



Исх. № 217594 - 05.12.2025/
Информационная статья от: 14.03.2025

Оценка предела огнестойкости железобетонных плит

Что такое предел огнестойкости и для чего он нужен

Пожары в зданиях могут приводить к гибели людей и значительному материальному ущербу. Чтобы обеспечить безопасность людей при пожаре, снизить материальный ущерб, сделать безопасной работу пожарных подразделений, здания проектируют так, чтобы они сохраняли устойчивость при пожаре. Показателем, отвечающим за обеспечение несущей способности конструкций при воздействии пожара и его ограничению, является предел огнестойкости.

Согласно п. 5.2.1 СП 2.131330 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» предел огнестойкости строительных конструкций определяется в условиях стандартных испытаний или в результате расчетов по времени (в минутах).

Оценка предела огнестойкости по времени проводится от начала огневого испытания или расчетного воздействия при стандартном температурном режиме до наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости.

Стандартный температурный режим пожара для оценки предела огнестойкости

Часто мы не можем предугадать, какой пожар будет в здании. Поэтому в нормировании принято использовать стандартный температурный режим пожара, который является унифицированным пожаром для большинства зданий. Такой температурный режим позволяет понимать, при каком огневом воздействии будет происходить оценка предела огнестойкости строительных конструкций.

Стандартный температурный режим характеризуется зависимостью, представленной на рисунке 1. Красной линией обозначена температура стандартного пожара. Синими линиями указаны допустимые отклонения средней температуры пожара в огневой камере при проведении огневых испытаний на огнестойкость по ГОСТ 30247.0 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции».

Стоит отметить, что стандартный температурный режим принят за эталонный пожар практически во всем мире.

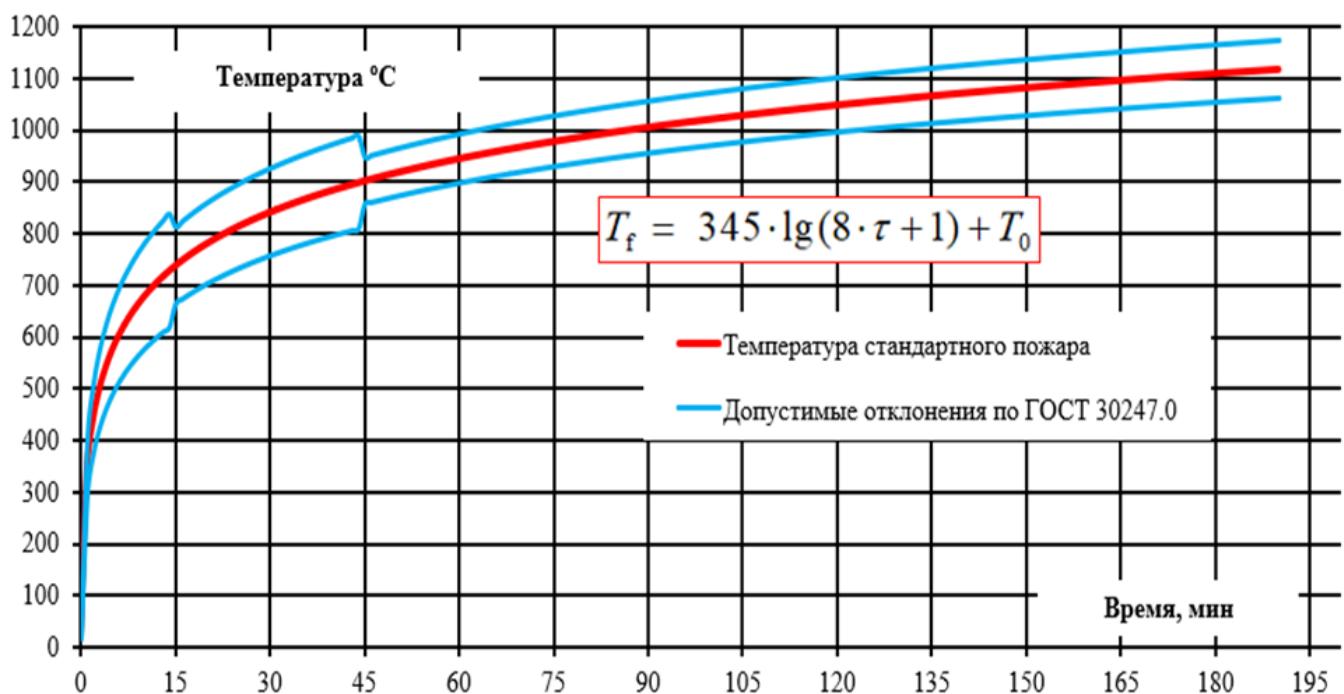


Рисунок 1. Зависимость температуры стандартного пожара от времени

Обозначение предела огнестойкости состоит из букв и цифр. Буквами обозначены предельные состояния по огнестойкости, нормируемые для данной конструкции, а цифрой — время огневого воздействия стандартного пожара.

Требуемый и фактический предел огнестойкости конструкции

При проектировании различают требуемый и фактический предел огнестойкости конструкции.

Требуемый предел огнестойкости устанавливается нормами и говорит о том, сколько минут при воздействии стандартного пожара для конструкции не должны наступить предельные состояния. В некоторых случаях, нормы допускают требуемый предел огнестойкости определять расчетом (но это достаточно редкая ситуация).

Фактический предел огнестойкости показывает сколько минут при воздействии стандартного пожара не приведут к наступлению предельных состояний конструкции по огнестойкости.

Следовательно, безопасность конструкции (с точки зрения огнестойкости) обеспечивается, когда фактический предел огнестойкости большое либо равен требуемому.

Предельные состояния для конструкций при пожаре

Согласно статье 35 Федерального закона от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» для конструкций установлены следующие предельные состояния:

- 1) потеря несущей способности (R);
- 2) потеря целостности (E);
- 3) потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений (I) или достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции (W).

Потеря несущей способности (R) при определении предела огнестойкости во время испытаний выражается в обрушении конструкции или достижения предельных деформаций (скорости нарастания предельных деформаций).

В случае, когда предел огнестойкости конструкций определяется расчетом, то критерием наступления предела огнестойкости выступает прочностной показатель или температурный. Условия подтверждения огнестойкости приведены ниже:

— прочностные параметры

$$Rf_i,d,t \geq Ef_i,d,t; \quad (1)$$

— температурные параметры

$$\theta d \leq \theta cr,d, \quad (2)$$

где Rf_i,d,t – расчетное сопротивление элемента при пожаре в момент времени t ; Ef_i,d,t – расчетный результат воздействия при пожаре в момент времени t ; θd – расчетная температура материала (как правило растягиваемой арматуры); $\theta cr,d$ – расчетная критическая температура материала (как правило растягиваемой арматуры).

Когда наступает предел огнестойкости плоских железобетонных конструкций

В качестве железобетонных плит перекрытий и покрытий применяют монолитные и сборные плиты: сплошные, пустотные и ребристые (рисунок 2).



а) пустотная плита



б) ребристая плита

Рисунок 2. Железобетонные плиты

Предел огнестойкости плоских железобетонных конструкций, к которым относятся железобетонные плиты покрытия и перекрытия, по предельному состоянию R наступает из-за нагрева растянутой арматуры до критической температуры.

Согласно п.3.20 СП 468.1325800.2019 критическая температура нагрева арматуры — это температура нагрева растянутой арматуры, при которой во время пожара обрушивается изгибающая железобетонная конструкция. Для свободно опретых железобетонных плит растянутая арматура располагается в нижней части плиты. То есть, при пожаре она подвергается огневому воздействию.

Согласно п.8.10 СП 468.1325800.2019 критическая температура нагрева арматуры ts,cr в растянутой зоне железобетонных изгибающихся элементов ориентировочно равна температуре для арматуры без предварительного напряжения:

- горячекатаной – 500°C ;
- холоднодеформированной – 400°C .

Наступление предела огнестойкости железобетонных конструкций связано с тем, что при нагреве снижаются прочностные и деформативные характеристики стали, из которой изготовлена арматура. В момент, когда напряжения в арматуре, вызванные приложенной нагрузкой на конструкцию, сопоставимы с теми напряжениями, которые может выдержать арматура, наступает предельное состояние конструкции по несущей способности.

Простыми словами, предельное состояние — это такое состояние, при выходе из которого конструкция перестает удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней строительными нормами. Условно говоря, нагрев арматуры еще на один градус приведет конструкцию к обрушению.

Снижение предела текучести различных марок стали при повышенных температурах осуществляется по-разному (таблица 1). Следовательно, и критическая температура для различных арматур имеет разное значение.

Таблица 1. Коэффициенты условия работы стали при пожаре

Класс арматуры	Коэффициенты	Значение коэффициентов γ_{st} , β_s при нагреве арматуры до температуры, °C							
		20	200	300	400	500	600	700	800
A240, A300, A400, A500	γ_{st}	1,0	1,0	1,0	0,85	0,60	0,37	0,22	0,10
	β_s	1,0	0,92	0,90	0,85	0,80	0,77	0,72	0,65
A600, A800, A1000	γ_{st}	1,0	1,0	0,96	0,80	0,55	0,30	0,12	0,08
	β_s	1,0	0,90	0,85	0,80	0,76	0,70	0,66	0,61
Проволочная В500, Вр1200, Вр1300, Вр1400, Вр1500 и канатная К1400, К1500	γ_{st}	1,0	1,0	0,90	0,65	0,35	0,15	0,05	0,02
	β_s	1,0	0,94	0,86	0,77	0,64	0,55	0,45	0,35
	γ_{st}	1,0	1,0	1,0	0,92	0,87	0,76	0,39	0,18
* A500С марки 25Г2С горячекатаная («Stretching») ГОСТ Р 52544-2006	β_s	1,0	1,0	1,0	0,99	0,94	0,93	0,77	0,60
* A600С марки 18Г2СФ термомеханически упрочненная СТО АСЧМ 7-93	γ_{st}	1,0	0,92	0,84	0,76	0,82	0,69	0,42	0,13
	β_s	1,0	0,99	0,99	0,91	0,91	0,83	0,72	0,65
* A500С марки Ст3Гпс термомеханически упрочненная ГОСТ 34028-2016	γ_{st}	1,0	0,97	0,94	0,87	0,85	0,72	0,43	0,17
	β_s	1,0	1,0	1,0	0,98	0,93	0,88	0,82	0,67
* В500С марки Ст3Гпс ГОСТ Р 52544-2006 холоднодеформированная, стержневая, диаметром не менее 12 мм	γ_{st}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,81	0,33	0,18
	β_s	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,97	0,91	0,63
Примечания —									
1. *Со звездочкой указаны классы арматуры применительно к конкретным маркам сталей современного способа производства.									
2. Для иных видов арматуры и классов арматурных сталей современного способа производства коэффициенты условий работы при нагреве следует определять экспериментально.									

При общих равных условиях, основным фактором, влияющим на огнестойкость плоских железобетонных конструкций, будет являться расстояние до оси арматуры, то есть толщина бетона, которая будет защищать арматуру от нагрева при пожаре.

Значения фактического предела огнестойкости железобетонных плит

Фактический предел огнестойкости для плоских железобетонных конструкций зависит от их толщины и расстояния до оси арматуры. Разработаны таблицы, показывающие фактический

предел огнестойкости железобетонных плит. Данные, позволяющие оценить огнестойкость, разработаны для максимальных нагрузок, которые могут действовать на конструкцию при пожаре.

Для плит перекрытия нормами установлены помимо предельного состояния R, предельные состояния E и I. Предельные состояния EI обеспечиваются соблюдением необходимой толщины железобетонной конструкции.

Также стоит отметить, что согласно п.14.8 СП 468.1325800.2019 засыпки, стяжки и пол из негорючих материалов включаются в общую толщину плиты и способствуют повышению ее предела огнестойкости.

Сгораемые изоляционные слои, уложенные на цементную подготовку, не снижают предел огнестойкости плит. Материалы компании ТЕХНОНИКОЛЬ, входящие в состав плоских железобетонных конструкций, не снижают ее предела огнестойкости. Замена одного вида материала на другой, производимый под торговой маркой ТЕХНОНИКОЛЬ, не приведет к снижению фактического предела огнестойкости конструкций.

Согласно таблице 14.5 СП 468.1325800.2019 можно определить предел огнестойкости свободно опертых плит (таблица 2) по предельным состояниям REI.

Таблица 2. Пределы огнестойкости свободно опертых плит

Вид бетона, параметры плиты и вид опирания		Параметры толщины плиты t и расстояния до оси арматуры a	Минимальное значение параметра плиты, мм, при пределе огнестойкости, мин						
			15	30	60	90	120	150	180
Тяжелый	Толщина плиты	t	30	50	80	100	120	140	155
	Опирание по двум сторонам или по контуру при $l_y / l_x \geq 1,5$	a	10	15	25	35	45	60	70
	Опирание по контуру $l_y / l_x < 1,5$	a	10	10	10	15	20	30	40
Легкий $\gamma = 1200$ $\text{кг}/\text{м}^3$	Толщина плиты	t	30	40	60	75	90	105	120
	Опирание по двум сторонам или по контуру при $l_y / l_x \geq 1,5$	a	10	10	20	30	40	50	55
	Опирание по контуру $l_y / l_x < 1,5$	a	10	10	10	10	15	25	30

К сожалению, нормы Российской Федерации при оценке огнестойкости табличным методом расчета не учитывают тот факт, что разные марки стали имеют разную скорость снижения прочностных и деформативных характеристик. Хотя сами нормы на это явление указывают. Поэтому в настоящее время, независимо от класса арматуры, для всех железобетонных плит предел огнестойкости определяется по таблице 14.5 СП 468.1325800.2019 (таблица 2).

Например, в нормах Республики Беларусь к схожей таблице есть пояснения. Если арматура выполнена с прочностью более 500 МПа, то минимальные расстояния, указанные в таблице до оси арматуры, должны быть увеличены:

- на 10 мм — при использовании арматуры классов S800 – S1200;
- на 15 мм — при использовании проволоки и канатов класса S1400.

В многопустотных плитах имеются пустоты, что необходимо учитывать при использовании табличных данных. Расчеты регламентирует п.14.8 СП 468.1325800.2019: толщина таких плит должна приводиться к сплошной плите путем деления площади поперечного сечения плиты за вычетом площадей пустот на ее ширину. Пределы огнестойкости многопустотных и ребристых с ребрами вверх панелей и настилов следует принимать по таблице 2, умножая их на коэффициент 0,9.

Пример определения предела огнестойкости многопустотной плиты

Рассмотрим пример определения предела огнестойкости многопустотной плиты. Конструкция железобетонной многопустотной плиты выполнена высотой сечения 220 мм с нижним армированием арматурой диаметром 12 мм (рисунок 3). Расстояние до оси арматуры составляет 35 мм. Диаметр пустот 160 мм.

Первым делом, находим приведенную высоту сечения. Для этого необходимо определить площадь рассматриваемого сечения многопустотной плиты, которая составит: $1200*220=264\ 000\ \text{мм}^2$.

Затем определяем площадь пустот, находящихся в сечении конструкции: $(3,14*160^2*6)/4=120\ 576\ \text{мм}^2$.

Площадь бетона в сечении составит: $264\ 000-120\ 576=143\ 424\ \text{мм}^2$.

Высота рассматриваемого сечения составит: $143\ 424/1200=119,52\ \text{мм}$.

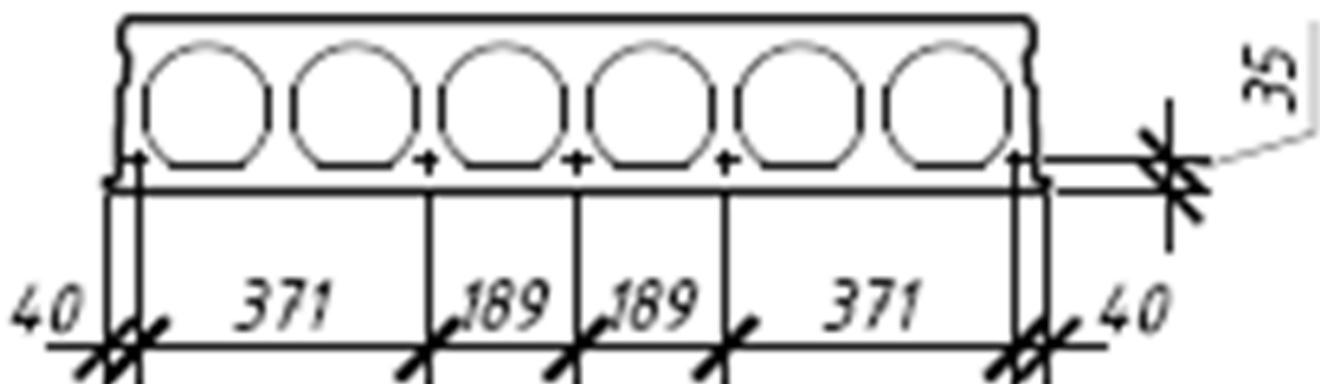


Рисунок 3. Расчетное сечение многопустотной плиты

Многопустотные плиты опираются по двум сторонам. Согласно таблице 2 предел огнестойкости плиты составит 90 минут. Однако нужно помнить, что для многопустотных плит предел огнестойкости, полученный по таблице 2, необходимо умножить на понижающий коэффициент 0,9. Следовательно, рассматриваемая конструкция многопустотной плиты имеет предел огнестойкости $90*0,9=81$ минута, то есть REI81.

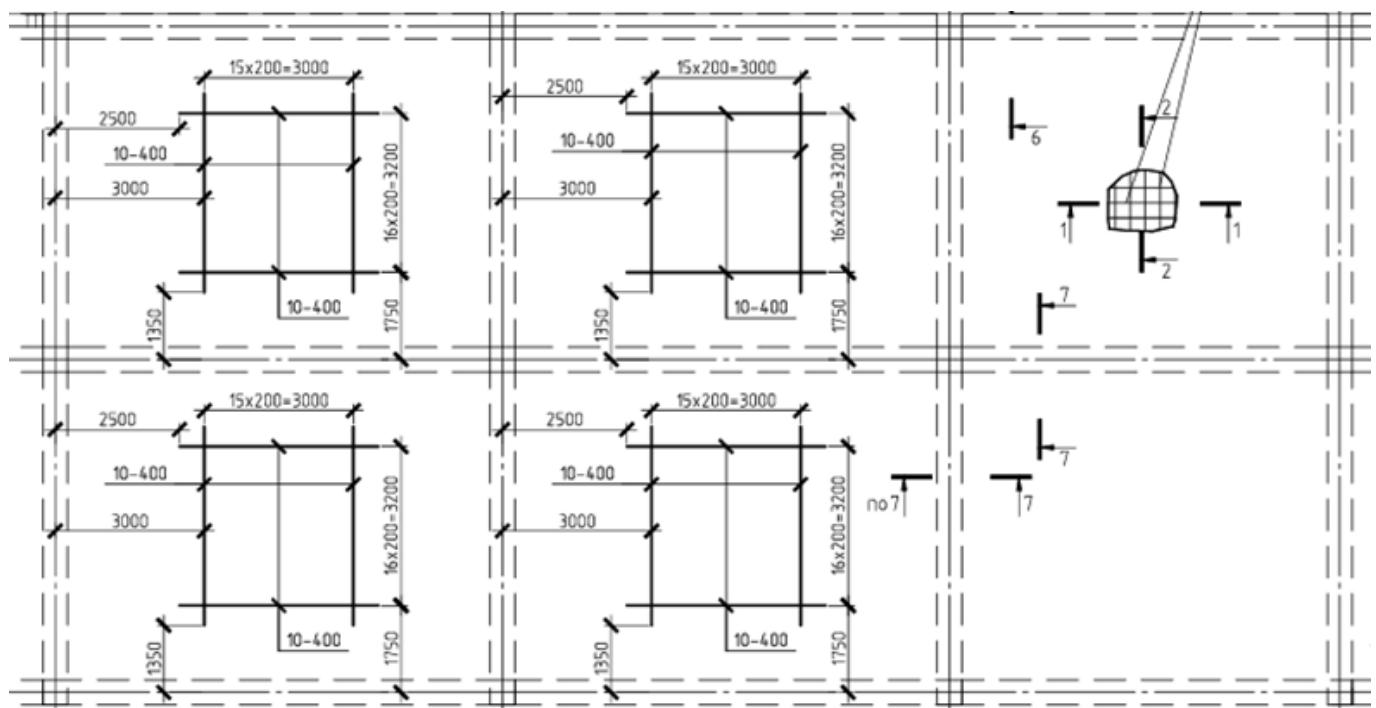
В огнестойкости принято все полученные значения приводить к так называемому стандартному ряду по огнестойкости, округляя до ближайшего нижнего значения. Следовательно, конструкция обладает пределом огнестойкости не менее REI75.

Таблица 2. Пределы огнестойкости свободно опертых плит. Фрагмент

Пример определения предела огнестойкости монолитной плиты

Рассмотрим пример определения предела огнестойкости для монолитной плиты. Согласно исходным данным (рисунок 4) в конструкции применяется арматура диаметром 10 мм. Расстояние до нижнего ряда арматуры составляет 40 мм, толщина плиты 200 мм.

Монолитные плиты соответствуют работе конструкций, опертым по четырем сторонам. Как видно из рисунка 4, соотношение сторон 1 к 1. Следовательно, для оценки огнестойкости будем применять строку, в которой прописано «опирание по контуру $l_y / l_x < 1,5$ ». Таким образом, предел огнестойкости рассматриваемой плиты составит REI180.



1-1

10-1 (основная)

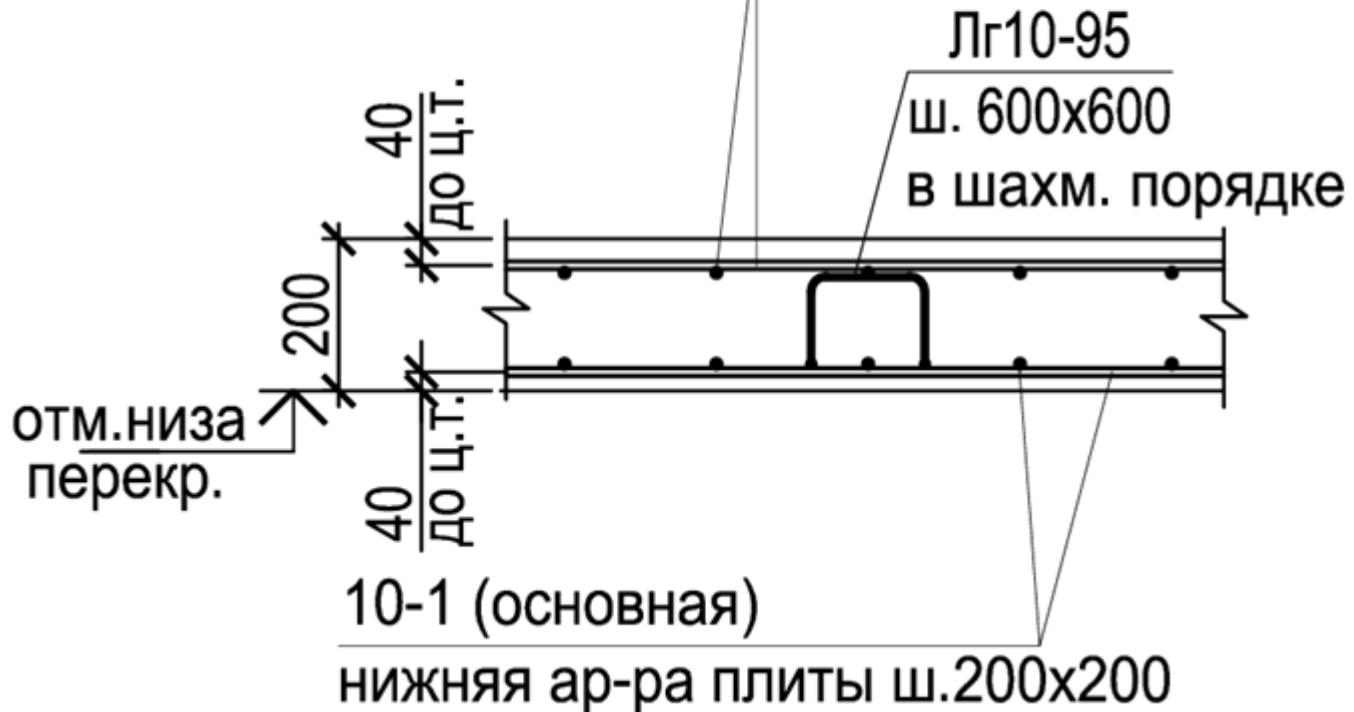


Рисунок 4. Расчетное сечение монолитной плиты

Таблица 2. Пределы огнестойкости свободно опертых плит. Фрагмент

Вид бетона, параметры плиты и вид опирания	Параметры толщины плиты t и расстояния до оси арматуры a	Минимальное значение параметра плиты, мм, при пределе огнестойкости, мин						180	
		15	30	60	90	120	150		
Тяжелый	Толщина плиты	t	30	50	80	100	120	140	155
	Опирание по двум сторонам или по контуру при $l_y / l_x \geq 1,5$	a	10	15	25	35	45	60	70
	Опирание по контуру $l_y / l_x < 1,5$	a	10	10	10	15	20	30	40

Дополнительные рекомендации по оценке предела огнестойкости железобетонных плит

В случаях, когда огнестойкость железобетонных конструкций по табличному методу расчета не может быть обеспечена, можно провести упрощенный расчет со сбором точных значений нагрузок и рассчитать конструкцию. Так как в реальной жизни конструкция зачастую нагружена ниже предельных значений, то и огнестойкость у нее может быть больше.

В случае, когда предел огнестойкости железобетонных плит не может быть обеспечен защитным слоем бетона, то для повышения предела огнестойкости применяют огнезащиту ОЗБ с определенными характеристиками.

Отдельно хотим обратить внимание на то, что предел огнестойкости железобетонных конструкций не зависит от материалов, выпускаемых под торговой маркой ТЕХНОНИКОЛЬ, которые укладываются на него сверху. Поэтому любая замена материала один на другой не приведет к снижению предела огнестойкости всей конструкции.

Автор статьи:

Сергей Жамойдик

Руководитель направления пожарная безопасность, Инженерно-технический центр Технической дирекции.



Ответ сформирован в
базе знаний по ссылке