкций, основанный на результатах многочисленных огневых и высокотемпературных испытаний, выполненных НИИЖБ Госстроя СССР и Симферопольским филиалом Днепропетровского ИСИ, а также анализа отечественных и зарубежных работ.

Предлагаемая методика расчета заключается в оценке несущей способности железобетонных конструкций с учетом изменения условий совместной работы арматуры и бетона при огневом воздействии, а также в обеспечении при проектировании требований глав СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции", СНиП 2.01.02-85 "Противопожарные нормы", СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" и стандарта СЭВ 1000-78 "Противопожарные нормы строительного проектирования. Метод испытания строительных конструкций на огнестойкость".

В основу методики теплотехнического расчета положена "Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций на основе применения ЭВМ" (М., ВНИИПО МВД СССР, 1975). Статическая часть расчета выполнена по СНиП 2.03.01-84 с учетом изменения свойств материалов и условий их совместной работы при пожаре.

В Рекомендациях приведены таблицы, позволяющие оперативно определить огнестойкость плит перекрытий или подобрать необходимые параметры сечения плит для обеспечения требуемого предела огнестойкости, а также программы для выполнения расчета огнестойкости плит на программируемых микрокалькуляторах.

Применение Рекомендаций позволит на стадии проектирования повысить надежность многопустотных плит перекрытий и сократить затраты на их огневые испытания.

Рекомендации разработаны доктором техн.наук, проф. В.В.Жуковым (НИИЖБ Госстроя СССР), кандидатом техн.наук, доц. Э.Ф.Панюковым, инженером Ю.П. Линченко (Симферопольский филиал Днепропетровского ИСИ) при участии канд.техн.наук В.Л.Морозенского (ЦНИИЭП торговобытовых зданий и туристских комплексов), канд.техн.наук В.В.Соломонова, канд.физ.-мат.наук А.Е.Сегалова, канд.техн.наук В.В.Фигаровского (НИИЖБ Госстроя СССР).

Все замечания и предложения по содержанию настоящих Рекомендаций просим направлять в НИИЖБ по адресу: Москва, I09389, 2-я Институтская ул., д.6, лаборатория жаростойких бетонов, конструкций и огнестойкости железобетонных конструкций.

Дирекция НИИЖБ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Огнестойкость многопустотных плит перекрытий должна соответствовать требованиям СНиП 2.0I.02-85.

I.2. По теплоизолирующей и огнепреграждающей способности при проектировании в соответствии с требованиями СНиП 2.03.0I-84 огнестойкость многопустотных плит перекрытий заведомо обеспечена и не требует проверки.

I.3. По несущей способности огнестойкость многопустотных плит перекрытий определяют расчетом, состоящим из теплотехнической и статической частей.

I.4. В теплотехнической части расчета определяют температуру продольной рабочей арматуры в конструкции по истечении времени τ_u после начала огневого воздействия, равного нормированному пределу огнестойкости.

I.5. В статической части расчета определяют несущую способность плиты при огневом воздействии.

I.6. Нагрузки и условия опирания следует принимать в соответствии с конкретным проектом здания и сооружения, в котором будет применяться конструкция. Для типовых конструкций принимают сочетание нагрузок и условий опирания, которое приводит к наименьшей огнестойкости. При указании расчетного значения огнестойкости конструкции в рабочих чертежах или других документах следует приводить величину нагрузки и условия опирания, для которых это значение определено.

I.7. В соответствии с главой СНиП 2.0I.07-85 сочетания нагрузок, принимаемые для расчета огнестойкости, следует рассматривать как особые. В особых сочетаниях нагрузок допускается не учитывать кратковременные нагрузки и включать лишь постоянные и временные длительные нагрузки с коэффициентом надежности, равным единице.

Расчетные сопротивления материалов для расчета огнестойкости конструкций следует принимать с коэффициентом надежности, равным 0,83 по бетону и 0,9 по арматуре.

I.8. Предел огнестойкости многопустотных плит перекрытий, армированных стержневой арматурой, может наступить по двум причинам:

из-за проскальзывания арматуры на опоре при нагреве контактного слоя бетона и арматуры до критической температуры, t_{an} ;

из-за температурной ползучести арматуры и разрушения по нормальным сечениям при нагреве арматуры до критической температуры, t_s .

I.9. Рекомендациями нельзя пользоваться при расчете перекрытий, в которых при огневом воздействии возможно возникновение отколов, уменьшающих размеры сечения или обнажающих арматуру.

Возможность появления при нагреве плит отколов бетона можно оценить расчетом по методике, приведенной в "Рекомендациях по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения" (М., Стройиздат, I979). Отколы бетона могут приводить к потере огнепреграждающей способности конструкции, к потере огнестойкости по несущей способности, как следствие ускоренного прогрева арматуры.

2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

2.I. В теплотехнической части расчета определяют температуру продольной арматуры в пролете t_s и в зоне анкеровки t_{an} на тот момент времени, когда исчерпывается требуемый (нормированный) предел огнестойкости при нагреве перекрытия по стандартному температурному режиму пожара. Этот режим характеризуется зависимостью:

$$t = 345\ lg\ (480\tau + I) + 20 \quad . \qquad (I)$$

2.2. Степень огнестойкости жилых зданий устанавливают по СНиП 2.08.0I-85; общественных зданий - по СНиП 2.08.02-85. По степени огнестойкости здания в соответствии с п.2.2 СНиП 2.0I.02-85 определяют требуемый предел огнестойкости плит перекрытия.

2.3. Температуру арматурного стержня t_s, расположенного у обогреваемой поверхности плоской конструкции, определяют по формуле

$$t_s = I250 - I230\ erf\ x \ , \qquad (2)$$

где $erf\ x$ - функция ошибок Гаусса.

2.4. Расчет температуры арматурного стержня t_s выполняют в следующей последовательности.

Теплотехнические характеристики бетона, приведенные к средней температуре t_m = 450°С, определяют по формулам:

приведенный расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/м°С

$$\lambda_t = A + B \cdot t_m \ , \qquad (3)$$

приведенная расчетная удельная теплоемкость, кДж/кг °С

$$C_t = C + Д \cdot t_m \ , \qquad (4)$$

где коэффициенты А, В, С, Д принимают по табл.I прил.I.

приведенный расчетный коэффициент температуропроводности, $м^2/ч$

$$a_{red} = \frac{3{,}6\,\lambda\,t}{(C_t + 0{,}05\,W)\,\rho}\,, \qquad (5)$$

где W - весовая влажность бетона в стадии эксплуатации, %, определяется по прил.3, СНиП П-3-79* "Строительная теплотехника";

ρ - средняя плотность бетона (сухого), $кг/м^3$.

2.5. В случае отсутствия данных о виде заполнителя и влажности бетона в стадии эксплуатации следует принимать значения коэффициентов по табл.I для бетонов с возможно большей плотностью и наимень - шей влажностью.

2.6. Коэффициенты φ_1 , φ_2 определяют в зависимости от плотности сухого бетона по табл. 2 и 3 прил.I. В случае отсутствия данных о плотности бетона следует принимать значения коэффициентов для бетона с наибольшей возможной плотностью.

2.7. Аргумент X функции ошибок Гаусса определяют по формуле

$$x = \left(\varphi_1 + \left(y + \varphi_2 d_s\right)/\sqrt{a_{red}}\right)/\left(2\sqrt{\tau_u/0{,}9}\right), \qquad (6)$$

где d_s - диаметр арматурного стержня, м; y - расстояние от обогреваемой поверхности до края арматурного стержня, м; 0,9 - коэффициент, учитывающий ускоренный прогрев арматуры многопустот - ных плит по сравнению с плитами сплошного сечения; τ_u - предел огнестойкости плиты перекрытия, определенный в соответствии с указаниями пп.2.I, 2.2. ,в часах.

2.8. Функция ошибок Гаусса выражается интегралом

$$erf\,x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2}\,dx\,. \qquad (7)$$

Ее значения определяются по таблицам, либо по алгебраическому выражению:

$$erf\,x = I - \left(\lambda\cdot(348 + \lambda\cdot(748\,\lambda - 96))\cdot e^{-x^2}\cdot 10^{-3}\right), \qquad (8)$$

где $\lambda = I/(I + 0{,}47X)$

2.9. Температуру арматурного стержня t_s вычисляют по формуле (2). Программа для вычисления t_s на программируемом микрокалькуляторе приведена в прил.2, "Программа I".

2.I0. Температуру арматуры в зоне анкеровки t_{an} при опирании

плит на железобетонные ригели, диафрагмы или стены, то есть на участках, не подвергающихся прямому огневому воздействию, принимают $t_{an} = 0{,}8\, t_s$, при опирании на металлические балки $t_{an} = t_s$.

2.II. При расположении продольной рабочей арматуры в два ряда по высоте плиты следует определять температуру стержней каждого ряда в отдельности. Для плит, армированных арматурой различных диаметров, при средней плотности бетона $\rho < 2000$ кг/м^3, следует вычислять температуру стержней каждого диаметра.

3. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ПО ИЗГИБАЮЩЕМУ МОМЕНТУ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

3.I. Расчет огнестойкости плит при действии изгибающего момента по опасному наклонному сечению должен производиться из условия

$$M_{nt} = M_{st} + M_{swt} , \qquad (9)$$

где M_{nt} - изгибающий момент в наклонном сечении от действия постоянных и длительных нормативных нагрузок, учитываемых в расчете согласно указаниям п.I.6, I.7 настоящих Рекомендаций.

3.2. Момент, воспринимаемый продольной арматурой, пересекающей растянутую зону наклонного сечения, при огневом воздействии с учетом изменения совместной работы арматуры с бетоном определяют по формуле

$$M_{st} = R_s \gamma_{s5} \gamma_{s5,t} A_s Z_s , \qquad (10)$$

где R_s - расчетное сопротивление арматуры для расчета огнестойкости; γ_{s5} - коэффициент условий работы арматуры в зоне передачи напряжений для арматуры без анкеров, определяемый по указаниям пп.2.28, 2.29 СНиП 2.03.0I-84; Z_s - плечо внутренней пары сил; c - длина проекции наиболее опасного наклонного сечения; $\gamma_{s5,t}$ - коэффициент условий работы арматуры в зоне передачи усилий при огневом воздействии, определяемый по табл.4 прил.I в зависимости от температуры контактного слоя бетона и арматуры.

3.3. Момент M_{swt} , воспринимаемый поперечными стержнями с равномерным шагом в пределах растянутой зоны рассматриваемого сечения, при огневом воздействии определяется по формуле

$$M_{swt} = R_{sw} \gamma_{swt} A_{sw} \cdot c^2 / (2S) , \qquad (11)$$

где γ_{swt} - коэффициент условий работы поперечной арматуры при огне-

вом воздействии, принимаемый равным 0,8.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ С ТРЕБУЕМОЙ ОГНЕСТОЙКОСТЬЮ

4.1. Несущую способность многопустотных плит перекрытий в период эксплуатации, а также огнестойкость следует считать обеспеченной, если соблюдаются условия:

$$M \leq M^{per}, \qquad (12)$$

$$M_{nt} \leq M_t^{per}, \qquad (13)$$

$$M_{nt,inc} \leq M_{inc,t}^{per}. \qquad (14)$$

Первое условие обеспечивает прочность плит при эксплуатации:

M - максимальный изгибающий момент от расчетных нагрузок; M^{per} - прочность нормального сечения при расчетных характеристиках бетона и арматуры в стадии эксплуатации (для предельных состояний первой группы).

Второе условие обеспечивает прочность нормальных сечений при воздействии пожара:

M_t^{per} - прочность нормального сечения при пожаре по истечении времени τ_u после начала огневого воздействия, равного нормированному пределу огнестойкости.

Третье условие обеспечивает прочность наклонных сечений по изгибающему моменту при воздействии пожара:

$M_{nt,inc}$ - изгибающий момент от действия постоянных и длительных нормативных нагрузок в опасном наклонном сечении; $M_{\tau,inc}^{per}$ - прочность опасного наклонного сечения по изгибающему моменту во время τ_u.

4.2. Для плит, имеющих однорядное армирование по высоте сечения из стержней одного класса и диаметра, уравнения прочности имеют вид:

$$M^{per} = R_s \gamma_{s6} A_s Z_s, \qquad (15)$$

$$M_t^{per} = R_s \gamma_{st} A_s Z_{st}, \qquad (16)$$

$$M_{inc,t} = R_s \gamma_{s5} \gamma_{s5,t} A_s h_0 + 920 A_{sw} h_0. \qquad (17)$$

где R_s - расчетное сопротивление продольной рабочей арматуры для стадии эксплуатации или для расчета огнестойкости; A_s - фактическая площадь сечения продольной рабочей арматуры; γ_{s6} - коэффициент, учитывающий работу высокопрочной арматуры при напряжениях выше условного предела текучести, определяемой согласно

указаниям п.3.I3 СНиП 2.03.0I-84; γ_{st} - коэффициент условий работы арматуры при высокой температуре; γ_{s5} - коэффициент усло - вий работы арматуры в зоне передачи напряжений, определяемый по формуле (23); γ_{s5t} - коэффициент условий работы арматуры в зоне передачи напряжений при высокой температуре, определяемый по табл.4 прил.I; A_{sw} - площадь сечения поперечной арматуры; Z_s , Z_{st} - плечи усилия в арматуре относительно центра тяжести сжатой зоны бетона при расчете прочности в обычных условиях и при расчете огнестойкости соответственно; h_o - рабочая высота сече - ния.

Примечание. В уравнениях приняты следующие допущения, которые справедливы для многопустотных плит перекрытий и не приводят к значимым погрешностям в расчете.

Снижения прочности бетона сжатой зоны при пожаре не происходит. Плечо усилия в продольной рабочей арматуре в расчетном наклонном сечении относительно центра тяжести сжатой зоны бетона $Z_s = h_o$. Длина проекции наиболее опасного (расчетного) наклонного сечения при расчете по изгибающему моменту $C = 2h_o$. Шаг поперечной арматуры $S = h_o/2$. Поперечная арматура класса Вр-I диаметром 4-5 мм.

4.3. Высоту сжатой зоны бетона в условиях эксплуатации определяют по формуле

$$X = \frac{R_s \gamma_{s6} A_s}{R_b b'_f} \quad . \tag{I8}$$

При расчете огнестойкости

$$X_t = \frac{R_s \gamma_{st} A_s}{R_b b'_f} \quad , \tag{I9}$$

где R_s и R_b - расчетные сопротивления материалов для соответствующего случая расчета; A_s - площадь рабочей арматуры; b'_f - ширина верхней полки плиты; γ_{st} - коэффициент условий работы арматуры, принимаемый здесь равным σ_s / R_{sn} , где σ_s - напряжение в арматуре от внешней нагрузки при пожаре.

С учетом формулы (I8) при расчете огнестойкости принимают

$$X_t = 0{,}6\ X \ . \tag{20}$$

Плечо усилия в арматуре относительно центра тяжести сжатой зоны бетона определяют по формуле

$$Z_s = h_o - 0{,}5\ X \ , \tag{2I}$$

$$Z_{st} = h_o - 0{,}5 X_t \ . \tag{22}$$

4.4. Коэффициент условий работы арматуры в зоне передачи напряжений определяют по формуле

$$\gamma_{s5} = \frac{l_x}{(0{,}25\, R_s / R_{bp} + 10)\, d_s} , \qquad (23)$$

где l_x - длина опирания плиты на нижележащую конструкцию; R_{bp} - передаточная прочность бетона, определяемая согласно указаниям п.2.6 СНиП 2.03.01-84; d_s - диаметр арматурного стержня.

4.5. Изгибающий момент от нормативной нагрузки в сечении, проходящем через сжатую зону бетона расчетного наклонного сечения, при равномерно распределенной нагрузке определяют по формуле

$$M_{nl,inc} = 4M_{nl} \frac{l_1}{l} \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) , \qquad (24)$$

где

$$l_1 = 2\, h_0 + 0{,}5\, l_x . \qquad (25)$$

4.6. Для плит, имеющих двухрядное армирование по высоте сечения из стержней двух различных диаметров и классов, уравнения прочности имеют вид:

$$M^{per} = R_{s1}\, \gamma_{s6,1}\, A_{s1}\, z_{s1} + R_{s2}\, \gamma_{s6,2}\, A_{s2}\, z_{s2} , \qquad (26)$$

$$M^{per}_{t} = R_{s1}\, \gamma_{st1}\, A_{s1}\, z_{st1} + R_{s2}\, \gamma_{st2}\, A_{s2}\, z_{st2} , \qquad (27)$$

$$M^{per}_{inc,t} = R_{s1}\, \gamma_{s5,1}\, \gamma_{s5t1}\, A_{s1}\, h_{01} + R_{s2}\, \gamma_{s5,2}\, \gamma_{s5t2}\, A_{s2}\, h_{02} + 920\, A_{sw} (h_{c1} + h_{02}) / 2 , \qquad (28)$$

где R_{s1}, $\gamma_{s6,1}$, $\gamma_{s5,1}$, d_{s1}, A_{s1} - характеристики арматуры первого ряда; R_{s2}, $\gamma_{s6,2}$, $\gamma_{s5,2}$, d_{s2}, A_{s2} - характеристики арматуры второго ряда; h_{01}, h_{02} - расстояние от сжатой грани сечения до центров тяжести арматуры первого и второго ряда соответственно; z_{s1}, z_{s2} - плечо внутренней пары сил для арматуры первого и второго ряда соответственно ; γ_{st1}, γ_{s5t1} - коэффициенты условий работы при высокой температуре арматуры первого ряда; γ_{st2}, γ_{s5t2} - коэффициенты условий работы при высокой температуре арматуры второго ряда.

4.7. При расчете прочности в условиях эксплуатации высоту сжатой зоны бетона определяют по формуле

$$X = (R_{s1}\, \gamma_{s6,1}\, A_{s1} + R_{s2}\, \gamma_{s6,2}\, A_{s2}) / (R_b\, b) . \qquad (29)$$

При расчете огнестойкости высоту сжатой зоны принимают по форму-

ле (20).

Плечи усилий в арматуре для соответствующих рядов определяют по формулам:

$$z_{s1} = h_{01} - 0{,}5\,X\,, \qquad (30)$$

$$z_{s2} = h_{02} - 0{,}5\,X\,, \qquad (31)$$

$$z_{st1} = h_{01} - 0{,}5\,X_t\,, \qquad (32)$$

$$z_{st2} = h_{02} - 0{,}5\,X_t\,. \qquad (33)$$

Коэффициенты условий работы арматуры в зоне передачи напряжений для каждого ряда и класса арматуры в зависимости от ее температуры определяют по табл.4 прил.I.

4.8. При однорядном армировании арматурой различных классов и диаметров принимают

$$h_{01} = h_{02}\,.$$

При двухрядном армировании арматурой одного диаметра и класса принимают

$$R_{s1} = R_{s2}\,, \quad A_{s1} = A_{s2}\,, \quad \gamma_{s6,1} = \gamma_{s6,2}\,.$$

4.9. Проектирование многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью выполняют в следующем порядке.

4.I0. Многопустотную плиту перекрытия проектируют в соответствии с требованиями СНиП 2.03.0I-84.

4.II. При расчете плит с однорядным армированием арматурой одного класса из формул (I6), (I8) и (I9) определяют коэффициент условий работы арматуры при высокой температуре γ_{st}, принимая $M_t^{per} = M_{ult}$. По табл.4 прил.I определяют соответствующую данному коэффициенту температуру нагрева арматуры t_s, и по табл.5 прил.I требуемую из условий огнестойкости толщину защитного слоя бетона. Проверяют выполнение условия (I2) при новом значении толщины защитного слоя бетона по указаниям п.4.I. Если условие не выполняется, увеличивают площадь A_s или прочность R_s продольной рабочей арматуры. Проверяют условия (I2)-(I4) по указаниям п.4.I.

4.I2. При расчете плит с двухрядным армированием стержнями различных диаметров и классов определяют температуру стержней по табл.5 прил.I или вычисляют ее по методике, приведенной в разделе 2. Соответствующие коэффициенты условий работы арматуры определяют по табл.4 прил.I. Прочность нормальных сечений вычисляют по указаниям п.4.6 и проверяют условия (I2), (I3). Если не выполнено условие (I3), увеличивают толщину защитного слоя бетона и повторяют расчет; если

при этом перестает выполняться условие (I2), увеличивают площадь или прочность арматуры. После выполнения условий (I2) и (I3) вычисляют прочность наклонного сечения по изгибающему моменту и проверяют выполнение условия (I4).

4.I3. При расчете плит с однорядным армированием одного класса на программируемых микрокалькуляторах (прил.2) определяют коэффициент условий работы арматуры по указаниям п.4.II. Вычисляют требуемую из условий огнестойкости толщину защитного слоя бетона по программе 2 (прил.2). Проверяют выполнение условий по программе 3 (прил.2). Если не выполняется условие (I2), увеличивают площадь или прочность арматуры.

4.I4. При расчете плит с двухрядным армированием по высоте сечения арматурой различных диаметров и классов на программируемых микрокалькуляторах определяют температуру стержней каждого ряда по программе I (прил.2). Определяют соответствующие коэффициенты условий работы арматуры при высоких температурах по табл.4 прил.I. Вычисляют прочность нормальных сечений по программе 4 (прил.2). Проверяют выполнение условия (I3). Если условие не выполняется, увеличивают толщину защитного слоя бетона, перемещая арматуру вверх по сечению и повторяют расчет. Если перестает выполняться условие (I2), увеличивают площадь поперечного сечения или прочность арматуры и повторяют расчет по программе 4 (прил.2). После выполнения условий (I2), (I3) вычисляют прочность наклонного сечения по изгибающему моменту при огневом воздействии по программе 5 (прил.2) и проверяют условие (I4).

4.I5. Если при расчете огнестойкости не выполняется одно условие (I4), то возможно повышение огнестойкости не только путем увеличения толщины защитного слоя бетона, но и специальными мерами по усилению анкеровки арматуры на опорных участках (приварка рабочей арматуры к закладным деталям, установка обжатых шайб, высадка утолщений, устройство косвенного армирования в зоне анкеровки, увеличение интенсивности поперечного армирования, увеличение класса бетона и др.).

Приложение I

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РАСЧЕТАХ

Таблица I

Материалы	Значения параметров А, В, С, Д для определения коэффициента тепло проводности Вт/(м.°С), и удельной теплоемкости, кДж/(кг.°С)			
	А	В	С	Д
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород ρ = 2350 кг/м^3	I,20	-0,00035	0,7I	0,00083
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из карбонатных пород ρ = 2250 кг/м^3	I,I4	-0,00055	0,7I	0,00083
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита ρ = I600 кг/м^3	0,36	0,000I2	0,83	0,00042
Керамзитоперлитобетон ρ = I200 кг/м^3 Легкий бетон с крупным и мелким заполнителем из керамзита ρ = 750 кг/м^3	0,I8	0,00008	0,92	0,00048

Таблица 2

Коэффициент φ_1

Средняя плотность бетона ρ, кг/м^3	φ_1
400	0,46
I000	0,55
I500	0,58
2000	0,60
2350	0,62
2450	0,65

Примечание. Коэффициент φ_1 для промежуточных значений средней плотности бетона принимается по интерполяции

Таблица 3

Коэффициент φ_2

Средняя плотность бетона ρ, кг/м^3	φ_2
500	I,0
800	0,9
II00	0,8
I400	0,7
I700	0,6
2000	0,5

Примечание. Коэффициент φ_2 для промежуточных значений средней плотности бетона принимается по интерполяции

Таблица 4

Стержневая арматура класса	Коэффициенты условий работы стержневой арматуры γ_{st}, γ_{s5t} при температурах арматуры °С							
	350	400	450	500	550	600	650	700
А-П	I,0	I,0	0,9	0,7	0,5	0,35	0,23	0,I5
	I,0	0,85	0,75	0,6	0,4	0,3	0,2	0,I2
А-Ш	I,0	I,0	0,95	0,75	0,6	0,45	0,3	0,I5
	I,0	0,85	0,8	0,65	0,5	0,4	0,25	0,I2
А-Шв	I,0	I,0	0,9	0,65	0,45	0,35	0,2	0,I
	I,0	0,85	0,75	0,55	0,40	0,30	0,I7	0,07
А-IУ	I,0	0,95	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2	0,I
	I,0	0,80	0,7	0,55	0,4	0,3	0,I7	0,07
А-У	I,0	0,95	0,8	0,6	0,4	0,25	0,I	0,05
	I,0	0,8	0,7	0,5	0,35	0,20	0,07	0,04
Ат-IУ, Ат-У	I,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0,I	0,05
	I,0	0,75	0,6	0,4	0,25	0,I7	0,07	0,04
Ат-УI, Ат-УII	I,0	0,8	0,55	0,4	0,3	0,2	0,I	0,05
	I,0	0,7	0,45	0,35	0,25	0,I7	0,07	0,04

Примечание. Над чертой – γ_{st}, под чертой – γ_{s5t}
Для промежуточных значений температуры величины коэффициентов γ_{st} и γ_{s5t} принимаются по интерполяции

Таблица 5

Расстояния до центра тяжести арматурных стержней, соответствующие указанной температуре нагрева t_s к моменту времени τ_u

Вид бетона	d_s, мм	τ_u, ч	Температура нагрева, t_s °С						
			350	400	450	500	550	600	650
Тяжелый бетон с силикатным заполнителем, W = 2,0%	–	0,75	30	26	22	I8	I5		
	–	I,0	38	33	29	25	2I	I7	
	–	I,5	53	46	40	35	30	26	22
Тяжелый бетон с карбонатным заполнителем W = 3,0%	–	0,75	28	24	20	I7	I4		
	–	I,0	36	3I	27	23	I9	I6	
	–	I,5	48	43	38	33	28	24	20
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита ρ = I600 кг/м³, W = 5,0%	I0	0,75	22	I9	I6				
		I,0	28	24	2I	I8	I5		
		I,5	38	34	30	26	22	I9	I6
	I4	0,75	22	I8	I5				
		I,0	28	23	20	I7	I5		
		I,5	38	33	29	25	2I	I8	I5

ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТОВ НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ МК-54, БЗ-34

I. Указания по работе с программами

Для ввода программы перейти в режим программирования нажатием клавиш В/О F ПРГ. Ввести операторы программы нажатием соответствующих клавиш F АВТ. Ввести исходные данные в указанные регистры памяти. Запустить программу нажатием клавиш В/О,С/П.

Для ввода исходного данного в регистр памяти следует набрать его числовое значение, нажать клавишу Пх →П для микрокалькулятора МК-54 и номер соответствующего регистра памяти. Для вывода результата вычислений, находящегося в каком-либо регистре памяти следует нажать клавишу ИП/П →Х для микрокалькулятора МК-54 и номер соответствующего регистра памяти. Ввод исходного данного обозначается символом

$$X \rightarrow \text{ПУ},$$

где Х - условное обозначение исходного данного; У - номер соответствующего регистра памяти (0,I,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,Д);

Е - единицы измерения исходных величин и результатов: метр, час, МегаНьютон, МегаПаскаль, градус Цельсия.

Если в описании программы нет указаний о выводе результатов, то конечный результат высвечивается на дисплее.

2. Библиотека программ

Программа I

Расчет температуры арматурного стержня t_s

ИП2	ИП3	ИП6	х	+	3	,	6	х	ПД
ИП5	ИП6	х	ИП4	+	ИП0	5	х	+	ИПI
х	ИПД	+	F $\sqrt{}$	ИП8	ИП9	х	ИП7	+	х
ИПА	+	2	+	ИПВ	0	,	9	+	F $\sqrt{}$
+	I	I	0	,	4	7	х	I	+
FI/X	ПД	7	4	8	х	9	6	-	ИПД
х	3	4	8	+	ИПД	х	I	ВП	3
+	$\overline{\text{ХУ}}$	Fx^2	Fe^x	+	I	2	3	0	х
2	0	+	С/П						

Ввод исходных данных: W →П0; ρ →ПI; А →П2; В →П3; С →П4; Д →П5; t_m →П6; У →П7; d_s →П8; φ_2 →П9; φ_1 →ПА; τ_μ →ПВ.

Влажность W вводится в долях, а не в %.

Тест: 0,I → П0; I000 → ПI; I → П2; 0 → П3; I → П4; 0 → П5; 500 → П6; 0,0I → П7; 0,0I → П8; 0,5 → П9; 0,5 → ПА; I → ПВ; В/О; С/П.

Результат: 744.

Программа 2

Расчет толщины защитного слоя бетона по заданной температуре арматуры t_s

Набрать программу I; вместо команды С/П в конце программы ввести команды:

...	ИПС	-	Fx<0	89	ИП7	С/П	ИП7	I ВП
3	/-/	+	П7	БП	00			

Ввод исходных данных: по программе I и дополнительно t_s → ПС. В качестве исходного значения толщины защитного слоя y → П7 следует брать заведомо меньшее значение, используя данные табл.5.

Тест: Дополнительно к тесту программы I ввести 740 → ПС.

Результат: $I,I \cdot I0^{-2}$.

Программа 3

Проверка условий прочности плит, армированных однорядной арматурой одного класса

ИП0	ИП3	ИП5	x	ИП6	÷	2	÷	ПД	-
ИП3	x	ИП5	x	ИПВ	-	Fx<0	20	I	С/п
ИП0	ИПД	I	,	7	÷	-	ИП4	x	ИПI
x	ИП5	x	ИПС	-	Fx<0	39	2	С/П	ИП0
2	x	ИПА	2	÷	+	ИП9	÷	↑	Fx^2
-	4	x	ИПС	x	ПД	ИПА	ИП3	4	÷
ИП7	÷	I	0	+	ИП2	x	÷	ИП4	x
0	,	8	5	x	ИПI	x	ИП5	x	9
2	0	ИП8	x	+	ИП0	x	ИПД	-	Fx<0
93	3	С/П	0	С/П					

Ввод исходных данных: h_o → П0; γ_{st} → ПI; a_s → П2; $R_s \cdot \gamma_{s6}$ → П3; R_s → П4; A_s → П5; $(R_b \cdot b'_f)$ → П6; R_{bp} → П7; A_{sw} → П8; l → П9; l_x → ПА; M → ПВ; M_{nl} → ПС.

Программа последовательно выполняет проверку условий:

I. $M < M_{ef}$

2. $M_{nl} < M_t^{per}$

3. $M_{ml,inc} < M^{per}_{inc,t}$

На дисплее высвечивается номер первого из невыполненных условий (I, 2 или 3). Для получения на дисплее разности между прочностью сечения и действующим моментом необходимо выполнить команду $\overleftrightarrow{xy}$. Для выполнения условий необходимо скорректировать исходные данные и повторить расчет. После выполнения всех условий на дисплее высвечивается "0". При необходимости продолжить проверку последующих условий при невыполнении предыдущего следует нажать клавишу С/П.

Тест: 0,I5 → П0; 0,8 → ПI; 0,0I → П2; 600 → П3; 600 → П4; $6 \cdot 10^{-4}$ → П5; I3 → П6; II → П7; 0 → П8; 6 → П9; 0,I → ПА; 0,05 → ПВ; 0,04 → ПС; В/0; С/П.

Результат: I; 0,I7 → П0; 0,5 → ПI; С/П.

Результат: 2; 0,8 → ПI; 0,05 → ПА; С/П.

Результат: 3; 0,I → ПА; В/0; С/П.

Результат: 0.

Программа 4

Расчет прочности нормальных сечений плит с двухрядным смешанным армированием M^{per}, M^{per}_{t}

ИП0	ИП2	x	ПД	ИПI	ИП3	x	ПС	+	ИПА
÷	2	÷	ПВ	ИП4	-	/-/	ИПД	x	ИП5
ИПВ	-	ИПС	x	+	ПД	ИП4	ИПВ	ПС	I
,	7	÷	ПВ	-	ИП8	x	ИП6	x	ИП2
x	ИП5	ИПВ	-	ИП9	x	ИП7	x	ИП3	x
+	С/П								

Ввод исходных данных ($R_{s1} \cdot \gamma_{s6.1}$) → П0; ($R_{s2} \cdot \gamma_{s6.2}$) → ПI; A_{s1} → П2; A_{s2} → П3; h_{o1} → П4; h_{o2} → П5; γ_{st1} → П6; γ_{st2} → П7; R_{s1} → П8; R_{s2} → П9; ($R_b \cdot b'_f$) → ПА.

Результаты вычислений: высота сжатой зоны бетона при расчетной нагрузке в регистре "С"; M^{per} – в регистре "Д"; M^{per}_{t} – на дисплее.

Программа 5

Расчет прочности наклонного сечения по изгибающему моменту при огневом воздействии $M^{per}_{inc,t}$

...	....	ИП9	ИП3	x	ИП7	x	ИП4	x	ИП9
4	÷	ИПА	÷	I	0	+	ИПI	x	÷
ИП8	4	÷	ИПА	÷	I	0	+	ИП0	x
ИП8	÷	ИП6	÷	ИП2	÷	ИП4	÷	FI/x	+
ИПВ	x	ИПС	ИП4	x	+	С/П			

Программа 5 вводится после программы 4.

Исходные данные вводят после отработки программы 4, только отличающиеся: d_{s1} → П0; d_{s2} → П1; γ_{55t_1} → П6; γ_{55t_2} → П7; R_{bp} → ПА; t_x → ПВ; $(920 \cdot A_{sw})$ → ПС.

Тест является общим для программ 4 и 5.

Тест: 2 → П0,..., ПС, В/О, С/П.

Результат: I3, 18; С/П.

Результат: 5,84.

ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ С ТРЕБУЕМОЙ ОГНЕСТОЙКОСТЬЮ

I. Многопустотная плита перекрытия из легкого бетона с однорядным армированием стержнями одного класса.

Исходные данные. Плита запроектирована по СНиП 2.03.0I-84. Размеры сечения: b'_f = I,I5 м, h = 0,2 м, h'_f = 0,03 м, h_0 = 0,I8 м; расчетный пролет l = 6,08 м, длина опирания на железобетонный ригель l_x = 0,08 м. Полная расчетная нагрузка в стадии эксплуатации ($\gamma_f > I$) p = I,08·I0^{-2} МН/м; расчетная нагрузка для расчета огнестойкости равна длительно действующей части нормативной нагрузки (γ_f = I) p_{nl} = 0,59·I0^{-2} МН/м. Бетон легкий на керамзитовом гравии класса В20: ρ = I600 кг/м^3, R_{bn} = I5 МПа, R_b = II,5 МПа, R_{bp} =II МПа. Продольная рабочая арматура 7ϕI0 A-IУ, A_s = 5,5·I0^{-4}м^2, R_{sn} = 590 МПа, R_s = 5I0 МПа, γ_{s8} = I,I5; поперечная арматура класса Вр-I, шаг S = 0,05 м, A_{sw}= 0,5·I0^{-4} м^2. Для расчета огнестойкости R_s = 590/0,9 = 658 МПа.

Изгибающий момент от полной расчетной нагрузки для расчета прочности в стадии эксплуатации М = 0,0499 МН·м. Изгибающий момент от длительно действующей части нормативной нагрузки для расчета огнестойкости M_{nl} = 0,027 МН·м.

Плита проектируется для применения в здании П-й степени огнестойкости, нормированный предел огнестойкости τ_u = 0,75 ч.

Высоту сжатой зоны бетона определяем в стадии эксплуатации по формуле (48)

$$X = \frac{5I0 \cdot I,I5 \cdot 5,5 \cdot I0^{-4}}{0,9 \cdot II,5 \cdot I,I5} = 2,7I \cdot I0^{-2} \text{ м}$$

Плечо внутренней пары сил при расчете огнестойкости определяем по формулам (20) и (22)

$$Z_{st} = 0,I80 - 0,6 \cdot 2,7I \cdot I0^{-2}/2 = 0,I72 \text{ м}$$

Минимальное значение коэффициента условий работы арматуры из условия прочности при пожаре определяем по формулам (I3) и (I6)

$$\gamma_{st} = \frac{M_{nl}}{R_s A_s Z_{st}} = \frac{0,027}{658 \cdot 5,5 \cdot I0^{-4} \cdot 0,I \cdot 0,I72} = 0,436$$

По табл.4 прил.I определяем соответствующую критическую температуру арматуры $t_{s\,cr}$ = 580°С. Определяем температуру арматуры по истечении времени, равного пределу огнестойкости τ_u = 0,75 ч при толщи-

не защитного слоя бетона y = 0,015 м, расстояние до центра тяжести арматуры a = 0,02 м. По табл.5 прил.I t_s = 400°С, т.е. $t_s < t_{s,cr}$ Следовательно, огнестойкость плиты по нормальным сечениям не менее требуемой нормами.

По табл.5 прил.I можно также определить огнестойкость плиты τ_u = I,5 ч, что больше требуемого нормами предела огнестойкости.

Проверяем прочность наклонного сечения по изгибающему моменту при огневом воздействии.

Изгибающий момент в наклонном сечении определяем по формуле (24) и (25) при l_t = 2·0,18+0,5·0,08 = 0,4 м

$$M_{ntinc} = 4 \cdot 0{,}027 \cdot \frac{0{,}4}{6{,}08} \cdot \left(1 - \frac{0{,}4}{6{,}08}\right) = 6{,}64 \cdot 10^{-3} \text{ МН·м}$$

Коэффициент условий работы арматуры в зоне передачи напряжений определяем по формуле (23)

$$\gamma_{s5} = \frac{0{,}08}{\left(0{,}25 \cdot \frac{510}{11{,}0} + 10\right) \cdot 0{,}01} = 0{,}370$$

Температура арматуры в зоне анкеровки

$$t_{an} = 400 \cdot 0{,}8 = 320^{\circ}\text{С}$$

По табл.4 прил.I определяем соответствующий коэффициент условий работы арматуры в зоне анкеровки при температуре t_{an} = 320°С, γ_{s5t} = I,0. Снижение прочности анкеровки не происходит, следовательно, прочность наклонного сечения по изгибающему моменту при воздействии пожара в заданных пределах обеспечена.

Обеспечена огнестойкость плиты не менее требуемой нормами τ_u = 0,75 ч.

2. Многопустотная плита перекрытия из тяжелого бетона с однорядным армированием стержнями одного класса (проектирование с применением программируемого микрокалькулятора).

Исходные данные. Плита запроектирована по СНиП 2.03.01-84. Размеры сечения, пролет, опирание, характеристика продольного армирования см.пример I.

Полная расчетная нагрузка в стадии эксплуатации (γ_f > I) p = I,08·10^{-2} МН/м; расчетная нагрузка при расчете огнестойкости, состоящая из постоянной и длительно действующей части временной нагрузки (γ_f = I) p_{nl} = 0,8·10^{-2} МН/м. Соответствующие расчетные мо-

менты: M = 0,0499 МН·м; M_{nt} = 0,037 МН·м.

Бетон тяжелый класса В20 с крупным заполнителем из гранитного щебня, ρ = 2350 кг/м^3, R_{bn} = I5 МПа, R_b = II,5 МПа, R_{bp} = II МПа, влажность бетона W = 2,0%.

Поперечная арматура отсутствует A_{sw} = 0.

Плита проектируется для применения в здании I-й степени огнестойкости. Требуемый нормами предел огнестойкости τ_u = I ч.

Определяем минимальное значение коэффициента условий работы арматуры при нагреве из условия огнестойкости, используя результат вычисления плеча внутренней пары сил из примера I.

$$\gamma_{st} = \frac{0,037}{655 \cdot 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,171} = 0,60$$

По табл.4 прил.I определяем соответствующую критическую температуру арматуры $t_{s,cr}$ = 550°С.

Набираем программу 2 и вводим исходные данные: 0,02 →П0; 2350 →П1; I,2 →П2; 3,5·I0^{-4} →П3; 0,7I →П4; 8,3·I0^{-4} →П5; 450 →П6; 0,0I5 →П7; 0,0I →П8; 0,62 →П9; 0,5 →ПА; I,0 →ПВ; 550 →ПС.

В результате расчета получаем требуемую из условия огнестойкости величину защитного слоя бетона y = 0,0I9 м, что больше принятой первоначально. Для обеспечения условия огнестойкости принимаем y = 0,0I9 м. Необходимо вычислить температуру арматуры при новом значении величины защитного слоя бетона. Для этого преобразуем программу 2 в программу I, введя в шаг 83 команду С/П. Вводим новое значение толщины защитного слоя бетона y = 0,0I9 →П7. В результате расчета по программе уточняем значение температуры арматуры t_s = 54I°С. Определяем по табл.4 соответствующий коэффициент условий работы арматуры γ_{st} = 0,603.

Набираем программу 3 и вводим исходные данные: 0,I8 →П0; 0,603 →П1; 0,0I →П2; (I,I5·5I0)→П3; 655 →П4; 5,5·I0^{-4} →П5; (II,5·I,I5)→П6; II,0 →П7; 0→П8;6,08 →П9; 0,08 →ПА; 0,0499→ПВ;0,037→ПС.

После выполнения программы на дисплее высвечивается "0". Следовательно, все условия выполнены; обеспечена прочность панели в стадии эксплуатации и огнестойкость не менее заданной. Огнестойкость обеспечена без увеличения расхода материалов только за счет смещения арматурных стержней на 0,004 м вверх по сечению.

3. Многопустотная плита перекрытия из тяжелого бетона с двухрядным армированием стержнями разных классов.

Исходные данные. Плита запроектирована по СНиП 2.03.01-84. Размеры сечения: b'_f = 1,15 м, h = 0,22 м, h'_f = 0,03, h_{01} = 0,199 м, h_{02} = 0,185 м. Расчетный пролет l = 6,08 м, длина опирания на железобетонный ригель l_1 = 0,08 м. Полная расчетная нагрузка p = 0,0151 МН/м; длительно действующая часть нормативной нагрузки p_{nl} = 0,0098 МН/м. Бетон тяжелый класса В25 на известняковом щебне, ρ = 2250 кг/м^3, W = 3%, R_b = 14,5 МПа, R_{bp} = 12,5 МПа. Продольная рабочая арматура: ненапрягаемая нижнего ряда 4 ϕ 12 А-III, A_{s1} = 4,52·10^{-4} м^2; R_{sn} = 390 МПа, R_s = 365 МПа; напрягаемая верхнего ряда 4 ϕ 10 А-V, A_{s2} = 3,14·10^{-4} м^2, R_{sn} = 785 МПа, R_s = 680МПа, δ_{s6} = 1,15. Поперечная арматура класса BpI, шаг S = 0,05 м, A_{sw} = 0,5·10^{-4} м^2. При расчете огнестойкости R_{s1} = 433 МПа, R_{s2} = 872 МПа.

Изгибающий момент от полной расчетной нагрузки для расчета прочности в стадии эксплуатации М = 0,070 МН·м. Изгибающий момент от длительно действующей части нормативной нагрузки для расчета огнестойкости M_{nl} = 0,0452 МН·м.

Плита проектируется для применения в здании I-й степени огнестойкости; требуемый нормами предел огнестойкости τ_u = 1,0 ч.

Коэффициенты для теплотехнического расчета определяем по табл.1, 2,3 прил.1:

А = 1,14; В = -0,00055; С = 0,71; Д = 0,00083; φ_1 = 0,617; φ_2 = 0,5.

Определяем теплотехнические характеристики бетона по формулам (3) и (5)

$$\lambda_t = 1,14 - 5,5\cdot10^{-4}\cdot450 = 0,893 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{С}$$

$$C_t = 0,71 + 8,3\cdot10^{-4}\cdot450 = 1,084 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$$

$$a_{red} = \frac{3,6\cdot0,893}{(1,084+0,05\cdot3)\cdot2250} = 1,16\cdot10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$$

Значение аргумента функции ошибок Гаусса для каждого ряда арматуры определяем по формуле (6).

$$X_I = (0,617 + (0,015 + 0,5\,0,012)/\sqrt{1,16\ 10^{-3}})/(2\sqrt{1/0,9}) = 0,585$$

$$X_2 = (0{,}617 + (0{,}03 + 0{,}5\ 0{,}01)/\sqrt{1{,}16\ 10^{-3}}\ )/(2\sqrt{1/0{,}9}) = 0{,}780$$

Вычисляем значение функции ошибок Гаусса для каждого ряда арматуры по формуле (8)

$$\lambda_1 = 1/(1+0{,}47\cdot 0{,}585) = 0{,}784$$

$$\lambda_2 = 1/(1+0{,}47\cdot 0{,}780) = 0{,}732$$

$$erf\,X_1 = 1-(0{,}784\cdot(348+0{,}784\cdot(748\cdot 0{,}784-96))\cdot e^{-0{,}585^2\cdot 10^{-3}}) =$$

$$= 0{,}592$$

$$erf\,X_2 = 1-(0{,}732\cdot(348+0{,}732\cdot(748\cdot 0{,}732-96))\cdot e^{-0{,}780^2\cdot 10^{-3}}) =$$

$$= 0{,}730$$

Вычисляем температуру арматурных стержней по формуле (2)

$$t_{s1} = 1250 - 1230\cdot 0{,}592 = 522^{\circ}C$$

$$t_{s2} = 1250 - 1230\cdot 0{,}730 = 352^{\circ}C$$

Определяем соответствующие коэффициенты условий работы арматуры для каждого ряда по табл.4 прил.1

$$\gamma_{st1} = 0{,}677 \qquad \gamma_{st2} = 0{,}998 \approx 1$$

Переходим к статической части расчета. Определяем высоту сжатой зоны бетона в стадии эксплуатации и при пожаре по формулам (18),(20)

$$X = \frac{365\cdot 4{,}52\cdot 10^{-4} + 680\cdot 1{,}15\cdot 3{,}14\cdot 10^{-4}}{14{,}5\cdot 1{,}15} = 0{,}026\ м$$

$$X_t = 0{,}6\cdot 0{,}026 = 0{,}0156\ м$$

Определяем плечи усилий в арматуре по формулам (30)-(32)

$$Z_{s1} = 0{,}199 - 0{,}5\cdot 0{,}026 = 0{,}186\ м,$$

$$Z_{s2} = 0{,}185 - 0{,}5\cdot 0{,}026 = 0{,}172\ м,$$

$$Z_{st1} = 0{,}199 - 0{,}5\cdot 0{,}0156 = 0{,}191\ м,$$

$$Z_{st2} = 0{,}185 - 0{,}5\cdot 0{,}0156 = 0{,}184\ м.$$

Вычисляем прочность нормального сечения при пожаре по истечении времени, равного пределу огнестойкости по формуле (27)

$$M_t^{per} = 433 \cdot 0,677 \cdot 4,52 \cdot 10^{-4} \cdot 0,191 + 872 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 0,184 =$$

$$= 7,56 \cdot 10^{-2} \text{ МН·м} > M_{nt} = 4,52 \cdot 10^{-2} \text{ МН·м}$$

Прочность нормального сечения обеспечена.

Проверяем прочность наклонного сечения при пожаре. Вычисляем величину изгибающего момента в расчетном наклонном сечении от длительно действующей части нагрузки при коэффициенте надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$ по формулам (24), (25).

$$t_1 = 2 \cdot 0,192 + 0,08/2 = 0,424 \text{ м}$$

$$M_{nt,inc} = 4 \cdot 4,52 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{0,424}{6,08} \cdot (1 - \frac{0,424}{6,08}) = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ МН·м}$$

Вычисляем коэффициенты условий работы арматуры в зоне передачи напряжений для каждого ряда арматуры по формуле (23)

$$\gamma_{s5,1} = \frac{0,08}{(0,25 \cdot \frac{365}{12,5} + 10) \cdot 0,012} = 0,362$$

$$\gamma_{s5,2} = \frac{0,08}{(0,25 \cdot \frac{680}{12,5} + 10) \cdot 0,01} = 0,339$$

Температуру и коэффициенты условий работы арматуры в зоне анкеровки при высокой температуре принимаем по табл.4 прил.1 для каждого ряда арматуры

$$t_{an,1} = 0,8 \cdot 522 = 418^{\circ}C; \qquad \gamma_{sst1} = 0,832$$

$$t_{an,2} = 0,8 \cdot 352 = 281^{\circ}C; \qquad \gamma_{sst2} = 1,0$$

Прочность наклонного сечения по изгибающему моменту при воздействии высокой температуры по истечении времени, равного требуемому (нормированному) пределу огнестойкости определяем по формуле (28)

$$M_{inc,t}^{per} = 390 \cdot 0,362 \cdot 0,832 \cdot 4,52 \cdot 10^{-4} \cdot 0,199 + 785 \cdot 0,312 \cdot 1,0 \cdot$$
$$\cdot 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 0,184 + 920 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,192 = 3,13 \cdot 10^{-} \text{ МН·м} >$$
$$> M_{nt,inc} = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ МН·м}$$

Прочность наклонного сечения по изгибающему моменту при пожаре обеспечена. Огнестойкость плиты не ниже требуемой нормами.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
I. Общие положения	5
2. Теплотехнический расчет плит перекрытий	6
3. Расчет прочности наклонных сечений по изгибающему моменту при огневом воздействии	8
4. Проектирование многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью	9
Приложение I. Таблицы для определения параметров, используемых при расчетах	I4
Приложение 2. Программы для расчетов на программируемых микрокалькуляторах МК-54, БЗ-34	I8
Приложение 3. Примеры проектирования многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью	22

НИИЖБ Госстроя СССР

Рекомендации по проектированию многопустотных плит перекрытий с требуемой огнестойкостью

Отдел научно-технической информации
I09389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6

Редактор Г.М.Дёмина

Л-85035 Подписано в печать I2.0I.87г. Заказ № 29
Формат 60x84/I6. Ротапринт. Усл.кр.-отт. I,7. Уч.-изд. л. I,7.
Тираж 300 экз. Цена 26 коп.

Типография ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР
I2I47I, Москва, Можайское шоссе, д.25

Цена 26 коп.

gost.e-ecolog.ru