



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

С.Н.ХОЛОДОВА

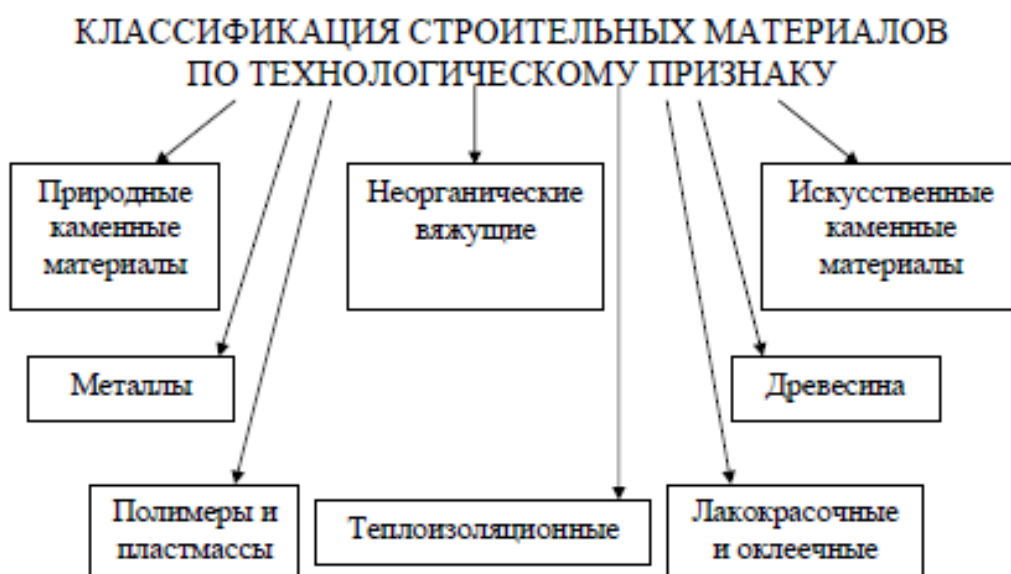
Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре

Конспект лекций

Ростов-на-Дону

2017

Тема: Основные процессы и свойства, характеризующие поведение материалов в условиях пожара



Номенклатура строительных материалов содержит сотни названий. Каждый материал в определенной мере отличается от других внешним видом, химическим составом, структурой, свойствами, областью применения в строительстве и поведением в условиях пожара. Вместе с тем между материалами не только существуют различия, но и множество общих признаков.

Под поведением строительных материалов в условиях пожара понимается комплекс физико-химических превращений, приводящих к изменению состояния и свойств материалов под влиянием интенсивного высокотемпературного нагрева.

Классификация свойств строительных материалов

1. Физические свойства: объемная масса, плотность, пористость, гигроскопичность, водопоглощение, водопроницаемость, паро- и газо-проницаемость.

2. Механические свойства: прочность, деформативность.

3. Теплофизические свойства: теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, тепловое расширение, теплостойкость.

4. Свойства, характеризующие пожарную опасность материалов: горючесть, тепловыделение, дымообразование, выделение токсичных продуктов.

Свойствами называют способность материалов реагировать на воздействие внешних и внутренних факторов: силовых, влажностных, температурных и др.

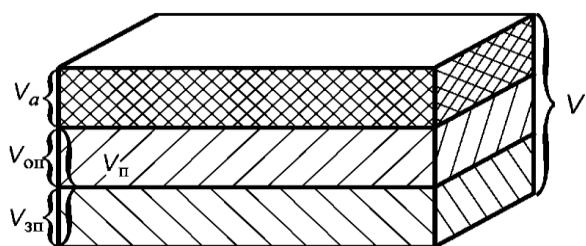


Рис.1 Образец пористого материала: V - объем образца; $V_{\text{оп}}$ - объем вещества; $V_{\text{п}}$ - объем пор;

К физическим относят свойства, выражающие способность материалов реагировать на воздействие физических факторов: гравитационных, влажностных и др.

В качестве примера рассмотрим образец пористого материала рис.1.

Обозначим его массу - m , объем - V . Учитывая, что материал пористый, часть объема образца занимают поры. Обозначим эту часть объема $V_{п}$. Причем поры бывают открытыми - сообщающимися между собой и атмосферой. Обозначим часть объема образца, занятую указанными порами, $V_{оп}$ и $V_{зп}$, соответственно. Остальную часть объема образца занимает материал (вещество в абсолютно плотном состоянии) - V_a

Числовые значения объемной массы для различных строительных материалов колеблются в широком диапазоне (табл).

Числовые значения показателей физических свойств наиболее распространенных строительных материалов

Материал	Объемная масса ρ_0 , кг/м ³	Плотность ρ , кг/м ³	Пористость P , %
Пенополистирол	15-20	1050	81-98
Древесина:			
сосна	400-600	1550	61-74
дуб	700-900	1600	42-55
Бетоны:			
ячеистые	500-1200	2500	60-84
легкие	500-1800	2600	40-84
тяжелые	1800-2500	3000	17-40
Красный кирпич	1600-2500	3000	17-40
Стекло оконное	2500	2500	0
Металлы:			
сталь	7800	7800	0
алюминиевые сплавы	2850	2850	0

Плотность (истинная плотность ρ_0 , кг/м³) - масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (т.е. объем определяют без учета пор, трещин, каверн и других полостей, присущих материалу в его обычном состоянии)

Пористость (P , %) - степень заполнения объема образца материала порами.

Гигроскопичность - способность пористого материала поглощать влагу из воздуха (парогазовой смеси). Она характеризуется влагосодержанием материала - отношением массы влаги, содержащейся в порах материала, к его массе в сухом состоянии - кг/кг, %.

Водопоглощение (W) - способность пористого материала впитывать воду при непосредственном контакте с ней. Различают понятия водопоглощения материала по массе и по объему.

Водопроницаемость - способность пористого материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в течение 1 часа через 1 см^3 поверхности материала при заданном давлении воды.

Паро- и газопроницаемость оценивают с помощью соответствующих коэффициентов (λ , ρ). Она равна количеству водяного пара (воздуха), которое проходит через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м^2 в течение 1 ч при разности давлений у противоположных поверхностей образца 10 Па.

Механические (деформационно-прочностные) **свойства** отражают способность материалов (изделий) сопротивляться действию нагрузок (усилий), возникающих от силовых, тепловых, усадочных и других факторов.

Процесс растяжения стержня представлен на рис.2

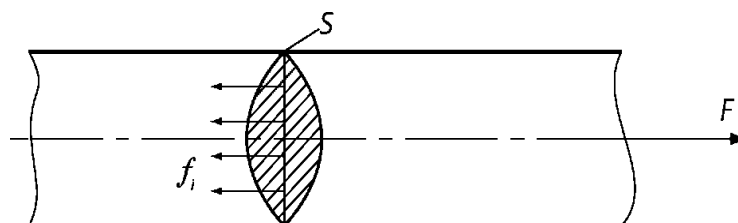


Рис. 2 Схема, поясняющая возникновение внутренних напряжений при растяжении стержня: F - внешняя растягивающая сила, f - внутренние силы. S - площадь поперечного сечения

Если взять отношение суммы внутренних сил к площади поперечного сечения стержня S , то получим механическую характеристику, которая называется **напряжением**.

Прочность - это способность материала сопротивляться разрушению за счет внутренних напряжений, возникающих под действием внешней силы.

Возникновение напряжений в материале может происходить также в результате воздействия других факторов, например, температурных градиентов по толщине конструкции. Чем больше величина напряжений, которые способны возникнуть в материале, тем он прочнее. Однако всегда можно приложить такую внешнюю силу что сумма внутренних сил окажется недостаточной для ее компенсации. В этом случае происходит разрушение материала, точнее потеря целостности, т.к. и при $F < F_p$ в материале протекает кинетический процесс накопления нарушений. Напряжение, соответствующее разрушающей силе, называют *временным сопротивлением* (пределом прочности).

Деформативность - способность образца материала (изделия) изменять свои размеры (форму) без изменения своей массы, характеризуется величиной деформации: абсолютной, относительной.

Пластическая деформация, медленно нарастающая в течение длительного времени под влиянием нагрузки, величина которой недостаточна для того, чтобы вызвать остаточную деформацию за обычные периоды наблюдений, называется деформацией *ползучести*, а процесс такого деформирования - *ползучестью* (крипом).

Помимо предела прочности к прочностным характеристикам материалов относятся предел упругости и предел текучести.

Упругость - способность образца материала изменять свою форму под действием нагрузки и восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки.

Предел упругости (σ_y) - максимальное напряжение, при котором в материале еще не возникает остаточных деформаций.

Прочность - это способность материала сопротивляться разрушению за счет внутренних напряжений, возникающих под действием внешней силы.

Напряжение, соответствующее разрушающей силе, называют *временным сопротивлением* (пределом прочности) материала и обозначают R

Пластичность - способность образца материала изменять свою форму без разрушения под действием нагрузки и сохранять новую форму после прекращения действия нагрузки. Это свойство характеризуется текучестью материала.

Термофизические свойства характеризуют поведение материалов при воздействии на них тепла.

Теплопроводность - способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях образца (изделия), характеризуют коэффициентом теплопроводности материала (λ), Вт/мК.

Коэффициент теплопроводности - количество тепла, проходящего через плиту толщиной 1 м, при площади ее поверхности 1 м², за время 1 с, при разности температур на противоположных поверхностях 1 К.

Твердость - способность образца материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого образца материала. Величину твердости для металлов определяют числом Бринелля (НВ), которое представляет собой отношение силы, вдавливающей металлический закаленный шарик в поверхность испытуемого металла, к площади полученного в испытаниях углубления.

Теплоемкость - способность материала при нагревании поглощать определенное количество тепла, а при остывании - его отдавать, характеризуется удельной теплоемкостью

Температуропроводность - способность образца материала (изделия) изменить температуру при нагревании (охлаждении), характеризуется коэффициентом температуропроводности (a), м²/с.

Коэффициент температуропроводности характеризует скорость изменения температуры материала.

Тепловое расширение твердых материалов характеризуется коэффициентами линейного и объемного теплового расширения

Теплостойкость - способность нагретых материалов (в частности полимерных) сопротивляться проникновению в них других, более твердых материалов при их соприкосновении, а также деформированию под действием постоянной нагрузки (в нагретом состоянии).

Свойства, характеризующие пожарную опасность строительных материалов.

Под пожарной опасностью принято понимать вероятность возникновения и развития пожара, заключенную в веществе, состоянии или процессе.

Согласно СНиП 21_01_97* пожарная опасность строительных материалов определяется следующими пожарнотехническими характеристиками (свойствами материалов): горючестью, воспламеняемостью, распространением пламени по поверхности, дымообразующей способностью и токсичностью продуктов горения. Для оценки степени пожарной опасности строительных материалов используют количественные показатели.

Горючесть - свойство, характеризующее способность материала гореть.

Согласно СНиП 21-01-97* строительные материалы по горючести подразделяют на две основные группы: негорючие (НГ) и горючие (Г).

Воспламеняемость - способность материала воспламеняться от источника зажигания, либо при нагреве до температуры самовоспламенения.

Согласно ГОСТ 30402-96 и СНиП 21-01-97* горючие материалы по воспламеняемости подразделяют на 3 группы: В1 - трудновоспламеняемые, В2 - умеренновоспламеняемые, В3 - легковоспламеняемые.

Распространение пламени - способность образца материала распространять пламя по поверхности в процессе его горения.

Согласно ГОСТ 30444-97 и СНиП 21-01-97* горючие материалы по способности распространять пламя по поверхности делят на 4 группы: РП1 - нераспространяющие, РП2 - слабораспространяющие, РП3 - умереннораспространяющие, РП4 - сильнораспространяющие пламя.

Дымовыделение - способность материала выделять дым при горении, характеризуется коэффициентом дымообразования, определяемым по ГОСТ 12.1.044-89

Коэффициент дымообразования - величина, характеризующая оптическую плотность дыма, образующегося при сгорании образца материала в экспериментальной установке.

По величине коэффициента дымообразования строительные материалы подразделяются на 3 группы: Д1 - с малой дымообразующей способностью, Д2 - с умеренной дымообразующей способностью, Д3 - с высокой дымообразующей способностью.

Показатель (индекс) токсичности продуктов горения материалов

По показателю токсичности строительные материалы подразделяются на 4 группы: Т1 - малоопасные, Т2 - умеренноопасные, Т3 - высокоопасные, Т4 - чрезвычайно опасные.

Температура воспламенения (t_j - минимальная температура, при которой интенсивность выделения газообразных горючих продуктов разложения достаточна для их зажигания внешним источником и поддержания самостоятельного горения материала при устранении внешнего источника.

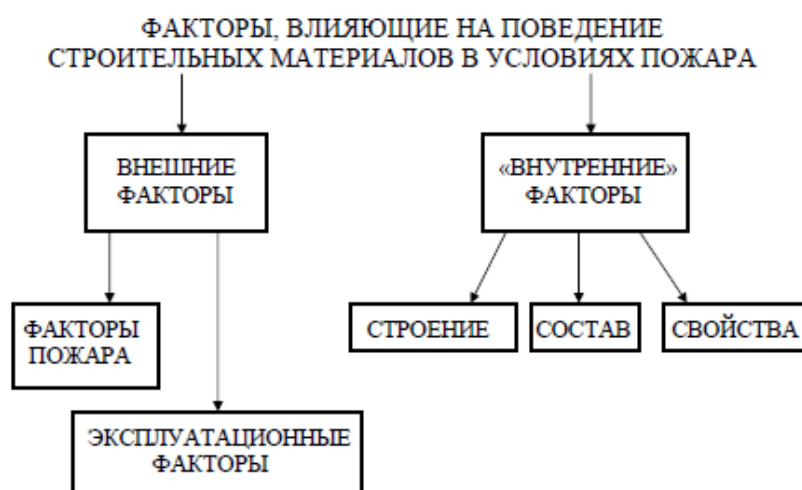
Температура самовоспламенения (t) - самая низкая температура материала, при которой в условиях специальных испытаний происходит интенсивное увеличение скорости экзотермической реакции, заканчивающейся пламенным горением.

Кислородный индекс (КИ) - минимальная концентрация кислорода (%), необходимая для устойчивого горения материала.

Индекс распространения пламени - условный безразмерный показатель, характеризующий способность материала распространять пламя по поверхности.

Скорость распространения пламени по поверхности материала (V , м/с) - скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего участка.

Теплота сгорания (Q_n , МДж/кг) - количество тепла, выделяющегося при полном сгорании единицы массы материала.



ФАКТОРЫ ПОЖАРА

1. Температурный режим и продолжительность пожара.
2. Средства пожаротушения.

3. Агрессивная среда при пожаре (токсичность продуктов горения, разрушающая материалы).

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ

Область применения материала.

1. Внешняя нагрузка.
2. Условия эксплуатации.



ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА



Основным показателем, характеризующим развитие этого процесса, является *температура* материала (t - потенциал теплопереноса). Параметрами,

необходимыми для количественной оценки протекания процесса теплопереноса и расчета изменения основного показателя (t) при пожаре являются теплофизические характеристики материала (X , c , a).

Влагоперенос - отражает процесс перемещения влаги в пористой структуре материала одновременно с развитием процесса теплопереноса.

температурные деформации расширения происходят в результате процесса теплопереноса, приводящего к увеличению межатомных расстояний в материале вследствие превращения тепловой энергии в кинетическую энергию атомов, подвижность которых при этом возрастает по мере повышения температуры материала;

температурно-влажностные деформации капиллярно-пористых материалов при нагреве, которые обусловлены действием процесса тепловлагопереноса;

температурно-влажностно-силовые деформации материала происходят в результате суммарного действия внешней нагрузки на конструкцию (а, следовательно, и материал) и температурно-влажностных процессов;

Размягчение - свойственно преимущественно аморфным материалам при нагреве, в частности, отдельным видам полимеров (термопластичных). Это приводит к повышению их пластичности (текучести) и, соответственно, к снижению упругости, прочности, повышению деформативности.

Дегидратация - химическая реакция отщепления от молекулы вещества химически связанной воды. Этот процесс, например, характерен для ряда природных каменных материалов, в частности, гипса

Диссоциация - расщепление (распад) молекул. Эта химическая реакция свойственна, в частности, природным каменным материалам, например, при температуре порядка 900°C протекает реакция диссоциации известняка (карбоната кальция)

Процессы, протекающие в органических материалах в условиях пожара:

1. Удаление физически связанной воды и капиллярной влаги.
2. Межмолекулярная дегидратация и диссоциация.
3. Деполимеризация.
4. Термоокислительная деструкция.

Методы экспериментальной оценки поведения строительных материалов в условиях пожара (СНиП 21-01-97*)



Тема: Каменные (минеральные) материалы и их поведение в условиях пожара

Для прогнозирования и регулирования поведения каменных материалов в условиях пожара необходимо знать их происхождение (сущность технологии изготовления), состав, структуру, свойства, т.е. комплекс внутренних факторов, влияющих на поведение материала в условиях пожара.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ПРОИСХОЖДЕНИЮ



Основные сведения о неорганических вяжущих веществах

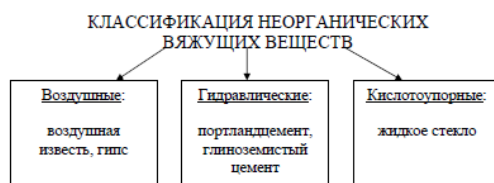


СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

1. Добыча сырья и доставка его на завод;
2. Подготовка сырья к обжигу;
3. Обжиг сырьевой смеси (получение клинкера)
4. Выдерживание клинкера на складе (1...2 недели);
5. Измельчение клинкера в тонкий порошок;
6. Магзинирование (вылеживание) цемента.

Воздушные вяжущие — вещества способные твердеть после соединения с водой и сохранять прочность только на воздухе, например: гипс, воздушная известь.

Гидравлические вяжущие — вещества, способные после соединения с водой твердеть и сохранять прочность на воздухе и в воде: портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент, гидравлическая известь и др.

В некоторых специальных случаях рассматривают третью группу - кислотостойкие вяжущие - вещества, способные твердеть и сохранять свою прочность после твердения не только на воздухе или в воде, но и в агрессивной среде.

Неорганические вяжущие получают путем обжига горных пород и последующего измельчения после охлаждения.

Наиболее широко применяемым в строительстве гидравлическим вяжущим веществом является портландцемент. Его производят порядка 60-65% от всех вяжущих.

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество — продукт тонкого измельчения клинкера, который получают в результате обжига до спекания сырьевой массы, обеспечивающей преобладание в клинкере силикатов кальция.

В настоящее время портландцемент широко применяют для производства бетонных и железобетонных конструкций, а также строительных растворов и асбестоцемента.



Бетон — искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси вяжущего вещества, воды и заполнителя (мелкого — кварцевого песка и крупного — из горных пород, либо отходов промышленности).

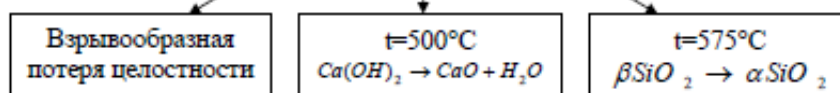


Силикатные материалы автоклавного твердения

При твердении на воздухе воздушная известь приобретает малую прочность и легко разрушается под действием воды, в вяжущее добавляют кварцевый песок и твердение его осуществляют в автоклаве (герметичном сосуде) при температуре свыше 170°C, избыточном давлении более 0,8 МПа и 100% влажности воздуха.

В результате получают гидросиликат кальция — прочное и водостойкое вещество. На силикатном связующем изготавливают силикатобетон, силикатный кирпич и другие материалы, которые по прочности практически не уступают бетону на портландцементе и керамическому (глиняному обыкновенному) кирпичу, соответственно.

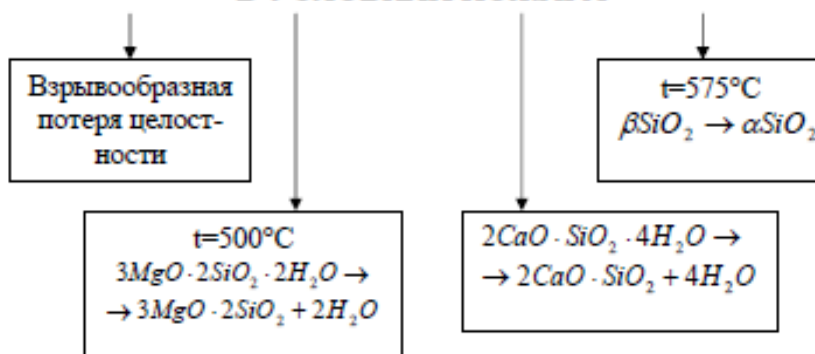
ПОВЕДЕНИЕ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА



Асбестоцемент

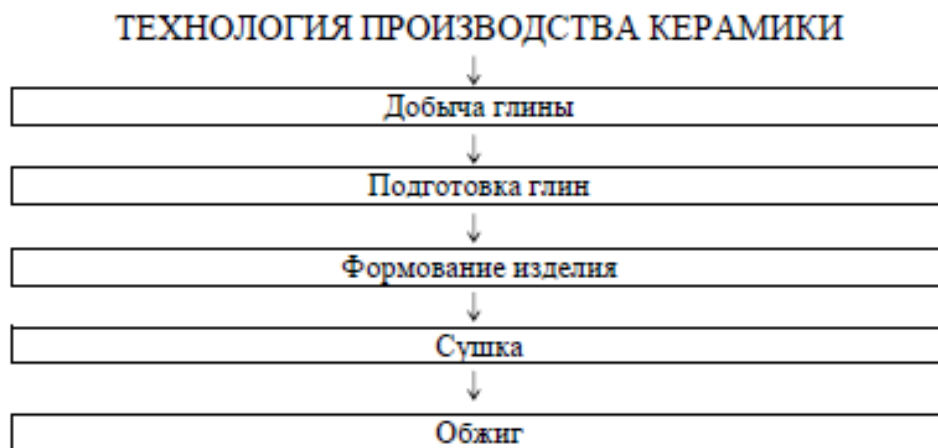
Асбестоцемент изготавливают в виде изделий, в основном плоских, волнистых прессованных и непрессованных листов и труб. В его состав входит асбест в пределах 10.20% по массе, портландцемент — 80.90% и большое количество воды. Изделия изготавливают на специальной листоформовочной машине, обеспечивающей слоистую структуру изделия и постепенное непрерывное их уплотнение. Благодаря такой обработке изделия обладают в 10.20 раз выше прочностью при изгибе, чем цементный камень (30.50 МПа).

ПОВЕДЕНИЕ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

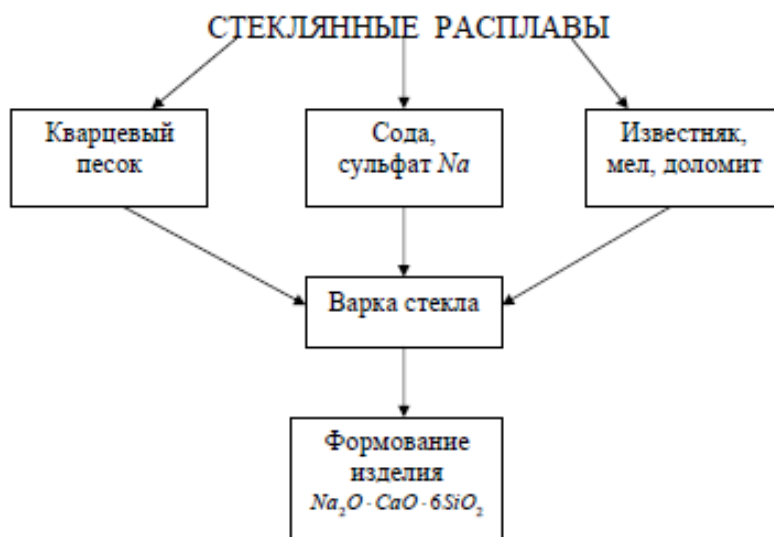


Керамические материалы

Керамические материалы получают путем обжига глин до температур 900.1300°C. В процессе обжига происходят физико-химические процессы, приводящие к упрочению материала. Основным материалом, применяемым в строительстве, являются кирпич глиняный обыкновенный — применяют для кладки вертикальных строительных конструкций, керамические плитки — для полов и кровли, фарфор и фаянс — для сантехнических изделий.



Минеральные расплавы получают путем нагрева природных каменных материалов до температуры плавления и последующего остывания (в форме). Так получают кварцевое стекло, стекловату (путем продувки расплавленной массы горячим воздухом), минеральную вату. Керамические материалы обладают высокой прочностью и долговечностью.





**Тема: МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ, ИХ ПОВЕДЕНИЕ В УСЛОВИЯХ
ПОЖАРА И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ К ЕГО
ВОЗДЕЙСТВИЮ.**

В строительстве чистые металлы применяют довольно редко, более распространены сплавы. В первую очередь сплавы железа с углеродом - стали и всевозможные алюминиевые сплавы. Для того чтобы понять, как ведут себя в условиях пожара металлические сплавы, применяемые в строительстве, а также как прогнозировать и регулировать их поведение, представляется целесообразным воспользоваться схемой.



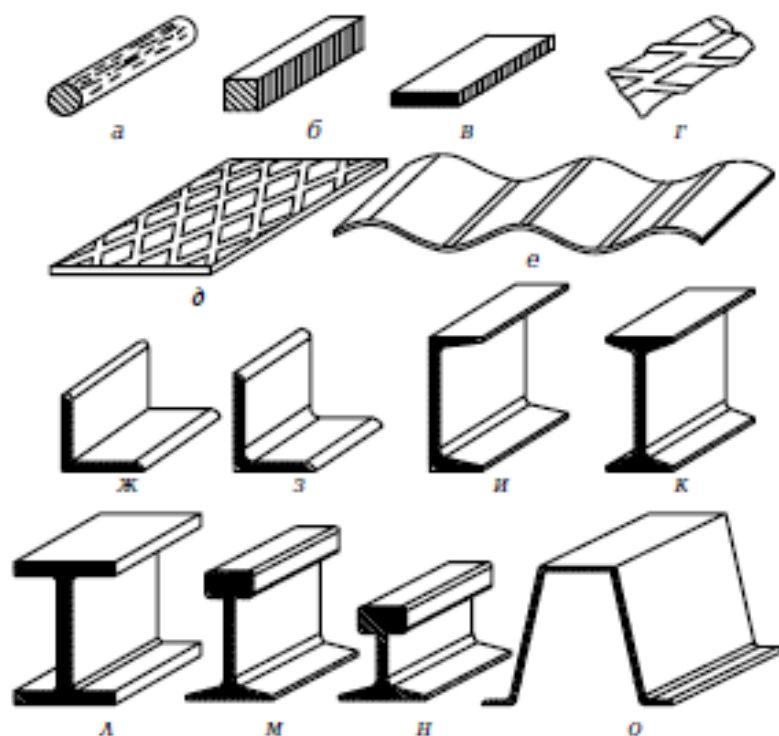
Стали, применяемые в строительстве.

Стаями называют сплавы железа и углерода. Содержание углерода в сталях не превышает 2%. При содержании углерода более 2% сплав называют *чугуном*.

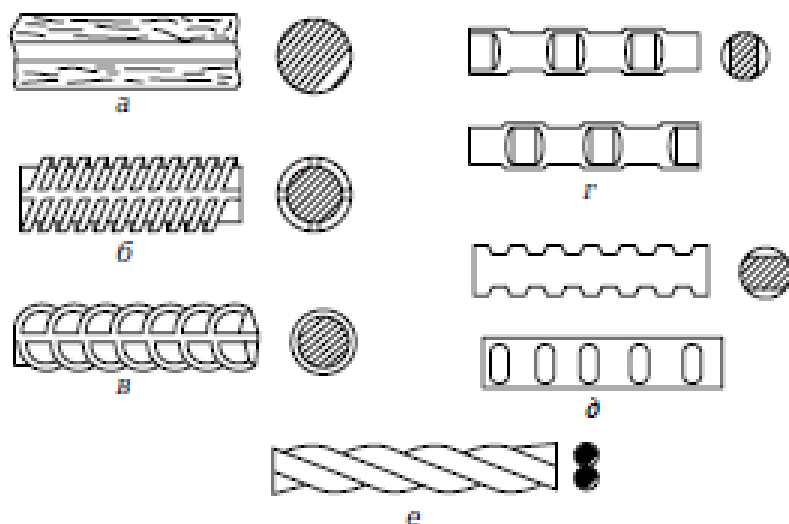
Строительные и машиностроительные стали относят к группе конструкционных сталей. По механическим характеристикам конструкционные стали делят на семь марок: СтО, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Основными строительными сталями являются Ст3 и Ст5, из которых изготавливают несущие

металлические конструкции и арматуру для железобетона. Из сталей Ст4 и Ст5 изготавливают также болты, шурупы и т.д.

В строительстве сталь применяют в виде прокатных изделий, получаемых с металлургических заводов и имеющих различную форму поперечного сечения — профиль. Каталог прокатных профилей называют сортаментом.



Сортамент прокатных стальных профилей: а - круглый; б- квадратный; в - плоский; г- периодического профиля, д - ребристого профиля; е- волнистый; ж- уголок равнобокий; з- уголок неравнобокий; и- швеллер; к- двутавр; л- тавр сварной; м- подкрановая балка; н- рельсовая балка; о- балка для шахтного крепления



Виды арматурных изделий: а - горячекатанная стержневая арматура класса А-I; б - горячекатанная стержневая периодического профиля класса А-II; в - то же, класса А-III; г- холодносплюснутая с четырех сторон; д - то же, с двух сторон; е – витая.



Алюминиевые сплавы

В чистом виде алюминий применяют редко из-за малой прочности. В строительстве все шире используют алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы разделяют на две основные группы: литейные и обрабатываемые под давлением.

Литейные сплавы в строительстве применяют ограниченно — только для изготовления фасонных отливок. Представителем этих сплавов является силумин — сплав алюминия с кремнием. Обозначают литейные сплавы буквами АЛ. Цифра после букв обозначает условный номер сплава, например, АЛ2, АЛ3 и т.п.

Сплавы, обрабатываемые давлением (прокаткой, ковкой, штамповкой), делят на 2 группы.

1. Деформируемые без последующей термообработки:

а) сплавы алюминия с магнием, например, магналий. Обозначение — Амг3, Амг5, Амг6. Цифра показывает содержание магния в %;

б) сплавы алюминия с марганцем; обозначение — АМц.

2. Деформируемые с последующей термообработкой:

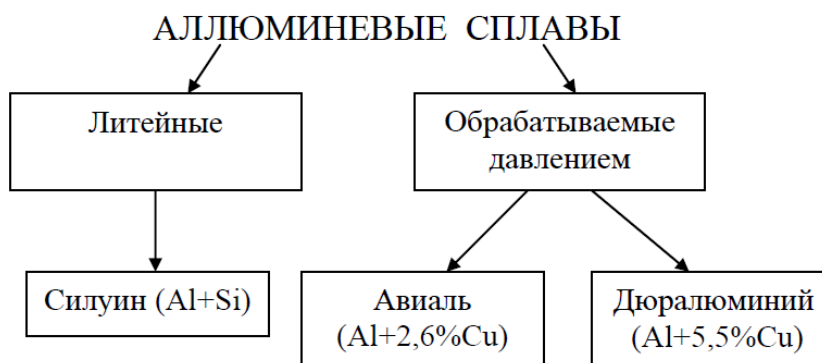
а) сплавы алюминия с медью, магнием, кремнием и марганцем: авиаль — АВ-Т, АВ-Т1; буква Т — обозначает термическое упрочнение; (цифра 1 обозначает искусственное старение); дюралюмины — Д1-Т, Д16-Т, цифра после буквы Д обозначает условный номер сплава;

б) высокопрочные сплавы алюминия с цинком, магнием, кремнием и марганцем — В92-Т, В92-П и т.п. Буква В обозначает, что сплав высокопрочный, цифры обозначают условный номер сплава.

Достоинством алюминиевых сплавов является высокий предел прочности — до 500-700 МПа, при малой плотности — 2850 кг/м^3 . Большинство алюминиевых сплавов имеют высокую стойкость к коррозии, хорошую декоративность.

Сохраняют высокую прочность при низких температурах, не образуют искр при ударе.

К недостаткам алюминиевых сплавов следует отнести: низкий модуль упругости — приблизительно в 3 раза меньше, чем у стали, и высокий коэффициент температурного расширения, в 3 раза больше, чем у стали.



Способы повышения стойкости металлов к воздействию пожара

Обеспечить некоторое продление времени сохранения свойств металлов в условиях пожара (в случаях, где это необходимо и экономически оправдано) можно следующими способами:

- 1) выбором изделий из металлов, более стойких к воздействию пожара. В этом плане предпочтение отдается сталям вместо алюминиевых сплавов, причем низколегированным сталям вместо углеродистых. При выборе арматурных изделий следует предпочесть арматуру, не упрочненную наклепом и термообработкой;
- 2) специальным изготовлением металлических изделий, более стойких к нагреву (с учетом информации по п. 1);
- 3) огнезащитой металлоизделий (конструкций) посредством нанесения внешних теплоизоляционных слоев.



Тема: **ДРЕВЕСИНА И ЕЕ ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ. СПОСОБЫ ОГНЕЗАЩИТЫ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Физическое строение древесины

1. Кора
2. Луб.
3. Камбий.
4. Заболонь
5. Ядро
6. Сердцевина.

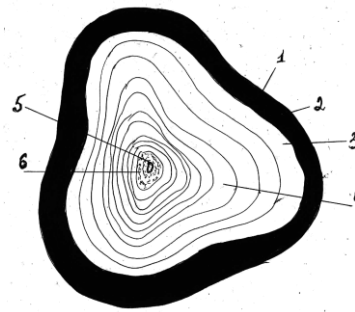


Рис. 4.1 Строение ствола дерева

Элементный состав абсолютно сухой древесины: 49-52% углерода, 43-45% кислорода, 6-6,3% водорода, 0,1-0,6% азота, 0,3-1,6% минеральных веществ. Свежесрубленная древесина содержит кроме того 60-100% воды (по отношению к сухой массе).

Влажность древесины (B_d) — способность древесины поглощать влагу, оказывает очень большое влияние на ее качество, а также на другие свойства; определяют по формуле

$$B_d = \frac{m_v}{m_c} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где m_v — масса образца до высушивания;

m_c — масса образца после высушивания до постоянного значения.

Для древесины нормальной (стандартной) считают влажность 12%, и при определении механических характеристик древесины результаты приводят для сравнения к этой величине влажности.

Зависимость объемной массы от породы древесины

Объемная масса древесины зависит от породы древесины и составляет 375-700 кг/м³. Обычно объемную массу приводят к нормальной 12%-ной влажности древесины.

Плотность древесины ρ_o составляет в среднем 1500 кг/м³.

Теплофизические свойства древесины зависят от породы дерева, объемной массы, влажности и температуры.

Таблица 4.1

№	Порода древесины	Величина влагосодержания кг / м ³
1.	Хвойные: лиственница, сосна,	650

	кедр, пихта, ель	500
2.	Твердые лиственные: дуб, береза, клен, ясень, бук, акация, вязь	700
3.	Мягкие лиственные: осина, тополь, ольха, липа	500

Продукты разложения древесины

30-35% - уголь;

40-45% - жидкий дистиллят;

15-20% - газообразные вещества.

Свойства, характеризующие поведение древесины

ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛА

Коэффициент
теплопроводности

Коэффициент
теплоемкости

Коэффициент **линейного**
расширения

$\lambda_{\text{древеси́ны}} = 0,17 \dots 0,31 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$
 $\lambda_{\text{стали}} = 58 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$
 $\lambda_{\text{тяжелого бетона}} = 1,44 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$

$\alpha_{\text{бетона}} = 1 \dots 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$
 $\alpha_{\text{стали}} = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$
 $\alpha_{\text{древеси́ны поперек волокон}} = 3,5 \dots 6 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$
 $\alpha_{\text{древеси́ны вдоль волокон}} = 0,3 \dots 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$

$C_{\text{древеси́ны}} = 2,51 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$
 $C_{\text{стали}} = 0,42 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$

Зависимость влагосодержания древесины от влажности воздуха

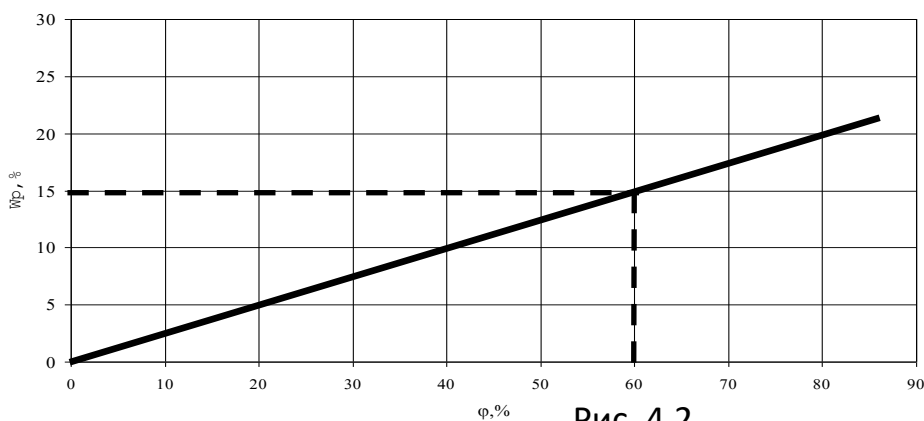


Рис. 4.2

Зависимость прочности древесины от влагосодержания

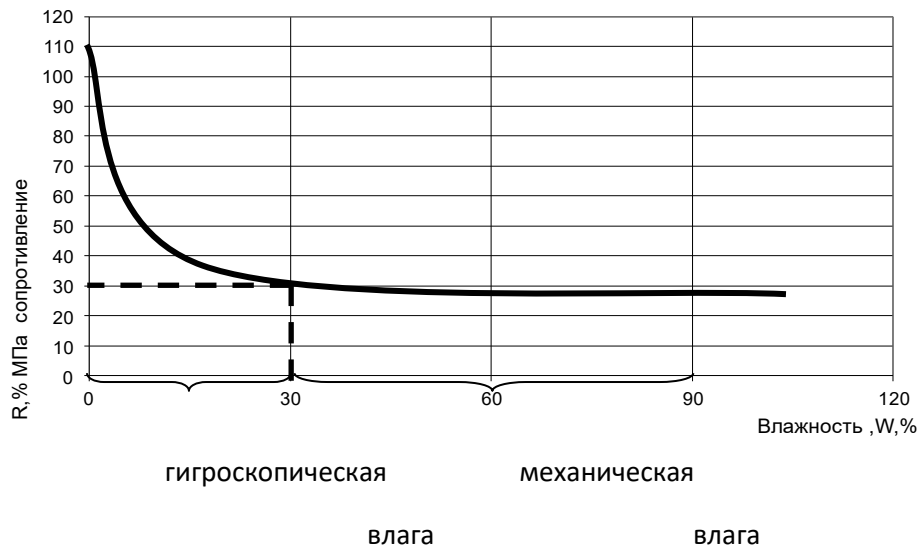


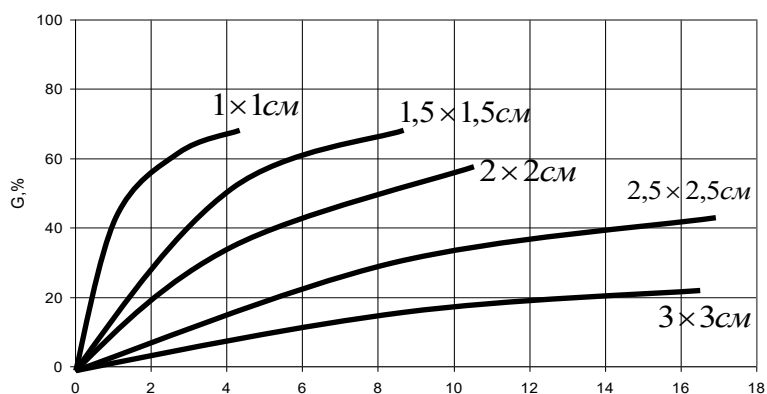
Рис. 4.3

Поведение древесины при нагревании, в условиях пожара

1. 110°C – начинается разложение древесины, сопровождающееся выделением летучих веществ, что можно обнаружить по характерному запаху.
2. 110-150°C – происходит выделение негорючих продуктов разложения (вода - H_2O , углекислый газ – CO_2), что сопровождается изменением цвета древесины (она желтеет).
3. 150-200°C – древесина начинает обугливаться, приобретая коричневую окраску. Газы, выделяющиеся при этом, являются горючими и состоят в основном из окиси углерода – CO , водорода – H_2 и паров органических веществ.
4. 250-300°C – происходит воспламенение продуктов разложения древесины.

Идеальная схема разложения древесины: $(C_6H_{10}O_5)_n \rightarrow CO_2 + H_2O + C$

Зависимость массовой скорости выгорания деревянных брусков от площади поперечного сечения



Зависимость массовой скорости выгорания древесины от объемной массы

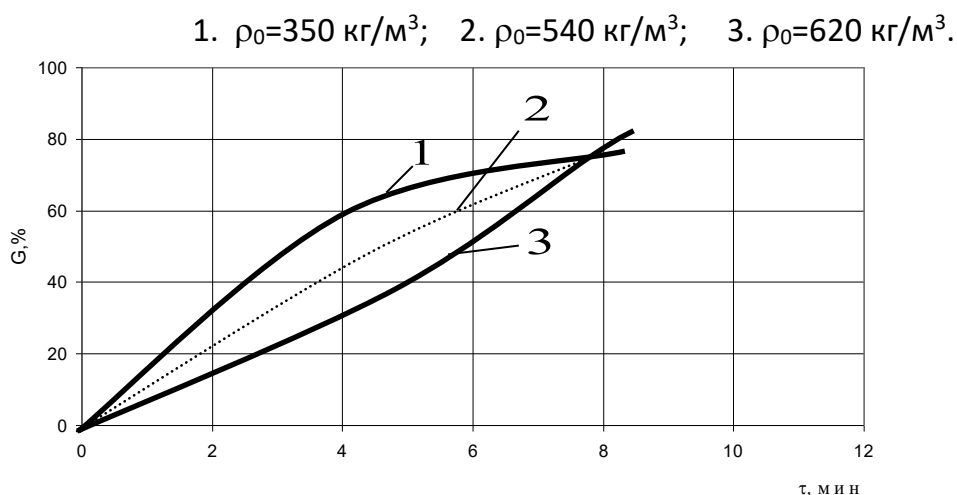


Рис. 4.5

Пожарную опасность древесины можно охарактеризовать следующими параметрами. Температура воспламенения и самовоспламенения древесины составляют 250 и 350°C соответственно. Линейная скорость распространения пламени по поверхности составляет 1-10 мм/с.

Для древесины показатель токсичности продуктов горения составляет 35,5 г/м³. По классификации ГОСТ 12.1.044-89 древесину следует относить к группе высокоопасных материалов — Т3. Токсическое действие продуктов разложения и горения древесины в основном обусловлено высоким содержанием в их составе оксида углерода.

Классификация по токсичности продуктов горения древесных материалов приведены в табл. 4.2

Таблица 4.2

Результаты испытаний на токсичность

Материал	Выделение токсичных веществ (СО), м²/ч	H_{CL50} , г/м³	Группа по токсичности
Фанера ФСФ	230	25,3	Т3
Древесина сосны	166,3	35,5	Т3
Древесно-стружечная плита (ГОСТ 10632-77)	108	49,0	Т2

Рассмотрение процессов разложения, воспламенения и горения древесины, а также количественных показателей пожарной опасности некоторых видов древесных материалов позволяют сделать вывод об их высокой пожароопасности.

Тема: ПЛАСТМАССЫ И ИХ ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ

Пластмассы - это композиционные материалы, в которых в качестве вяжущего вещества используют полимерные смолы.

Полимеры - высокомолекулярные химические соединения.

По происхождению сырья полимеры подразделяют на природные, искусственные (модифицированные) и синтетические. К природным полимерам относят битумы и пеки, натуральный каучук; к искусственным - продукты модификации целлюлозы, растительных масел, казеина; к синтетическим - получаемые (синтезируемые) искусственным путем (в природе эти вещества не встречаются).

Технические преимущества пластмасс

- снижение массы и трудоемкости изготовления строительных конструкций;
- повышение индустриализации строительного производства и рост производительности труда;
- сокращение сроков строительства;
- сокращение расхода черных и цветных металлов, цемента и древесины.

Положительные свойства пластмасс

- высокая удельная прочность;
- высокая технологичность;
- химическая стойкость;
- хорошие гидро-звуко и теплоизоляционные свойства;
- легкость обработки;
- хорошие декоративные качества;
- стойкость к низким температурам.

Отрицательные свойства пластмасс

- малый модуль упругости;
- большое температурное расширение;
- повышенная ползучесть;
- высокая склонность к старению;
- малая теплопроводность;
- высокая пожарная опасность.

Состав пластмасс

Наполнители (связующие) - Наполнитель служит для удешевления пластмасс, улучшения их физико-механических свойств.

Полимеры обладают малой плотностью. Как правило, полимеризационные полимеры обладают меньшей плотностью и прочностью, чем поликонденсационные, однако они более пластичны.

Полимеры обладают высокой механической прочностью; временное сопротивление растяжению - до 100 МПа, сжатию - до 600 МПа, изгибу - до 140 МПа. Теплостойкость полимеров составляет 40 -140°C. политетрафторэтилен и кремнийорганические полимеры, теплостойкость которых достигает соответственно 250 и 550°C.

Красители (пигменты) вводят в пластмассы для придания декоративных качеств.

Способы получения полимеров

Полимеризация - Процесс соединения мономеров между собой без образования побочных продуктов:

- полиэтилен;

- поливинилхлорид;
- полистирол.

Поликонденсация - Процесс химического взаимодействия двух и более веществ с образованием полимеров и одновременным выделением низкомолекулярного вещества (вода, аммиак и др.):

- фенолформальдегидные смолы;
- мочевиноформальдегидные смолы;
- эпоксидные смолы.

Свойства полимеров

Термопластичные (термопласты) к ним относятся в основном полимеризационные полимеры. Термопластичные полимеры способны обратимо размягчаться, плавиться и затвердевать при соответствующем изменении температуры.

Термореактивные (реактопласты) к ним относятся в основном поликонденсационные полимеры. Термореактивные полимеры образуются при повышенной температуре и сохраняют свою структуру и твердое состояние при последующем повторном нагревании вплоть до температуры разложения. Как правило, термореактивные полимеры имеют пространственную сетчатую структуру, обеспечивающую им необратимую термостойкость.

Применение пластмасс в строительстве

Конструкционные, конструктивно-отделочные, отделочные, кровельные, Остекление, покрытие полов, погонажные изделия, пленки теплоизоляционные, сантехнические изделия.

Способы переработки пластических масс

- литье под давлением (инжекция);
- непрерывное профильное выдавливание;
- формование под давлением в пресс формах;
- вальцевание и каландрирование.

Пожарная опасность пластмасс

- интенсивное снижение прочности при нагревании, низкая критическая температура ($t_{кр} = 40...60^{\circ}\text{C}$)
- высокая токсичность Т2-4
- высокая скорость распространения пламени зависит от вида материала, ориентации в пространстве (пол, стена, потолок), материала основания (подложки). Наиболее существенное влияние на способность распространения пламени по поверхности материалов оказывает величина теплового воздействия.
 - высокая химическая агрессивность продуктов разложения
 - растрескивание каплевыделение
 - интенсивное нарастание температуры при пожаре

Способы снижения пожарной опасности полимерных строительных материалов (ПСМ)

1. введением инертных наполнителей;
2. введением антипиренов;
3. нанесением огнезащитных покрытий.

Введение наполнителей - Наполнители используют для получения материалов с заданными свойствами и для снижения их стоимости. Минеральные

наполнители также снижают содержание горючих компонентов, влияют на процесс пиролиза полимеров и изменяют условия тепло- и массообмена при горении.

Введение антипиренов - Антипирены делят на два класса: механически совмещающиеся с полимерами и образующие с ними однородную смесь, и реакционноспособные соединения, включающиеся (в процессе синтеза или переработки полимерных материалов) в молекулярную структуру полимера.

К инертным антипиренам относятся следующие группы: неорганические вещества, низкомолекулярные галоидосодержащие органические соединения ациклического или ароматического строения, низкомолекулярные фосфорорганические соединения, высокомолекулярные галоид- и фосфоросодержащие соединения, органические азотосодержащие вещества.

К реакционноспособным антипиренам относятся низко- и высокомолекулярные соединения, которые содержат наряду с пламягасящими группами атомов различные функциональные группы, способные к реакциям полимеризации, поликонденсации и полиприсоединения (ненасыщенные двойные связи, гидроксильные, карбоксильные, изоцианатные группы).

Огнезащитные покрытия - наносимые на полимерные материалы, имеют в настоящее время ограниченное применение.

Принципиально новым направлением создания полимерных материалов пониженной горючести является синтез полимеров с минимальным содержанием органической части, а также термостойких полимеров, выделяющих при разложении негорючие и нетоксичные летучие продукты.

Номенклатура необходимых показателей пожарной опасности строительных материалов (табл.5.1., НПБ 244–97 «Материалы строительные.

Декоративно-отделочные и облицовочные. Материалы для покрытия полов.

Кровельные, гидроизоляционные и теплоизоляционные материалы. Показатели пожарной опасности»)

табл.5.1

Строительный материал	Показатель пожарной опасности				
	Группа горючести	Группа распространения пламени	Группа воспламеняемости	Коэффициент дымообразования	Показатель токсичности продуктов горения
Отделочные и облицовочные материалы	+	-	+	+	+
Материалы для покрытия полов	+	+	+	+	+
Ковровые покрытия полов	-	+	+	+	+
Кровельные материалы	+	+	+	-	-
Гидроизоляционные и пароизоляционные материалы толщиной более 0,2 см*	+	-	+	-	-
Теплоизоляционные материалы	+	-	+	+	-

* При применении гидроизоляционных материалов для поверхностных слоев кровель показатели их пожарной опасности следует определять по графе «кровельные материалы».

**Тема: ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМИРОВАНИЯ
ПОЖАРОБЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Главный принцип противопожарного нормирования призывает обеспечить безопасность людей в случае возникновения пожара и свести к минимуму материальный ущерб.

Нормирование строительных материалов по СНиП 21-02-85*

(основано на горючести материалов)

условие безопасности

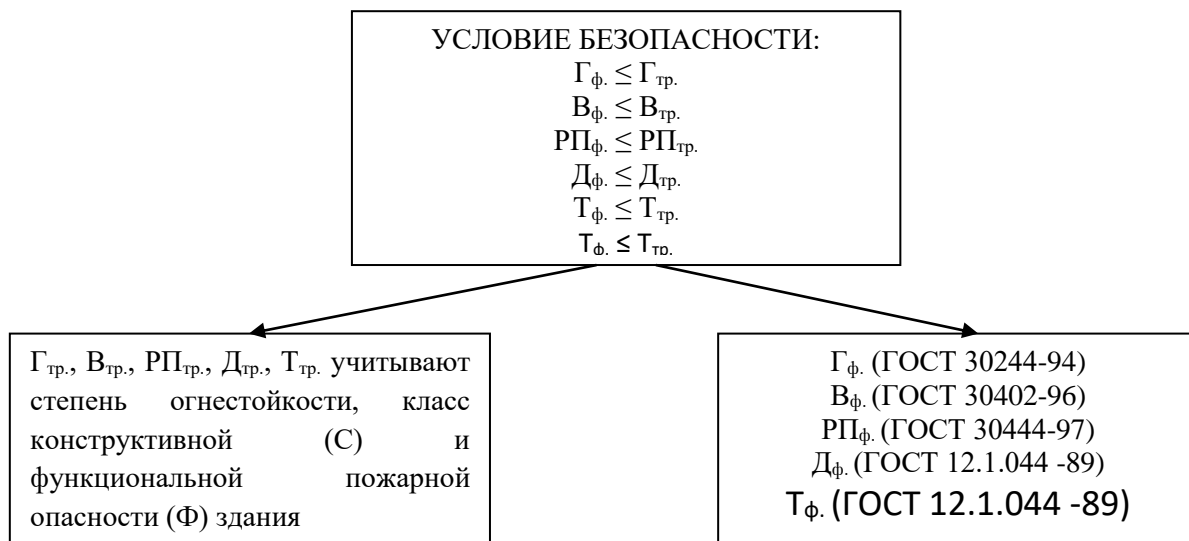
горючесть факт. ($\Gamma_{\text{ф}}$) \leq горючести треб. ($\Gamma_{\text{тр}}$)



Нормирование строительных материалов по СНиП 21-01-97*

Учитывает:

Горючесть; воспламеняемость; распространение пламени по поверхности; дымообразующую способность; токсичность.



Г – горючесть; В – воспламеняемость; РП – распространение пламени;
Д – дымообразующая способность; Т – токсичность.

Перспективы противопожарного нормирования

1. Основной целью противопожарного нормирования и, следовательно, основополагающим принципом является обеспечение безопасности людей при пожаре
2. Нормирование предполагает достижение следующих целей:
 - добиться при соблюдении требуемого уровня пожарной безопасности максимальной экономии в строительстве;
 - обеспечить процесс проектирования, при котором проектировщику предоставляется возможность широкого выбора альтернативных решений;
 - получить возможность проводить количественный анализ пожарной безопасности объектов.

Т.е. Обезопасить конструкции и конструктивную схему здания в целом в случае пожара.

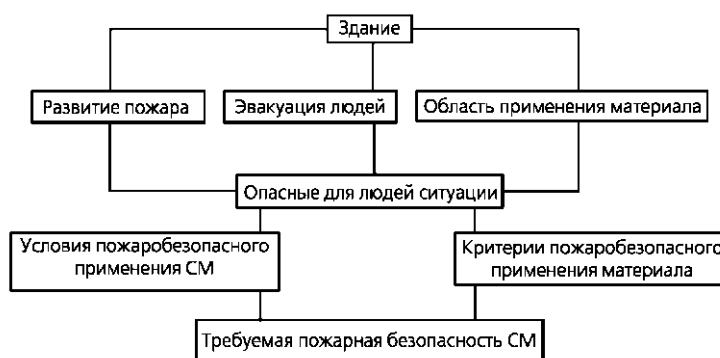


Рис. 6.1 Структурная схема определения требуемой пожарной безопасности строительных материалов (СМ)

В соответствии со стандартом система противопожарной защиты должна обладать таким уровнем, при котором в здании обеспечивается требуемая безопасность людей при пожаре, т.е. выполняется условие

$$, (6.1)$$

где P_n , P_f - соответственно нормативная и фактическая (расчетная) вероятности воздействия ОФП в год на одного человека.

Обеспечение пожарной безопасности здания основано на рассмотрении системы «здание-пожар-человек», критерием эффективности которой является уровень безопасности людей в здании при пожаре.

Критериями пожаробезопасного применения материалов в здании могут являться следующие:

применение строительных материалов (СМ) не должно приводить к блокированию эвакуации людей из здания при пожаре;

(ПСМ - полимерный стройматериал) не должен приводить к распространению огня по зданию, что может стать причиной гибели людей, своевременно не эвакуировавшихся при пожаре.

В соответствии с этими критериями условия безопасности применения (ПСМ) имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \tau_{бл}^{отд} &\geq K_б \tau_{эв}, \\ \tau_{вп}^{отд} &\geq K_б \tau_{мн} \end{aligned} \quad (6.2)$$

где $T_{бл}$, $T_{рп}$ - соответственно, время от начала развития пожара до блокирования эвакуации и распространения огня по отделке в здании, мин; $T_{эв}$, $T_{мн}$ - соответственно, время от начала развития пожара до завершения эвакуации и спасения людей пожарными подразделениями, мин; $K_б$ - коэффициент безопасности.

При пожаре в здании, независимо от места его возникновения, эвакуация людей по отношению к месту (ПСМ) может проходить по следующим трем вариантам:

- 1) эвакуация проходит через помещения, где применен (ПСМ);
- 2) эвакуация проходит через помещения, конструктивно связанные с первыми;
- 3) эвакуация людей проходит по наружным пожарным лестницам или их спасение осуществляется пожарными подразделениями.

В связи с этим предельно допустимая пожарная опасность отделочного материала (ПСМ) должна устанавливаться с учетом всех возможных для людей ситуаций (табл. 6.1).

табл. 6.1

Место применения ПСМ в здании	Факторы образования опасных ситуаций				
	Блокирование эвакуации людей из				Распространение пламени
	помещения очага пожара	других помещений этажа пожара	помещений других этажей	помещений смежных секций здания	
Помещение	воспламенение	образование ОФП в объеме коридора	образование ОФП в объеме коридора	образование ОФП в системе вестибюля	в смежное помещение
Коридор	Воспламенение СМ				по этажу
Лестничная клетка	Воспламенение СМ				по этажам секции
Вестибюль	Воспламенение СМ				по зданию

Общая структурно-логическая модель нормирования предельно допустимой пожароопасности применения отделок для коридоров зданий гостиниц представлена на рис. 6.2

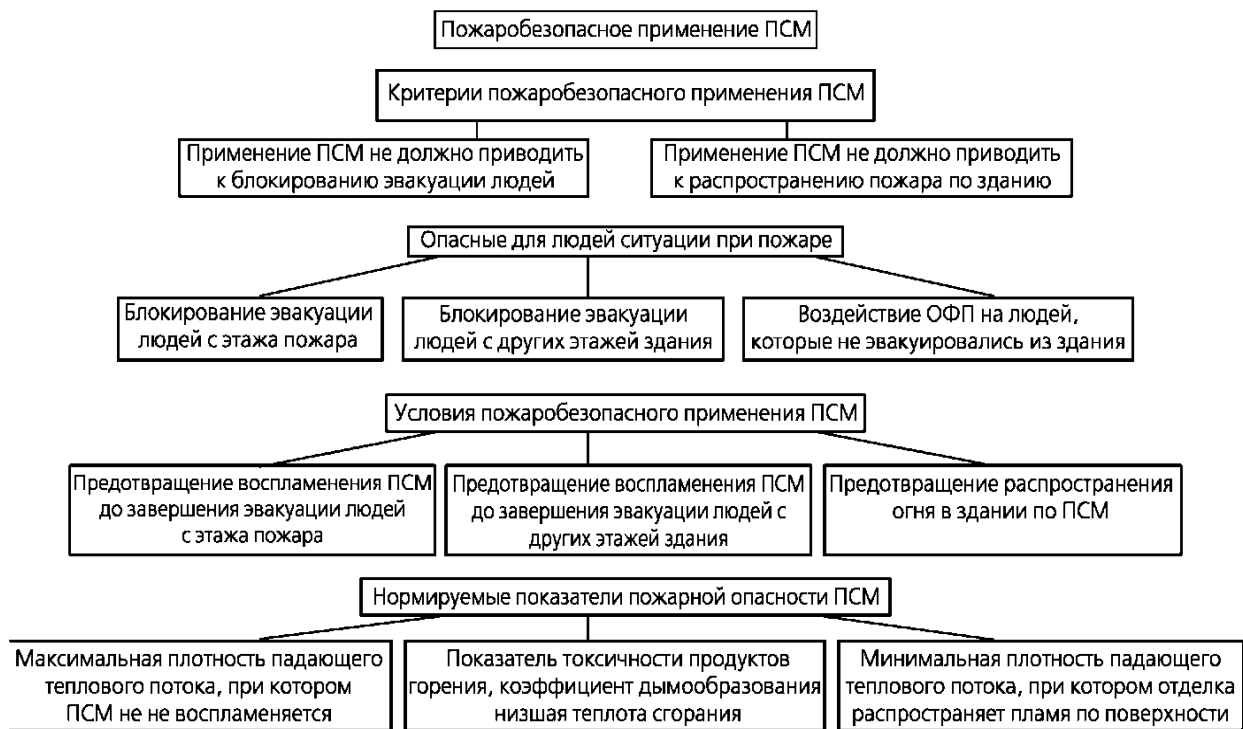
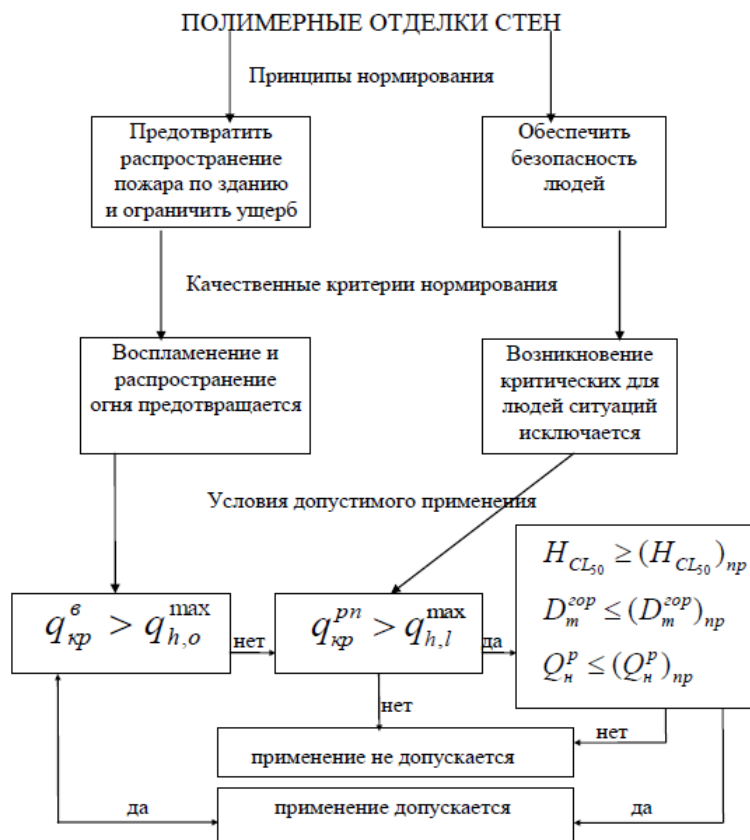


Рис. 6.2 Общая структурно-логическая модель нормирования предельно допустимой пожароопасности



$q_{кр}^6$ - критическая плотность теплового потока, при которой происходит воспламенение ПОС;

$q_{кр}^{pn}$ - критическая плотность теплового потока, накладывающая ограничения на распространение пламени;

$q_{h,o}^{\max}$ - максимальное значение теплового потока по относительной высоте наиболее пожароопасного участка стены коридора (нулевого участка);

$q_{h,l}^{\max}$ - максимальное значение теплового потока при пожаре по высоте и длине коридора;

$H_{CL_{50}}$ - показатель токсичности;

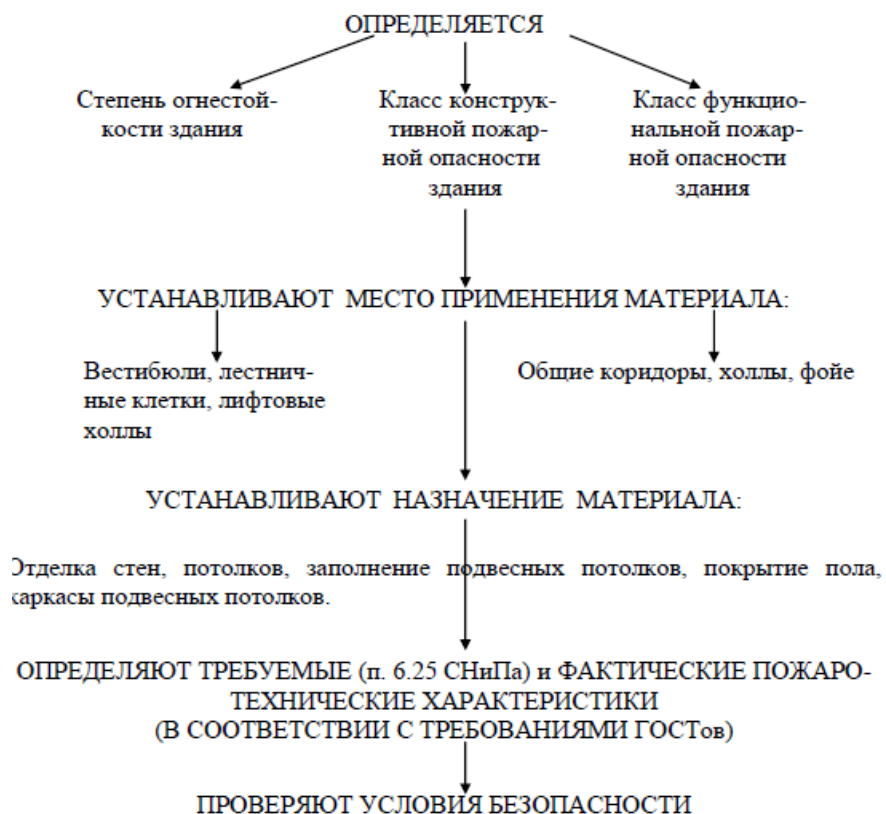
D_m^{zop} - коэффициент дымообразования;

Q_n^p - низшая теплота сгорания.

Этапы нормирования ПСМ

1. Определяется максимальный температурный режим (устанавливают расчетным путем или при проведении экспериментальных исследований).
2. Рассматривается процесс эвакуации (в наиболее неблагоприятных ситуациях).
3. Устанавливаются требования пожарной безопасности к ПСМ (воспламеняемость, дымообразующая способность, токсичность, распределение по поверхности).

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ ПО СНиП 21-01-97*



Тема: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Объемно-планировочным решением здания называется объединение помещений избранных размеров и формы в единую композицию

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ

по назначению

Гражданские

Промышленные

Сельскохозяйственные



Жилые Общественные

по этажности

Малоэтажные
до 5 этажей

Средней этажности
(5...12 этажей)

Высотные
более 12 этажей

по конструкции стен

Мелкоэлементные (из кирпича, керамического камня мелких блоков и др.)

Крупноэлементные (из крупных блоков, панелей, объемных блоков).

по способу возведения

Полносборные

Неиндустриальные

по степени долговечности

Первая (Более 100 лет), Вторая 50...100 лет, Третья 20...50 лет, Четвертая до 20 лет

по пожарной безопасности

по степеням
огнестойкости

по функциональной
пожарной опасности

по конструктивной
пожарной опасности

по классам зданий

1 класс – крупные общественные и промышленные здания

2 класс – небольшие промышленные и общественные здания, жилые дома до 9 этажей

3 класс – жилые дома до 5 этажей

4 класс – временные здания

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗДАНИЯМ

1. Функциональные.
2. Технические.
3. Противопожарные.
4. Эстетические.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ

зависят:

1. **От строительной системы здания.** Материал вертикальных несущих конструкций и технология возведения.
2. **От конструктивной системы здания.** (В процессе строительства и эксплуатации здание испытывает на себе действие многочисленных нагрузок, отличающихся по величине, направлению, характеру действия и месту приложения. Конструкции, участвующие в восприятии нагрузок, называют несущими. К вертикальным несущим конструкциям относятся фундаменты, стены, отдельные опоры, а к горизонтальным — перекрытия и покрытие. Размещаясь в объеме здания в определенном сочетании, несущие конструкции образуют пространственную систему, способную воспринимать

все действующие на здание силовые нагрузки и воздействия и обеспечивать его прочность, жесткость и устойчивость)

3. **От конструктивной схемы здания.** (В пределах одной конструктивной системы пространственное положение вертикальных несущих конструкций может меняться. Вариант конструктивной системы по признаку размещения в пространстве (продольного, поперечного, перекрестного) вертикальных несущих конструкций называется конструктивной схемой здания).

Строительная система здания определяется:

1. Материалом вертикальных несущих конструкций:
 - дерево;
 - камень;
 - бетон.
2. Технологией возведения:
 - монолитный бетон;
 - сборно-монолитный бетон;
 - полносборный бетон.

Конструктивные системы зданий:

1. Каркасная. *Каркасная конструктивная система является основной в проектировании производственных и сельскохозяйственных зданий, а также общественных и жилых зданий повышенной этажности*
2. Бескаркасная (стеневая). *(Конструктивная схема является основной в проектировании зданий мелкоячеистой объемно-планировочной структуры: квартирных жилых домов, общежитий, гостиниц, спальных корпусов домов отдыха, больниц.)*
3. Объемно-блочная. *(Объемно-блочная конструктивная система применялась, в основном, при проектировании жилых зданий. В этой системе вертикальными несущими элементами служат объемные блоки, включающие в себя комнату или даже квартиру.)*
4. Ствольная. *(Ствольная конструктивная система — нетрадиционная система, используемая при проектировании высотных жилых и общественных зданий башенного типа. Вертикальным несущим элементом, воспринимающим все вертикальные и горизонтальные нагрузки, является жесткий сердечник — ствол центрального лестнично-лифтового узла)*
5. Оболочковая. *(Оболочковая конструктивная система или система с несущими наружными объемно-пространственными жесткостными конструкциями используется редко — в зданиях высотой до 100 и более этажей)*
6. Комбинированная. *(Комбинированные конструктивные системы, в которых вертикальные несущие конструкции komponуются из разнотипных элементов — стержневых и плоскостных, стержневых и ствольных и т.д.)*

Конструктивные схемы **для бескаркасных систем зданий:**

1. С перекрестным расположением внутренних стен.
2. С продольными наружными стенами.
3. С чередующим размером шага поперечных стен.
4. С редко расположенными поперечными несущими стенами и отдельными продольными стенами жесткости.

**Конструктивные схемы
для каркасных систем зданий:**

1. С продольным расположением рам.
2. С поперечным расположением рам.
3. Безригельная (безбалочная).- Применяется в многоэтажных производственных зданиях в тех случаях, когда по санитарно-гигиеническим требованиям в помещениях необходимо наличие гладкого потолка (холодильники, мясокомбинаты и т.д.)

ПОЗИЦИОННЫЕ СХЕМЫ ЗДАНИЙ (Рис7.1)

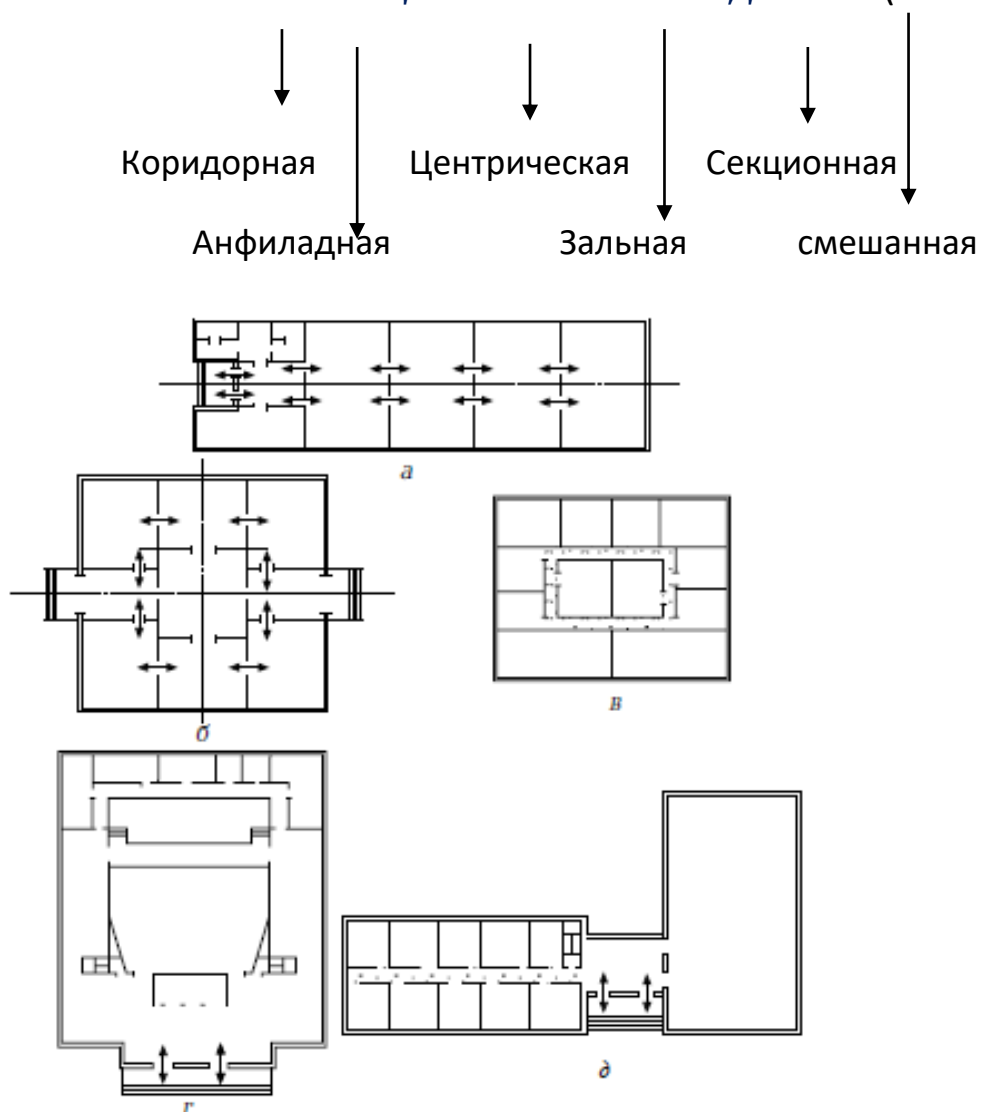


Рис. 7.1 Планировочные схемы зданий

а-анфиладная (прямоугольная); б- анфиладная(центрическая); в-коридорная; г- зальная, д- смешанная

Тема: ИСХОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

ЗДАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

По старой пожарнотехнической терминологии (согласно СНиП 2.01.02-85*) нормативной характеристикой здания или сооружения являлась степень огнестойкости. Согласно новой пожарнотехнической классификации (СНиП 21-01-97*) здания регламентируются по степеням огнестойкости, классам конструктивной пожарной опасности и классам функциональной пожарной опасности.

Методика определения соответствия строительных конструкций требованиям пожарной безопасности зданий (по СНиП 2.01.02-85* «Противопожарные нормы»)

1. Устанавливают требуемую степень огнестойкости здания по СНиП 2.09.02.-85* «Производственные здания», СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения», СНиП 2.08.01-89* «Жилые здания» и др. (учитывают назначение, площадь, этажность, категории по взрывопожарной опасности и т.д.).
2. По СНиП 2.01.02-85* определяют $P_{тр}$ и $L_{доп}$.
3. По пособию к СНиП II-2-80 и других документов определяют $P_{ф}$ и $L_{ф}$.
4. Далее сравнивают $P_{тр}$ с $P_{ф}$, а $L_{доп}$ с $L_{ф}$ и делают вывод о соответствии.

Методика определения соответствия строительных конструкций требованиям пожарной безопасности зданий (по СНиП 21-01-97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений»)

1. Устанавливают требуемые степень огнестойкости здания и класс конструктивной пожарной опасности по вновь вводимым строительным нормам.
2. По СНиП 21-01-97* определяют $P_{тр}$ и $K_{тр}$ (класс пожарной опасности конструкции).
3. По вновь вводимым пособиям, расчетом или экспериментом определяют $P_{ф}$.
По вновь вводимым пособиям, экспериментом определяют $K_{ф}$ (ГОСТ 30403-96).
4. Далее сравнивают $P_{тр}$ с $P_{ф}$, а $K_{тр}$ с $K_{ф}$ и делают вывод о соответствии.

Разделение зданий по степеням огнестойкости (по СНиП 21-01-97*)

Степень огнестойкости	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее						
	Несущие элементы зданий	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						

Стандартный температурный режим
(по ГОСТ 30247.0 – 94)

$$T - T_0 = 345Lg(8t + 1), ^\circ\text{C}$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °C;

T_0 – температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °C;

t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

t , мин	$T - T_0$, °C
5	556
10	659
15	718
30	821
45	875
60	925
90	986
120	1029
150	1060
180	1090
240	1133
360	1193

Предел огнестойкости строительных конструкций

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

потери несущей способности (R);

потери целостности (E);

потери теплоизолирующей способности (I).

Виды предельных состояний строительных конструкций по огнестойкости (по ГОСТ 30247.0-94)

1. Потеря несущей способности вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (R).
2. Потеря целостности в результате образования в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на не обгоревшую поверхность проникают продукты горения или тления (E).
3. Потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на не обогреваемой поверхности конструкции до предельных для данной конструкции значений (I).

примеры:

R 120 - предел огнестойкости 120 мин. - по потере несущей способности.

RE 60 - предел огнестойкости 60 мин. - по потере несущей способности, целостности независимо от того, какое из двух предельных состояний наступит раньше.

R 120 / EI 60

Класс конструктивной пожарной опасности здания (сооружения) определяется степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образовании его опасных факторов. Классификация зданий по конструктивной пожарной опасности в соответствии СНиП 21-01-97*

**Разделение зданий по классам конструктивной пожарной опасности
(по СНиП 21-01-97*)**

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций не ниже				
	Несущие стержневые элементы (колонны, ригели, фермы и др.)	Стены наружные с внешней стороны	Стены, перегородки, перекрытия и бесчердачные покрытия	Стены лестничных клеток и противопожарные преграды	Марши и площадки лестниц
C0	K0	K0	K0	K0	K0
C1	K1	K2	K1	K0	K0
C2	K3	K3	K2	K1	K1
C3	НЕ НОРМИРУЕТСЯ			K1	K3

Условие безопасности по классам конструктивной пожарной опасности зданий (сооружений) имеет вид:

$$K_{\phi} \geq K_{тр}$$

где K_{ϕ} - фактический класс конструктивной пожарной опасности здания;
 $K_{тр}$ - требуемый класс конструктивной пожарной опасности здания.

**Классы пожарной опасности конструкций
(по ГОСТ 30403-96)**

Класс пожарной опасности конструкций	Допускаемый размер повреждения конструкций, см		Наличие		Допускаемые характеристики пожарной опасности поврежденного материала		
	вертикальных	горизонтальных	теплого эффекта	горения	Группа		
					горючести	воспламеняемости	дымообразующей способности
K0	0	0	н.д.	н.д.			
K1	До 40 ≤ 40	До 25 ≤ 25	н.д. н.р.	н.д. н.д.	н.р Г2	н.р. В2	н.р. Д2
K2	более 40, но до 80 То же	более 25, но до 50 То же	н.д. н.р.	н.д. н.д.	н.р Г3	н.р. В3	н.р. Д2
K3	Не регламентируется						

н.д. – не допускается

н.р. – не регламентируется

По старой классификации строительные конструкции характеризовались огнестойкостью. Под огнестойкостью строительных элементов и конструкций понимается их способность в условиях пожара сохранять несущие и ограждающие функции, а также сопротивляться распространению огня. Показателями огнестойкости строительных конструкций являются пределы огнестойкости конструкций и пределы распространения огня по ним.

По новой классификации строительные конструкции характеризуются огнестойкостью и пожарной опасностью. Показателем огнестойкости являются пределы огнестойкости строительных конструкций, а пожарную опасность конструкций оценивает класс их пожарной опасности.

**Разделение зданий по функциональной пожарной опасности
(по СНиП 21-01-97*)**

Класс функциональной пожарной опасности здания	СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗДАНИЯ
Ф1	Для постоянного проживания и временного пребывания людей
Ф2	Зрелищные и культурно-просветительные учреждения (театры, музеи)
Ф3	Предприятия по обслуживанию населения (вокзалы, поликлиники, предприятия торговли)
Ф4	Учебные заведения, научные и проектные организации, учреждения управления
Ф5	Производственные и складские здания, сооружения и помещения

КЛАСС Ф1:

- Ф1.1 - Детские дошкольные учреждения, дома престарелых и инвалидов, больницы;
- Ф1.2 – Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа;
- Ф1.3. – Многоквартирные жилые дома;
- Ф1.4. – Одноквартирные, в том числе блокированные жилые дома.

КЛАСС Ф2:

- Ф2.1 – Театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и др. учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;
- Ф2.2 – Музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;
- Ф2.3 – Учреждения, указанные в Ф2.1, на открытом воздухе;
- Ф2.4 – Учреждения, указанные в Ф2.2, на открытом воздухе.

КЛАСС Ф3:

- Ф3.1 – Предприятия торговли;
- Ф3.2 – Предприятия общественного питания;
- Ф3.3 – Вокзалы;
- Ф3.4 – Поликлиники и амбулатории;
- Ф3.5 – Помещения для посетителей предприятий бытового и коммунального обслуживания (почт, сберкасс, транспортных агентств, юридических консультаций, прачечных, парикмахерских и других подобных, в том числе ритуальных и культовых учреждений) с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей;
- Ф3.6 – Физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани.

КЛАСС Ф4:

- Ф4.1 – Школы, внешкольные учебные заведения, средние специальные учебные заведения, ПТУ;
- Ф4.2 – ВУЗы, учреждения повышения квалификации;
- Ф4.3 – Учреждения органов управления, проектно-конструкторские организации, информационно и редакционно-издательские организации, научно-исследовательские организации, банки, конторы, офисы;
- Ф4.4 – Пожарные депо.

КЛАСС Ф5:

- Ф5.1 – Производственные здания и сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские;
- Ф5.2 – Складские здания и сооружения, стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта, книгохранилища;
- Ф5.3 – Сельскохозяйственные здания.

**Методика экспертизы строительных конструкций
по новой пожарно- технической классификации согласно СНиП 21-01-97***

1. Определяют требуемую степень огнестойкости здания и требуемый класс конструктивной пожарной опасности здания .
2. Находят требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций и допускаемые классы пожарной опасности строительных конструкций.
3. Оценивают опасность строительных материалов, используемых в конструкциях (горючесть Г, воспламеняемость В, распространение пламени РП, дымообразующую способность Д, токсичность Т)
4. Определяют фактические пределы огнестойкости конструкций и фактические классы пожарной опасности конструкций.
5. Фактические пределы огнестойкости строительных конструкций сравнивают с требуемыми пределами огнестойкости, а фактические классы пожарной опасности строительных конструкций с допускаемыми классами пожарной опасности конструкций.

Методы испытания строительных конструкций на огнестойкость и пожарную опасность

ГОСТ 30247.0 – 94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования.

ГОСТ 30247.1 – 94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.

ГОСТ 30247.2 – 94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Двери и ворота.

ГОСТ 30403 – 96. Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности.

Тема: Несущие и ограждающие конструкции зданий и сооружений.

Возведенные здания должны быть прочными, экономичными, огнестойкими. Эти свойства зависят от конструкций, разработку которых начинают с решения принципиального вопроса конструирования — выбора конструктивной системы здания. Что же такое конструктивная система здания?

Понятие конструктивная система является обобщенной конструктивно-статической характеристикой здания, не зависящей от материалов, из которых оно возводится, и способа возведения.

Восприятие и передача нагрузок осуществляется конструкциями по следующей схеме.

Вертикальные несущие конструкции воспринимают действующие на здание вертикальные нагрузки (от собственной массы, оборудования, снега и др.) и передают их основанию.

Горизонтальные несущие конструкции воспринимают горизонтальные (ветровая, сейсмическая и др.) нагрузки и поэтажно вместе с собственной массой передают их вертикальным несущим конструкциям. Существует несколько способов передачи горизонтальных нагрузок. Горизонтальные нагрузки могут быть равномерно распределены между вертикальными несущими конструкциями, либо передаваться на специальные вертикальные элементы жесткости (диафрагмы, связи, стволы жесткости). Возможно и промежуточное решение с распределением горизонтальных нагрузок в раз-

личных пропорциях между вертикальными несущими конструкциями и элементами жесткости.

Горизонтальные несущие конструкции зданий массового строительства, как правило, однотипны и обычно представляют собой железобетонные диски. В отличие от горизонтальных, вертикальные несущие конструкции разнообразны. К ним относятся плоскостные элементы (стены, диафрагмы жесткости), стержневые элементы сплошного сечения (стойки каркаса), объемно-пространственные элементы высотой в этаж (объемные блоки), внутренние объемно-пространственные полые стержни на высоту здания в виде стволов (ядер) жесткости, внешние объемно-пространственные несущие конструкции на высоту здания в виде тонкостенной оболочки замкнутого сечения.

Тип вертикальной несущей конструкции определяет тип конструктивной системы здания. Различают основные, комбинированные и смешанные конструктивные системы. Основных систем пять: бескаркасная (стендовая), каркасная, объемно-блочная, ствольная и оболочковая.

В пределах одной конструктивной системы пространственное положение вертикальных несущих конструкций может меняться. Вариант конструктивной системы по признаку размещения в пространстве (продольно-го, поперечного, перекрестного) вертикальных несущих конструкций называется конструктивной схемой здания.

Несущие каркасы

Конструкции каркасов изготавливают из железобетона, металла, дерева.

Железобетонные каркасы

В современном строительстве железобетонные каркасы выполняют в основном сборными из унифицированных типовых конструкций заводского изготовления. Основными типами многоэтажных железобетонных каркасов являются стоечно-балочный, безбалочный и с межферменными этажами.

Наибольшее распространение получил стоечно-балочный каркас в рамно-связевом варианте. Основу стоечно-балочного каркаса составляют многоэтажные рамы, образованные колоннами и ригелями.

Колонны имеют высоту в один или два-три этажа и размеры поперечного сечения 300х300, 400х400 и 400х600 мм.стыки колонн обычно устраивают на 0,6-1 м выше отметки перекрытия.

Ригели (балки) применяют двух типов: с полками для опирания плит перекрытий и прямоугольного сечения. Оба типа ригеля имеют высоту 800 мм. Укладка плит поверху ригелей увеличивает строительную высоту перекрытия, поэтому использование ригелей прямоугольного сечения должно быть обосновано.

Металлические каркасы

Металлические каркасы используют, главным образом, в одноэтажных промышленных зданиях с пролетами 30 м и более, высотой колонн более 18 м, при наличии мостовых кранов грузоподъемностью более 30 т. Металлический каркас целесообразен в зданиях, возводимых в сейсмических и труднодоступных районах, не имеющих предприятий по изготовлению сборных железобетонных конструкций; в тех случаях, когда железобетонный каркас неприменим из-за агрессии внутренней среды; при наличии не-унифицированных геометрических параметров здания или больших нагрузок на перекрытия.

Деревянные каркасы

Эти каркасы применяют в большепролетных общественных зданиях (спортивные залы, выставочные павильоны) и в одноэтажных производственных зданиях промышленных и сельскохозяйственных предприятий: одно- и многопролетных; бескрановых и с подвесными кран-балками грузоподъемностью до 3,0 т; с нормальным температурным режимом, а также с агрессивной средой.

Наружные и внутренние стены

Стены — протяженные по длине вертикальные плоские конструкции. По характеру работы под нагрузкой они могут быть несущими, самонесущими и ненесущими (навесными). По материалу и способу возведения различают стены построечного типа — каменные, деревянные и стены заводского изготовления — из блоков или панелей.

Среди каменных стен наиболее распространены стены из кирпича ($\rho = 1400\text{--}1900 \text{ кг/м}^3$), выполненные в виде сплошной кладки толщиной до 510 мм и более и облегченные, например, из двух кирпичных стенок толщиной 250 мм каждая и утеплителя из керамзита или легкого бетона. Сплошные (однослойные) конструкции применяют во внутренних стенах и нижних рядах наружных стен зданий повышенной этажности. Область применения облегченных (слоистых) конструкций ограничивается наружными стенами зданий высотой 3-5 этажей.

Крупноблочные стены гражданских и производственных зданий относят к однослойным бетонным конструкциям. Масса и размеры блоков зависят от местоположения блоков в стене и принятой схемы разрезки стены на элементы (двух- или трехрядной). Наиболее распространены блоки массой от 0,3 до 3 т из легкого бетона ($\rho = 1200\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$) для наружных стен и из тяжелого бетона ($\rho = 1900\text{--}2100 \text{ кг/м}^3$) — для внутренних стен. Толщина блочных стен 300, 400, 500 и 600 мм.

Крупнопанельные бетонные стены являются основным типом стен в современных жилых зданиях. Стеновые панели могут изготавливаться однослойными, то есть целиком из бетона (рис. 2.34, а-1,2). Для панелей наружных стен используют легкий бетон, а для панелей внутренних стен — тяжелый бетон. Применяют также многослойные (двух и трехслойные) конструкции, включающие утеплитель из минеральной ваты, пеностекла, фибролита, поли-стирольного и фенольного пенопластов

Перекрытия и крыши

Перекрытия — горизонтальные комплексные конструкции, разделяющие здание на этажи. В состав междуэтажных перекрытий входят несущие элементы, пол, потолок. В состав чердачных, подвальных и других типов перекрытий дополнительно включают различные прослойки.

По конструктивной схеме различают балочные и безбалочные перекрытия.

Крыши — наружные венчающие здание несущие и ограждающие конструкции, в состав которых входят несущие элементы, паро- и теплоизоляционные слои, кровля (гидроизоляция). По структуре крыши разделяют на чердачные и бесчердачные (совмещенные). Чердачные крыши устраивают в основном в жилых домах и некоторых типах сельскохозяйственных зданий. Чердак, используемый для размещения инженерных коммуникаций или бытовых нужд, отделяет чердачное перекрытие от собственно крыши, в состав которой входят кровля (гидроизоляция) и несущие элементы, поддерживающие кровлю в заданном положении.

Лестницы и лестничные клетки

Лестницы - вертикальные коммуникации. Они используются в зданиях высотой в два и более этажей и предназначаются для связи между этажами, эвакуации людей и организации доступа пожарных к очагу пожара. По функциям, выполняемым во время пожара, различают лестницы, предназначенные для эвакуации людей, и пожарные лестницы.

Лестницы, предназначенные для эвакуации людей, в зависимости от их местоположения и наличия лестничной клетки могут быть трех типов.

Первый тип лестниц - внутренние, размещаемые в лестничных клетках, наиболее распространен и используется в зданиях различного назначения.

Второй тип лестниц - внутренние открытые (без ограждающих стен) применяется в основном в таких общественных зданиях, как театры, кинотеатры, музеи, библиотеки, крупные торговые центры и т.д. Использование внутри здания открытых лестниц требует разработки решений, исключающих задымление помещения через проемы в перекрытиях.

Третий тип лестниц - наружные открытые, применяется в отдельных случаях, установленных СНиП. Так, наружными открытыми лестницами могут быть соединены этажи или отдельные объемы (корпусы) зданий, возводимых в жарком климате. Эти

лестницы используют также в качестве второго эвакуационного выхода в жилых секционных зданиях с одной лестничной клеткой на этаже.

Тема: ПОВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ СТЕПЕНИ ОГНЕСТОЙКОСТИ И КОНСТРУКТИВНОЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.

***Устойчивость при пожаре зданий и сооружений
с учетом условий и сроков их эксплуатации***

Устойчивость здания – способность его конструктивной системы сопротивляться действующим расчетным эксплуатационным нагрузкам и воздействиям в течении срока эксплуатации.

Устойчивость здания при пожаре характеризуется его степенью огнестойкости и зависит от пожарной опасности, огнестойкости конструкций, пожарной нагрузки сосредоточенной в здании, вентиляционных характеристик помещений, условий и сроков эксплуатации его конструктивной системы.



ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Снижение несущей способности конструкций в процессе эксплуатации

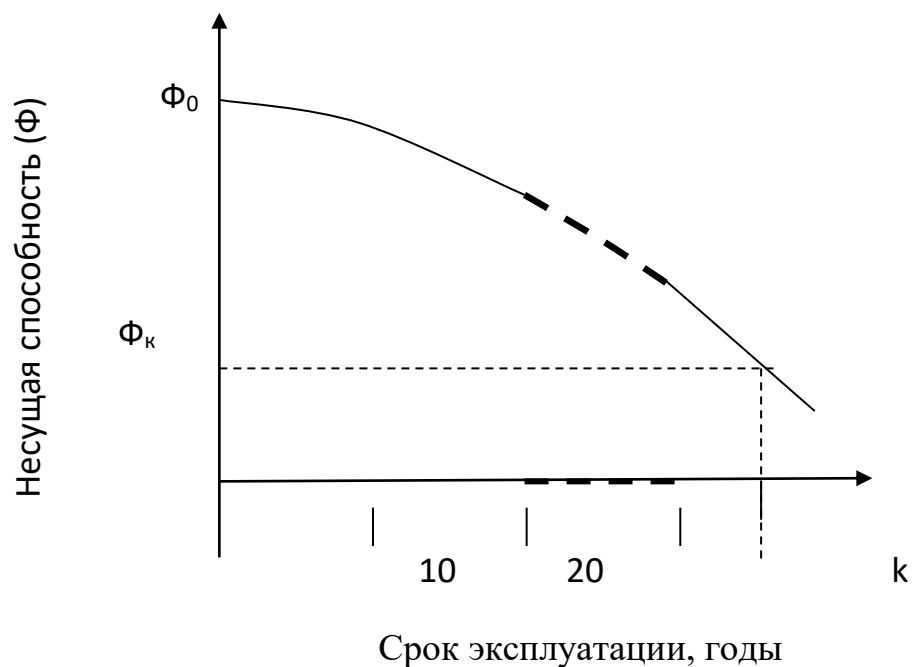


Рис.10.1

Влияние срока эксплуатации
на огнестойкость строительных конструкций

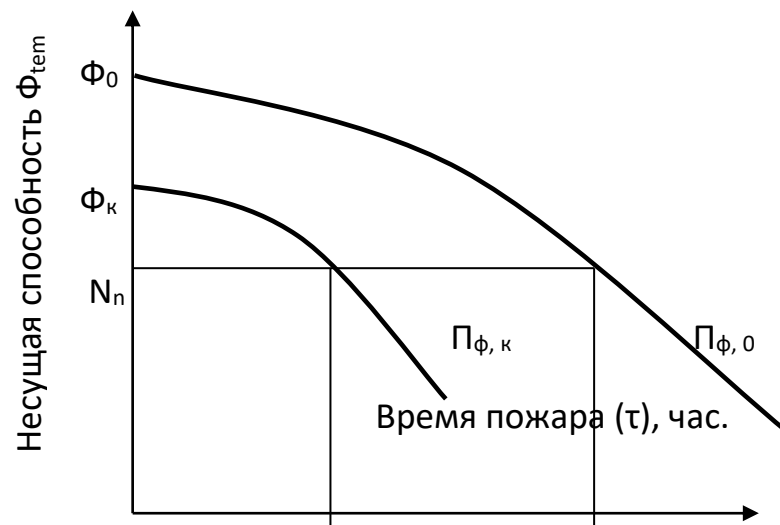
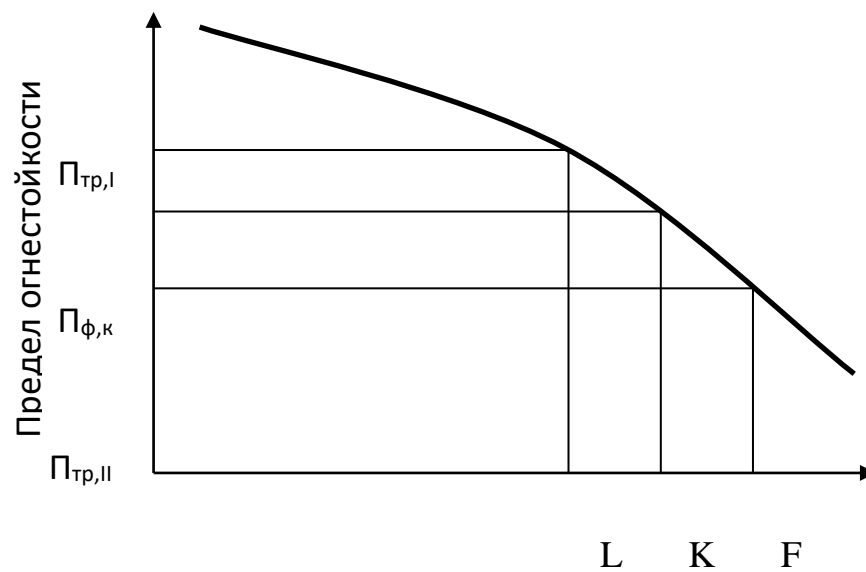


Рис.10.2

$\Pi_{\phi, k}$ - предел огнестойкости конструкции через k лет эксплуатации.

$\Pi_{\phi, 0}$ – предел огнестойкости конструкции до эксплуатации.

Снижение предела огнестойкости конструкций
в течении срока эксплуатации



Срок эксплуатации, годы

Рис.10.3

Π_{tr} – требуемый предел огнестойкости.

L – срок снижения устойчивости здания, до наступления несоответствия условия безопасности $\Pi_{\phi} \geq \Pi_{tr}$.

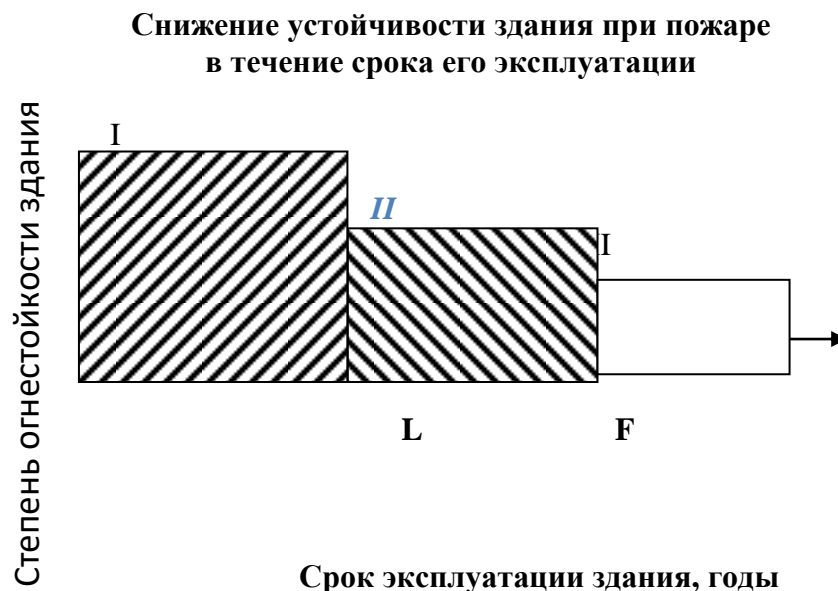


Рис.10.4

*ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
С УЧЕТОМ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ
В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ*

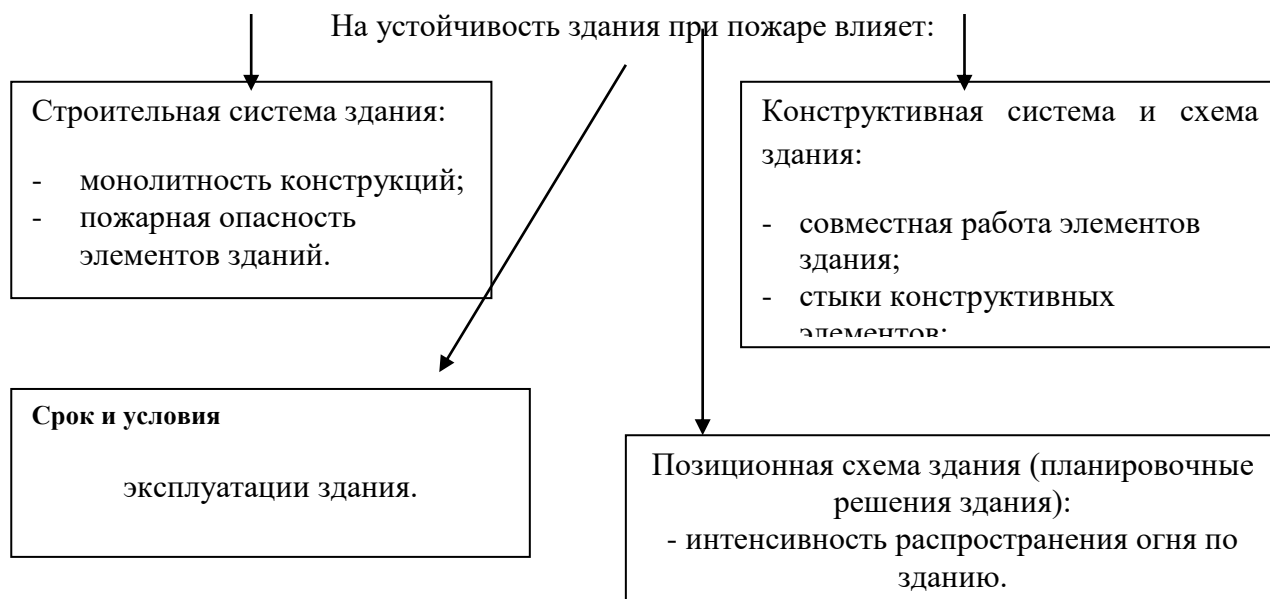
1. Проводим исследование параметров сечения конструкции:
 - устанавливаем геометрические параметры сечения;
 - определяем расположение арматурных стержней по сечению конструкции, их диаметры, величину защитного слоя;
 - задаемся температурными и временными параметрами пожара.
2. Задаемся физико-механическими и теплофизическими параметрами бетона и арматуры.
3. Задаемся коэффициентами, учитывающими воздействие агрессивной среды на конструкцию.
4. Теплотехническим расчетом определяем температуру, а затем прочность арматуры и бетона.
5. Статическим расчетом определяем несущую способность конструкции в различное время воздействия пожара и сроки ее эксплуатации.
6. По кинетике снижения несущей способности и нормативной нагрузке определяем предел огнестойкости.

*ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ
С УЧЕТОМ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ*

1. Установить срок эксплуатации конструкций здания.
2. Определить наличие агрессивной среды.
3. Определить степень агрессивного воздействия на строительные конструкции.
4. Определить интенсивность воздействия.
5. Определить глубину проникновения агрессивной среды в конструкцию.
6. Установить срок воздействия агрессивной среды.
7. Определить техническое состояние (степень повреждения) железобетонных конструкций.
8. $P_f = P_{f,0} \cdot k_1 \cdot k_2$

k_1 – коэффициент, учитывающий срок эксплуатации, степень повреждения конструкции и агрессивное воздействие (приложение 1 [45]);

k_2 – коэффициент, учитывающий степень агрессивного воздействия (приложение 2 [45]).



ПРИМЕР:

Был проведен экспериментальный пожар в 4-х этажном жилом доме г. Лерте (Германия). Эксперимент показал, что все монолитные железобетонные перекрытия, опирающиеся на кирпичные стены, имели предел огнестойкости больше, чем было установлено стандартными испытаниями отдельных конструкций.

ВЛИЯНИЕ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

УДЛИНЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ПОЖАРЕ

Препятствие удлинению элемента при нагреве:

- вызывает в нем продольные сжимающие усилия, которые повышают предел огнестойкости;
- оказывает вредное воздействие на опорные стены или колонны, вызывая у них изгиб.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОГНЯ НА ВНУТРЕННИЕ ОПОРЫ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК И ПЛИТ

Возрастают поперечные силы Q , что снижает предел огнестойкости конструктивных элементов.

ОДНОСТОРОННИЙ НАГРЕВ ПЛИТ, БАЛОК

Вызывает большой прогиб элемента, который смещает к внутреннему краю опорную реакцию, что может привести к разрушению опор.

СТЫКИ

Конструктивные элементы здания с помощью стыков соединяют между собой и создают единую пространственную систему, воспринимающую нагрузки, которые испытывает здание или сооружение в процессе эксплуатации.

Конструкция стыка должна обеспечивать необходимую прочность и жесткость соединения при действии расчетных нагрузок и отвечать требованиям технологического монтажа и огнестойкости.

ВАРИАНТЫ СТЫКОВКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Через стыкуемую рабочую арматуру.
2. Через стальные закладные детали.
3. Через бетон, который укладывается в зазоры между сборными элементами.

4. Через бетонные поверхности стыкующих элементов.

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТЫКОВ

Для ограничения распространения пожара по зданию:

- стыки и швы между сборными элементами заполняют раствором или бетоном;
- швы и стыки между элементами, которые отделяют одно помещение от другого, должны быть цельными и достаточно теплоизолирующими.

Толщина бетона, перекрывающего стык, зависит от требуемого предела огнестойкости конструкций и должна составлять не менее 30 мм для огнестойкости 60 мин и 50 мм для огнестойкости 180 мин.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШВЫ

Обеспечивают возможность перемещения части конструкции от температурного расширения при пожаре в одном помещении, без последующих повреждений конструкций в других помещениях.

Ширина температурного шва зависит от:

- размеров плит, балок, колонн;
- конструкции стыков между элементами;
- способа оперения элементов;
- требуемого предела огнестойкости конструкций здания.

$b_{\text{стыка}} = 0,001 \cdot l$ при $P_{\text{тр}} \leq 1 \text{ ч}$.

$b_{\text{стыка}} = 0,0015 \cdot l$ при $P_{\text{тр}} > 1 \text{ ч}$.

l – расстояние между температурными швами.

Шов должен быть заполнен не воспламеняющим волокнистым материалом и герметиком.

ПОВЕДЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ, МОНОЛИТНЫХ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Элементы в монолитных рамных конструкциях более огнестойки, чем элементы в сборном железобетонном каркасе.

При локальном пожаре в одном помещении, взаимодействие отдельных элементов рам приводит к возникновению дополнительных усилий в других пролетах рам, в которых нет пожара, где могут быть повреждения.

В сборных рамных конструкциях, имеющих шарнирное соединение между отдельными элементами, наиболее вероятны разрушения конструкций в местах очага пожара.

Тема: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СХЕМА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРЕБОВАНИЯМ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПО СНиП

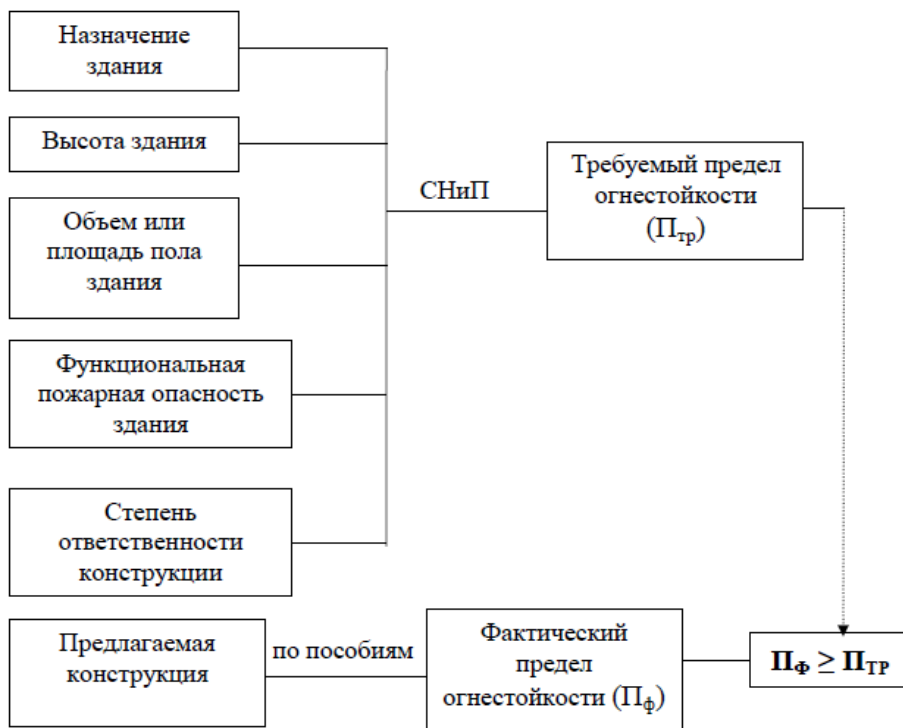


СХЕМА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ СК ТРЕБОВАНИЯМ ОГНЕСТОЙКОСТИ (ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ)



ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОВЕДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

1. Пожарная нагрузка.
2. Теплофизические свойства конструкционного материала.
3. Физико-механические свойства конструкционного материала.
4. Способы сопряжения конструкций и действующей на них нагрузки.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА

ЗАВИСИТ от:

1. Вида и количества сгораемых веществ и материалов (пожарная нагрузка);
2. Размещения пожарной нагрузки в помещении;
3. Размеров и конфигурации помещений;
4. Размеров проемов в ограждающих конструкциях;
5. Конструкций ограждения;
6. Наличия средств пожаротушения.

СТАДИИ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА:

- 1 СТАДИЯ – период разгорания, когда температура в помещении повышается незначительно. Продолжительность этой стадии колеблется от нескольких минут до 20-30 минут.
- 2 СТАДИЯ – период активного горения с быстрым нарастанием температуры до возможного максимума.
- 3 СТАДИЯ – период затухания пожара с быстрым, а затем медленным снижением температуры.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ПОЖАРА

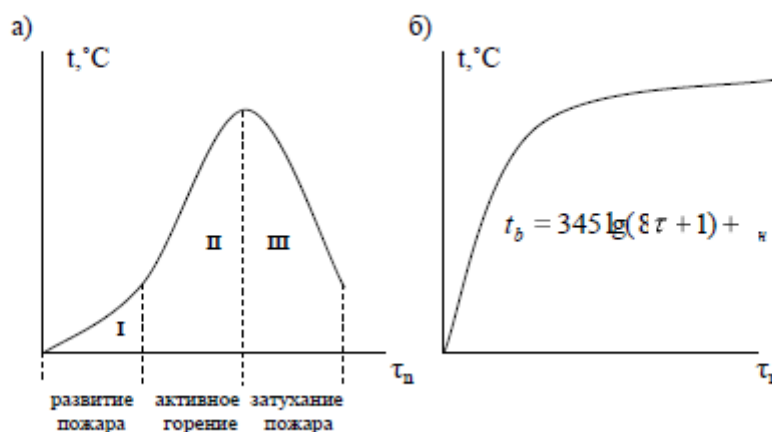


Рис. 11.1

а – стадии развития пожара;

б – изменение температуры при «стандартном» пожаре

Таблица 11.1

Теплофизические характеристики строительных материалов

Вид материала	γ_c , кг/м ³	$\lambda_t = A + Bt, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^\circ\text{C}}$	$C_t = C + Dt, \frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$
Тяжелый бетон на гранитном щебне.	2330	$1,03 - 0,0003t$	$0,17 + 0,0002t$
Тяжелый бетон на известняковом щебне.	2250	$0,98 - 0,00047t$	$0,17 + 0,0002t$
Керамзитобетон.	1600	$0,36 - 0,0001t$	$0,2 + 0,00014t$
Сталь углеродистая обыкновенного качества.	7800	$0,56 - 0,0413t$	$0,105 + 0,000114t$
Цементно-песчаная штукатурка.	1930	$0,72 - 0,00038t$	$0,184 + 0,00015t$
Сухая гипсовая штукатурка.	900	$0,2 + 0,0003t$	$0,24 + 0,00014t$
Плиты «Акмигран».	300	$0,092 + 0,00016t$	$0,394 + 0,000333t$

Зависимость коэффициента γ_t , учитывающего изменение нормативного сопротивления R_{yn} горячекатаных сталей марок

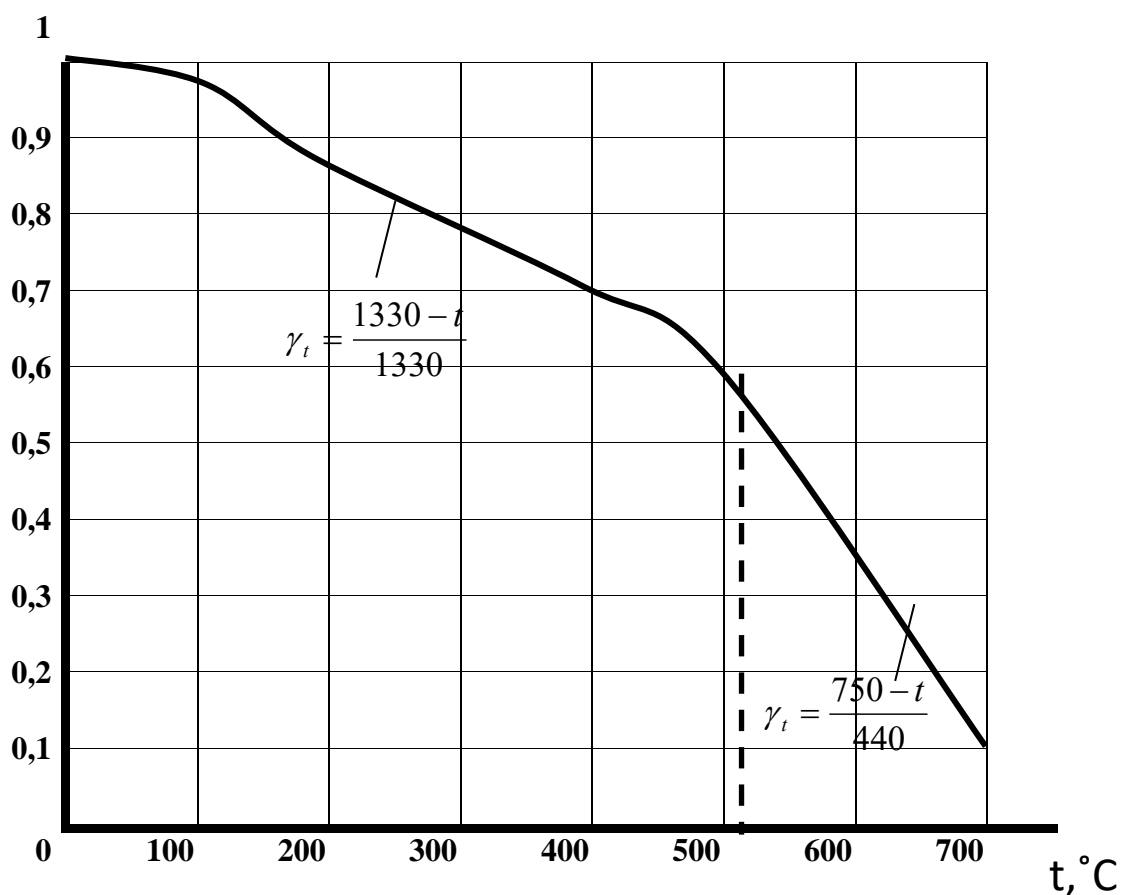


Рис. 11.2

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

1. Экспериментальные
2. Расчетные.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ВКЛЮЧАЮТ:

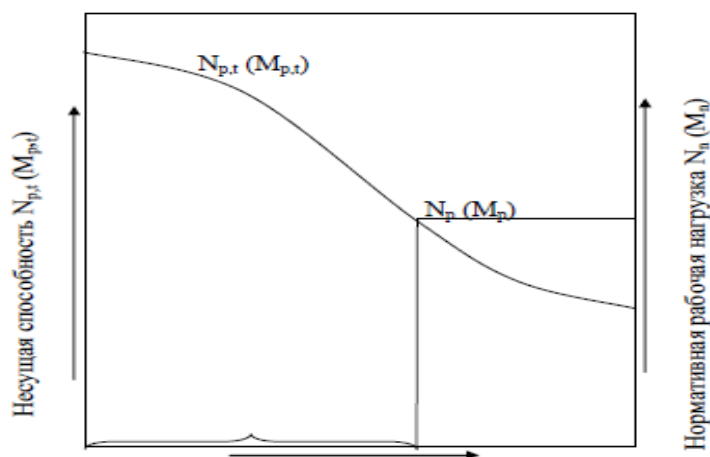
- натурные наблюдения пожаров;
- огневые испытания фрагментов зданий;
- огневые испытания конструкций в натуральную величину;
- огневые испытания модельных конструкций;
- исследование характеристик материала конструкций при высокотемпературном воздействии.

РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ВКЛЮЧАЮТ:

1. Теплотехнический расчет.
2. Статический расчет.

ОБЩАЯ СХЕМА

расчета предела огнестойкости
по признаку потери несущей способности



τ — предел огнестойкости
Время нагрева

Рис. 11.3

ЭТАПЫ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА: (общая схема)

1. Задаются отдельными периодами времени нагрева конструкции.
2. Для заданных периодов времени теплотехническим расчетом определяют температуру в сечениях конструкции.
3. Статическим расчетом определяют несущую способность конструкций.
4. Строится график снижения несущей способности конструкции во времени.
5. Определяется время потери несущей способности конструкции в условиях пожара, т.е. время когда несущая способность конструкции снизится до величины действующей на нее рабочей нагрузки.

РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ:

СХЕМА 1. По признаку прогрева в условиях пожара не обогреваемой поверхности конструкции до недопустимой температуры, т.е. по потере теплоизолирующей способности.

СХЕМА 2. По признаку прогрева сечения конструкции в условиях высокотемпературного воздействия при пожаре до критической температуры ($t_{кр}$). Предельное состояние по огнестойкости – потеря несущей способности.

СХЕМА 3. По критической площади сечения.

ПЕРВАЯ СХЕМА
расчета огнестойкости конструкций
по теплоизолирующей способности

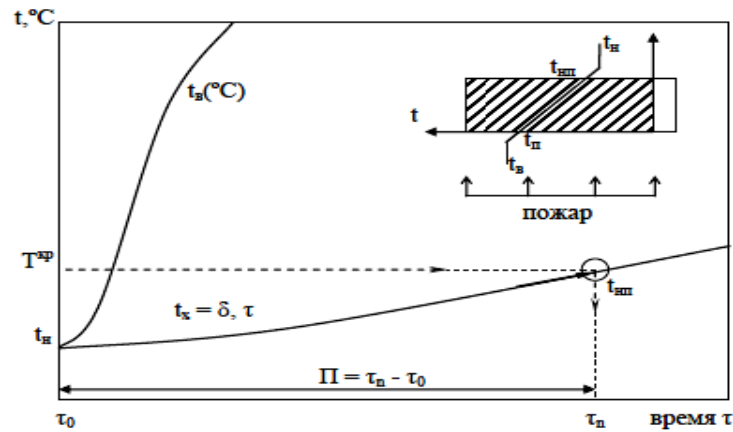
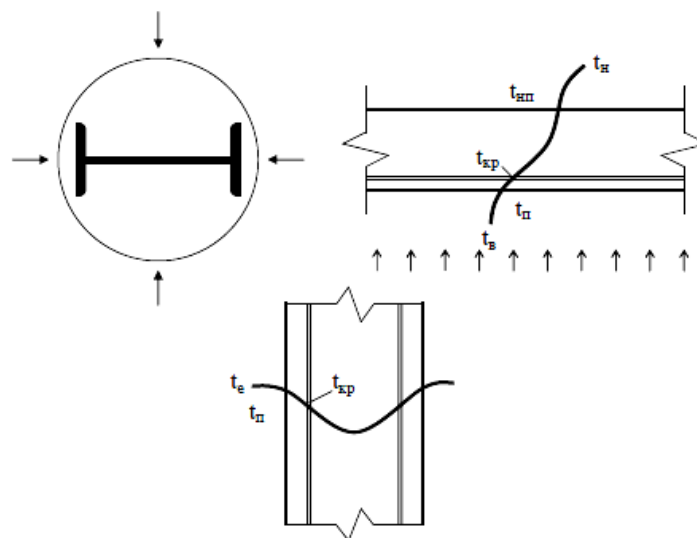
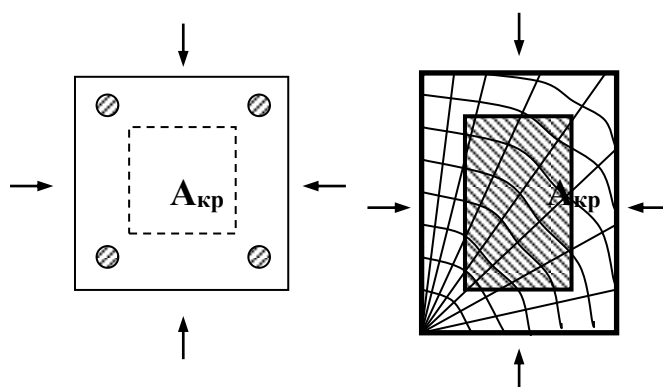


Рис.11.4

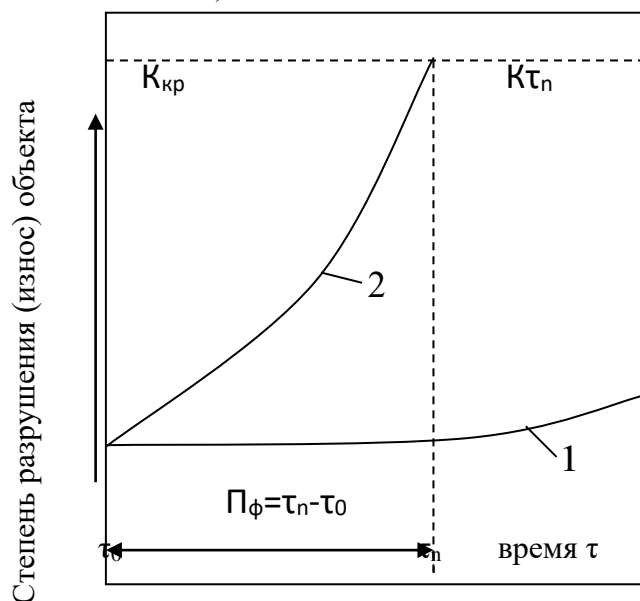
ВТОРАЯ СХЕМА
расчета огнестойкости конструкций по критической температуре
(по несущей способности)



ТРЕТЬЯ СХЕМА
расчета огнестойкости конструкций по критической площади сечения (по несущей способности)



*ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ
(СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ) МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА*



1. Кривая изменения степени разрушения материала в обычных условиях.
2. То же в условиях пожара.

Рис. 9.7

ЗАДАЧИ, ТРЕБУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

1. Исследование влияния температурного воздействия различной интенсивности на теплофизические и физико-механические характеристики материалов, строительные конструкции.
2. Уточнение расчетных методов оценки несущей способности строительных конструкций применительно к условиям температурного воздействия реальных пожаров.
3. Исследование влияния схемы опирания конструкций на их несущую способность в условиях пожара.
4. Влияние на несущую способность строительных конструкций в условиях пожара, применяемых средств пожаротушения.
5. Оценка остаточной несущей способности строительных конструкций после воздействия пожара.
6. Разработка методов приведения предела огнестойкости конструкций в условиях реальных пожаров к пределу огнестойкости в условиях «стандартного» пожара.

Тема: МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ ПОВЕДЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА.

Металлические (стальные) конструкции выполнены из несгораемого материала, фактический предел их огнестойкости в среднем составляет 15 мин. Это объясняется достаточно быстрым снижением прочностных и деформативных характеристик металла при повышенных температурах во время пожара. Обрушившиеся или получившие большой прогиб металлические конструкции вызывают порчу оборудования, сырья, готовой продукции и затрудняют решение вопросов эвакуации и организации тушения пожара.

Интенсивность нагрева МК зависит от ряда факторов, к которым относятся характер нагрева конструкций и способы их защиты. В случае кратковременного действия температуры при реальном пожаре, после воспламенения горючих материалов металл подвергается нагреву более медленно и менее интенсивно, чем нагрев окружающей среды. При действии «стандартного» режима пожара температура окружающей среды не перестает повышаться и тепловая инерция металла, обуславливающая некоторую задержку нагрева, наблюдается только в течение первых минут пожара. Затем температура металла приближается к температуре нагревающей среды. Защита металлического элемента и эффективность этой защиты также влияют на нагрев металла.

Высокая теплопроводность металла позволяет предполагать, что теплоперенос в массе металлической конструкции является равномерным и мгновенным, поэтому для металла можно не использовать понятия температурного градиента ни по сечению, ни по длине элементов МК. Степень нагрева металлической конструкции при пожаре зависит от размеров их элементов и величины поверхности их обогрева. При увеличении объема металла и уменьшении поверхности его обогрева температура элемента снижается. В настоящее время мало изучено поведение сварных, болтовых и заклепочных соединений в условиях пожара. Существующее мнение, что поведение сварного шва при пожаре аналогично поведению металла соединяемых элементов, нельзя признать удачным. Так, в 80% отказ листовых конструкций, используемых при строительстве цилиндрических резервуаров для хранения нефтепродуктов, происходит из-за разрушения вертикальных сварных швов, воспринимающих кольцевые усилия растяжения.

Снижение прочности на срез стального болта или заклепки, находящихся в условиях пожара, приводит к разрушению соединения, а снижение прочности стали соединяемых элементов на смятие увеличивает его деформативность. На поведение болтовых и заклепочных соединений в условиях пожара оказывает влияние значения коэффициента температурного расширения стали соединяемых элементов, а также болтов и заклепок.

Наибольшую опасность при пожаре представляют собой утепленные ограждающие конструкции. В качестве утеплителя часто используются полимерные горючие материалы: пенополистирол, пенополиуретан, пенопласт, сотовый и др. При загорании утеплителя стальные элементы ограждающей конструкции оказываются в зоне воздействия пламени. Анализ пожаров в производственных зданиях с применением таких ограждающих конструкций показал, что покрытия выгорали на значительных площадях (десятки тысяч м²) за 20-25 мин. Особенно интенсивно развивался пожар на кровле при возникновении

очага пожара внутри здания. Распространению огня по кровельным ограждающим конструкциям способствует применение рулонных гидроизоляционных материалов на битумной основе. В процессе натурных огневых испытаний, проведенных в г.Очаково, Набережные Челны, Бухаре, выявилось, что при среднеобъемной температуре 280°C температура под профилированным настилом достигает 380°C . При такой температуре наблюдается плавление и воспламенение полимерного утеплителя, его интенсивное горение с выделением токсичных продуктов. Быстрый рост температуры приводит к обрушению покрытия уже через 7 мин после загорания кровли. Наиболее быстро воспламеняются участки кровли, примыкающие к стенам здания, что способствует быстрому распространению пламени (до 20 м/мин) по всему покрытию. Обрушение ограждающих конструкций при пожаре происходит за счет исчерпания несущей способности ее несущих элементов, а также соединений элементов конструкции между собой и с несущими конструкциями покрытия или каркаса здания. Замена сгораемых материалов, применяемых в качестве утеплителя, на несгораемые, способствует снижению пожарной опасности ограждающих конструкций. Возможно заполнение пустот профилированного настила несгораемым материалом, однако это приводит к утяжелению конструкции. Особое внимание необходимо уделять вопросам огнезащиты соединений ограждающих конструкций с несущими конструкциями каркаса здания.

При действии на балку высоких температур при пожаре даже на ограниченную часть ее поверхности, сечение конструкции, вследствие высокой теплопроводности металла, быстро прогревается до одинаковой температуры. При этом снижается предел текучести и модуль упругости стали. Обрушение прокатных балок наблюдается в сечении, где действует максимальный изгибающий момент. При использовании таких балок в балочной клетке из-за преждевременного выхода из строя стального настила, жестко прикрепленного к балкам, наблюдается потеря их общей устойчивости. Потеря общей устойчивости прокатных балок происходит и в случае шарнирного опирания на них стального настила. Исчерпание несущей способности балок составного сечения происходит в зоне действия максимального изгибающего момента, потери общей устойчивости конструкции из-за обрушения связей в виде настила или второстепенных балок балочной клетки, а также потери местной устойчивости стенкой балки или свесов сжатых полок. Разрушение конструкции может наблюдаться в сварных, болтовых или заклепочных соединениях элементов составного сечения от действия сдвигающих усилий.

Разрушение статически определимой балки происходит в результате образования одного пластического шарнира (рис. 10,а). Статически неопределимые балки являются предпочтительными по сравнению со статически определимыми. Так, двухпролетная статически неопределимая балка разрушается в условиях пожара в результате образования трех пластических шарниров (рис. 10,б) и предел огнестойкости такой конструкции выше статически определимой. Условия опирания балки также влияет на значение ее предела огнестойкости. Заделка стальной балки в железобетонные или каменные стены стесняет температурные деформации вдоль ее длины.

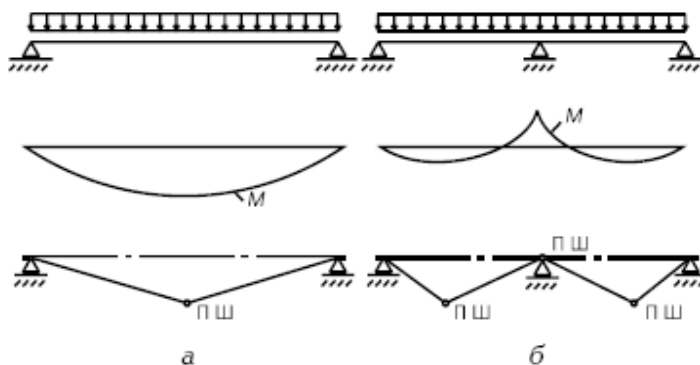


рис. 10

Воздействие температуры пожара на ферму приводит к исчерпанию несущей способности ее элементов и узловых соединений этих элементов. Потеря несущей способности в результате снижения прочности металла характерна для растянутых и сжатых элементов поясов и решетки конструкции. Сжатые элементы верхнего пояса и решетки могут потерять свою несущую способность в результате потери устойчивости в плоскости и из плоскости фермы. Повреждение при пожаре ограждающего покрытия или связей между фермами приводит к потере устойчивости сжатых элементов верхнего пояса из плоскости фермы на нераскрепленном участке.

При расчете фермы соединения ее элементов между собой рассматриваются как шарнирные, поэтому ферма считается статически определимой конструкцией. Поэтому потеря несущей способности хотя бы одним элементом приводит к отказу при пожаре всей конструкции.

Исчерпание несущей способности стальных колонн, находящихся в условиях пожара, может наступить в результате потери: прочности стержнем конструкции; прочности или устойчивости элементами соединительной решетки, а также узлов крепления этих элементов к ветвям колонны; устойчивости отдельными ветвями на участках между узлами соединительной решетки в колоннах сквозных сечений; местной устойчивости стенки и свесов сжатых полок колонны составного двутаврового сечения; общей устойчивости колонны.

Внецентренное сжатие, по сравнению с центральным, является более невыгодным видом нагружения, которое отрицательно сказывается на огнестойкости конструкции. Необходимо отметить, что в ряде случаев колонна, работающая как центрально-сжатая, в условиях пожара может быть подвергнута воздействию внецентренно приложенной силы сжатия. Это возможно при локальном воздействии температуры пожара на конструкции покрытия или перекрытия, опирающиеся на колонны среднего ряда. Обрушение конструкций покрытия или перекрытия с одной стороны от такой колонны приводят в дальнейшем к ее работе как внецентренно-сжатой конструкции.

Колонны являются элементами плоских рам или пространственного каркаса, шарнирно или жестко соединенных с опирающимися на них конструкциями. В случае жестких соединений колонны с ригелем, ее работа зависит от поведения конструкции ригеля при пожаре. Ввиду наличия в здании системы внутренних помещений, очаг пожара

в начальной его стадии оказывается локализованным, и поэтому воздействует на ограниченное число несущих элементов конструкций. Это может привести к стеснению температурных деформаций колонны, которая в результате отсутствия свободы перемещения вдоль ее длины получает дополнительное нагружение.

Поведение в условиях пожара арок и рам зависит от статической схемы работы конструкции, а также конструкции сечения их элементов. Работа в условиях высоких температур сплошных составных сечений аналогична работе таких же сечений стальных балок и колонн, а сквозных сечений - работе ферм и сквозных колонн. В случае использования открытой затяжки, воспринимающей распор конструкции, отказ арок или рам при пожаре может наступать из-за потери несущей способности этим элементом. Разрушение арок и рам может наступить и из-за потери несущей способности опорных и конькового узлов, а потеря устойчивости элементов из плоскости конструкции - из-за обрушения связей.

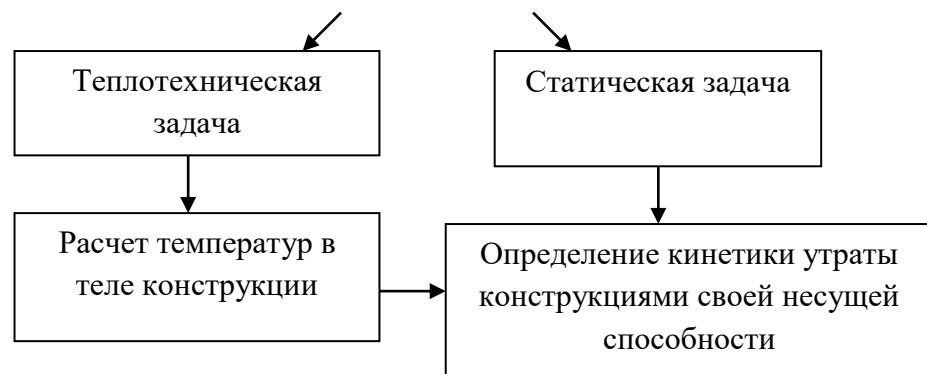
Элементы структурных конструкций, работающие на растяжение или сжатие, имеют небольшие сечения и поэтому быстро нагреваются в условиях пожара. Однако эти конструкции, в силу многократной статической неопределимости, менее чувствительны к повреждениям, т.е. выход из строя одного или нескольких элементов не приводит к обрушению всей структуры.

Мембраны относятся к конструкциям, у которых при нагреве происходит уменьшение усилий. Это вызывается увеличением прогиба конструкции до $1/10-1/15$ ее пролета в результате температурного расширения и температурной деформации ползучести стали. Поэтому огнестойкость стальной мембраны составляет $0,75-1,0$ ч. Наиболее уязвимым элементом мембранного покрытия является его опорный контур. Прогиб мембраны, образовавшейся во время нагрева, является в большей своей части необратимым, т.е. после охлаждения конструкции он практически не исчезает.

Поведение в условиях пожара мембраны, выполненной из алюминиевых сплавов, значительно хуже, чем стальной. Например, мембрана толщиной 1 мм из алюминиевого сплава АМг2П без огнезащиты обрушилась через 6 мин после начала огневых испытаний.

Тема РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

РАСЧЕТ P_{ϕ}



МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПО КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ:

1. Выявляется сечение (часть сечения) или элемент конструкции, которые определяют ее несущую способность в условиях пожара.
2. Определяется напряжение в выделенном сечении (части сечения) или элементе конструкции от рабочей нагрузки σ_n .
3. Определяется коэффициент снижения прочности γ_t :

$$\gamma_t = \frac{\sigma_n}{R_{yn}}$$

4. Определяется на основе справочных данных критической температуры ($t_{кр}$) соответствующей найденному значению коэффициента снижения прочности γ_t .
5. Решение теплотехнической задачи и определение времени прогрева конструкции до критической температуры.

СТЕПЕНЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

ДЛЯ РАСТЯНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

$$\gamma_{t,y} = \frac{N_n}{A \cdot R_{yn}}$$

N_n – нормативная нагрузка

A – площадь поперечного сечения

R_{yn} – нормативное сопротивление

ДЛЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Из условия прочности

$$\gamma_{t,y} = \frac{M_n}{c_1 \cdot w_{n,min} \cdot \gamma_c \cdot R_{yn}}$$

γ_c – коэффициент условия работы

c_1 – коэффициент, учитывающий пластические деформации

$w_{n,min}$ – момент сопротивления

2. Из условия устойчивости

$$\gamma_{t,el} = \frac{M_n}{\varphi_b \cdot w_c \cdot \gamma_c \cdot R_{yn}}$$

W_c – момент сопротивления сжатого пояса балки

φ_b – коэффициент общей устойчивости сжатого пояса балки

ДЛЯ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Из условия устойчивости

$$\gamma_{t,el} = \frac{N_n}{\varphi_T \cdot A_n \cdot R_{yn}}$$

φ_T – коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости стержня

2. Из условия прочности

$$\gamma_{t,y} = \frac{N_n}{A \cdot R_{yn}}$$

$$t_{cr} = 750 - 440\gamma_t \quad (\gamma_t < 0,6)$$

$$t_{cr} = 1330(1 - \gamma_t) \quad (\gamma_t \geq 0,6)$$

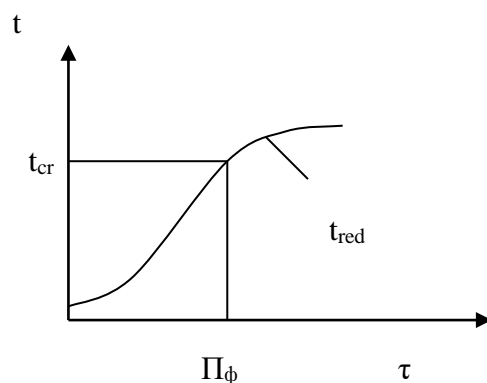


Рис. 10.1

ОБЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРОЧНОСТИ

1. Вычисляют обогреваемый периметр конструкции (U , мм).
2. Определяют площадь сечения конструкции (A , мм).
3. Определяют приведенную толщину металла

$$(t_{red} = \frac{A}{U}, \text{мм})$$

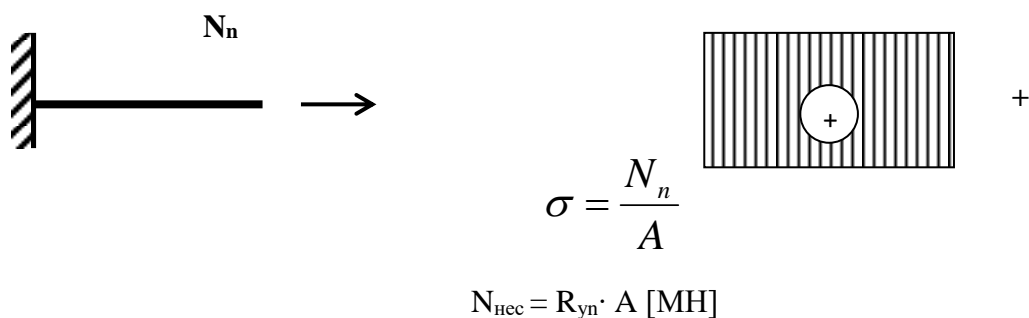
4. Устанавливают нормативную нагрузку действующую на конструкцию.
5. Определяют усилие от нормативной нагрузки на конструкцию.
6. Рассчитывают несущую способность конструкции.
7. Вычисляют степень напряженного состояния конструкции

$$\gamma_t = \text{усилие/несущая способность}$$

8. Определяют критическую температуру металла (t_{cr}) в зависимости от степени напряженного состояния (γ_t).
9. По графику зависимости температуры металлических пластин от времени прогрева (мин) и приведенной толщины металла (t_{red} , мм) определяют фактический предел огнестойкости P_{ϕ} (мин).

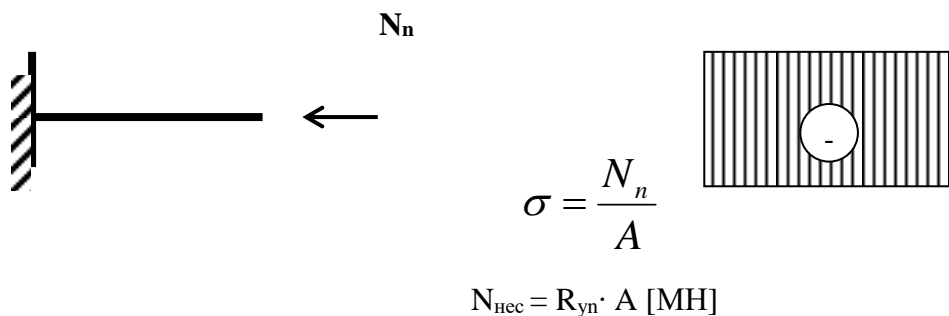
*РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ РАСТЯНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПО ПРОЧНОСТИ*

Расчетная схема	эпюры
-----------------	-------



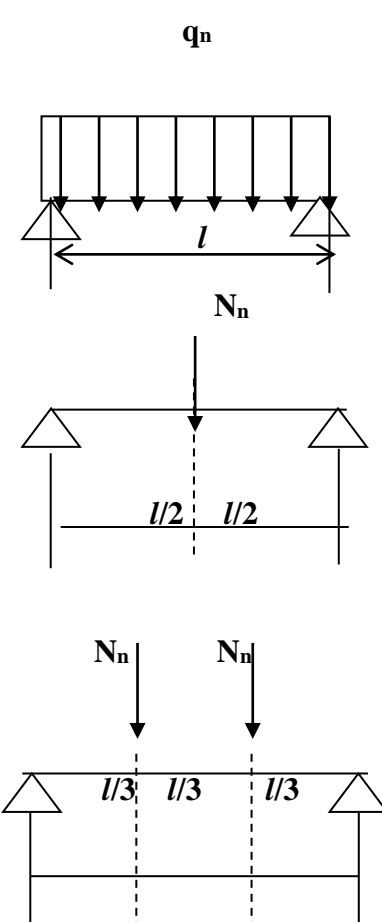
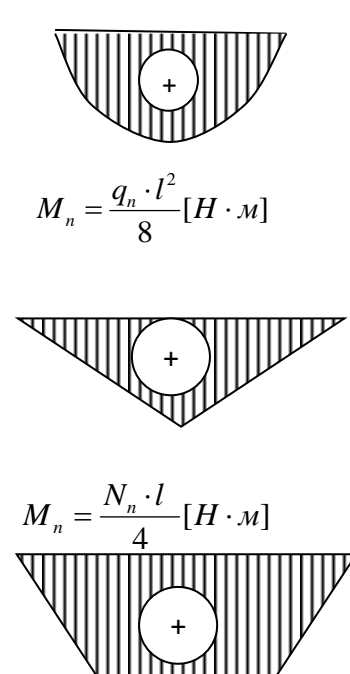
$$\gamma_t = \frac{N_n}{R_{yn} \cdot A}$$

*РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ
ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ*



$$\gamma_t = \frac{N_n}{R_{yn} \cdot A}$$

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ

Расчетная схема	эпюры
 <p style="text-align: center;">q_n</p> <p style="text-align: center;">N_n</p> <p style="text-align: center;">l</p> <p style="text-align: center;">$l/2$ $l/2$</p> <p style="text-align: center;">$l/3$ $l/3$ $l/3$</p>	 <p style="text-align: center;">$M_n = \frac{q_n \cdot l^2}{8} [H \cdot м]$</p> <p style="text-align: center;">$M_n = \frac{N_n \cdot l}{4} [H \cdot м]$</p> <p style="text-align: center;">$M_n = \frac{N_n \cdot l}{3} [H \cdot м]$</p>
$M_{нec} = c_1 \cdot w_n \cdot R_{yn} [H \cdot м]$	$\gamma_t = \frac{M_n}{c_1 \cdot w_n \cdot R_{yn}}$

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ

Расчетная схема	эпюры	величина коэффициента μ в зависимости от способа закрепления
		$\mu = 1,0$
	$\sigma = \frac{N_n}{\varphi \cdot A}$	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяют характеристики элементов (A, h, b, ..., R_{yn}, E). 2. Определяют степень напряженного состояния конструкции. 	$\gamma_{tem} = \frac{N_n}{A \cdot R_{yn}}$	

3. Определяют максимальную гибкость стержня

$$\lambda_{\max} = \frac{l_0}{i_{\min}}; \quad l_0 = l \cdot \mu$$

4. Определяют напряжение от нормативной нагрузки

$$\sigma_n = \frac{N_n}{A}$$

5. Определяют критическую разность кривых деформаций ползучести

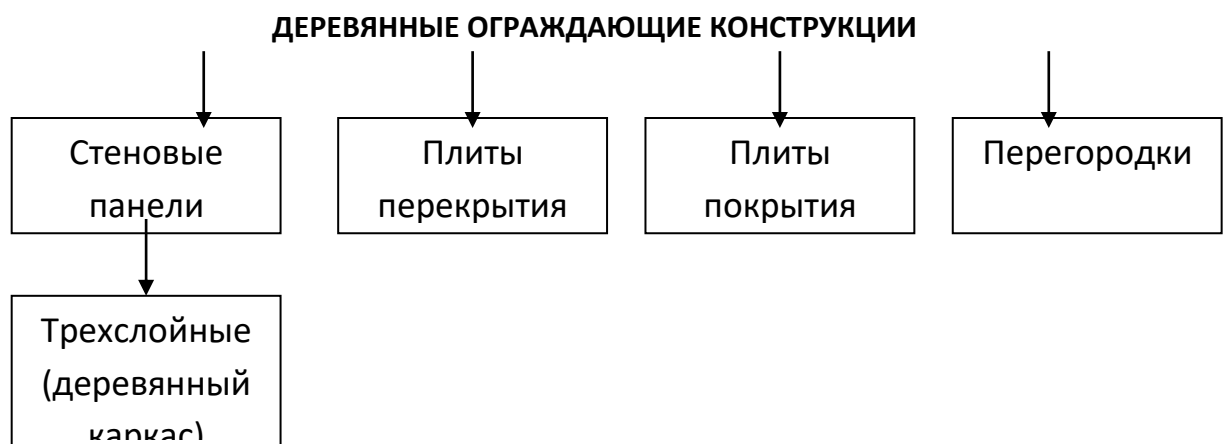
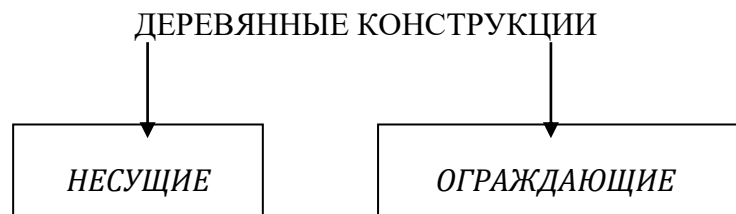
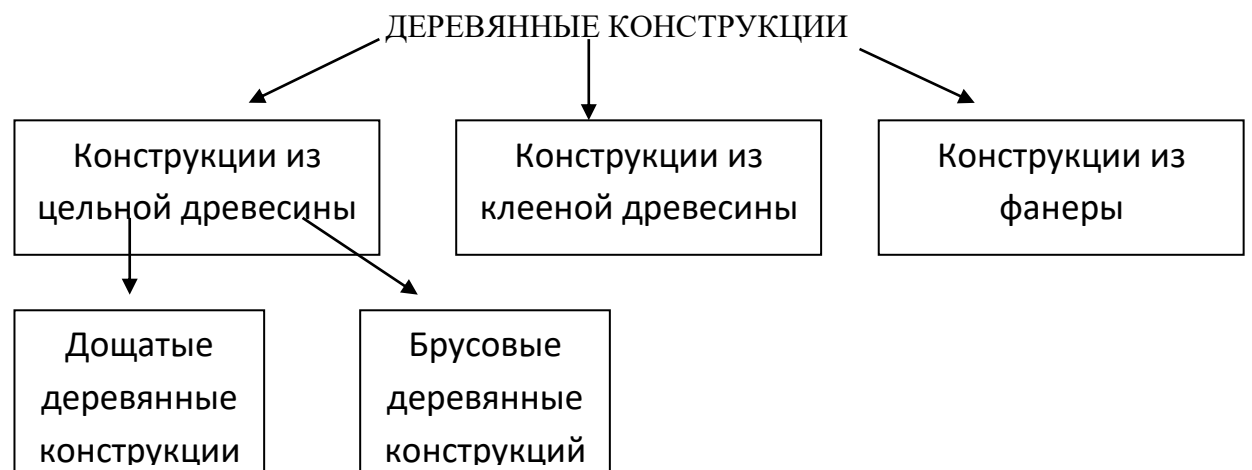
$$\Delta \varepsilon_n = \frac{\pi^2}{\lambda^2} - \frac{\sigma_n}{E}$$

6. Определяют по графику критическую температуру (t_{cr}).

7. Определяют приведенную толщину металла.

8. По графику определяют фактический предел огнестойкости P_{ϕ} .

Тема: ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ ПОВЕДЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА.



ДЕРЕВЯННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

↓
ФАНЕРА

↓
ДСП

↓
ДВП

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ

1. Снижение расхода стали на 20...24 кг/м³.
2. Снижение расхода цемента на 30...35 кг/м³.
3. Облегчает массу покрытий в 4...5 раз.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ (СНиП II-25-80)

<p>Первое предельное состояние (по несущей способности)</p> $\Phi \leq \Phi_{\text{нес}}$ <p>(усилие) (несущая способность)</p>	<p>Второе предельное состояние (по деформации)</p> $f \leq [f]$ <p>(прогиб) (допустимый прогиб)</p>
<p><u>Расчетные нагрузки</u></p> <p>N – расчетное продольное усилие M – расчетный изгибающий момент</p>	<p><u>Нормативные нагрузки</u></p> <p>N_n – нормативное продольное усилие M_n – нормативный изгибающий момент</p>
<p><u>Расчетные сопротивления вдоль волокон (для сосны)</u></p> <p>R_n – изгиб; R_c – сжатие; R_p – растяжение; R_{ск} – сдвиг;</p>	<p><u>Нормативное сопротивление</u></p> <p>Rⁿ</p>
<p>m_п – коэффициент, учитывающий породу древесины;</p> <p>m_в – коэффициент, учитывающий условия работы.</p>	

ЦЕНТРАЛЬНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Расчет ведется по наиболее ослабленному сечению

$$\sigma_P = \frac{N}{F_{HT}} \leq R_P \cdot m_0$$

Коэффициент $m_0=0,8$ учитывает концентрацию напряжений, которые возникают в местах ослаблений.

F_{HT} – наиболее ослабленное сечение (площадь нетто в рассчитываемом сечении).

ЦЕНТРАЛЬНОЕ СЖАТИЕ

Расчет на прочность производится по формуле

N – действующее усилие;

F_{HT} – площадь нетто.

$$\sigma_c = \frac{N}{F_{HT}} \leq R_c$$

ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

m_0 – коэффициент, учитывающий размеры сечения.

$$\sigma_{II} = \frac{M}{W_{HT} \cdot m_0} \leq R_{II}$$

Q – расчетная поперечная сила;

S – статический момент брутто сдвигаемой части относительно нейтральной оси;

J – момент инерции брутто;

b – ширина сечения;

$R_{СК}$ – расчетное сопротивление по сдвигу.

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{b \cdot J_{br}} \leq R_{СК}$$

Таблица - Расчетные сопротивления R_f ($t \approx 80^\circ C$) пределов огнестойкости деревянных конструкций

Напряженное сопротивление	Условное обозначение	Расчетное сопротивление, МПа, в зависимости от сорта древесины		
		1	2	3
Изгиб	R_{fw}	29	26	18
Сжатие вдоль волокон	R_{fc}	26	23	16
Растяжение вдоль волокон	R_{ft}	20	15	-
Скалывание вдоль волокон:	R_{fqs}			
цельной		3,0	2,7	2,7
клееной		1,2	1,1	1,1

ФАКТИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ УСЛОВИЯ ЕЕ ПРОЧНОСТИ

$$P_{\Phi} = \tau_0 + \tau_{cr}$$

где τ_0 – время от начала воздействия на древесину до ее воспламенения

τ_{cr} – время от начала воспламенения древесины до наступления предельного состояния

τ_0 принимается 5 мин. Для древесины с влажностью $W=12\%$

Z_{cr} – критическая глубина обугливания

V – скорость обугливания древесины

$$\tau_{cr} = \frac{Z_{cr}}{V}$$

Таблица - Скорость обугливания древесины

Наименьший размер сечения, мм	Скорость обугливания древесины, мм/мин.	
	клееной	цельной
120 и более	0,6	0,8
менее 120	0,7	1,0

Расчет Z_{cr} является основным в расчете Π_{ϕ}

Для расчета Z_{cr} используется равенство, определяющее предельное состояние деревянной конструкции при пожаре:

$$\sigma_f = R_f$$

Напряжение σ_f при пожаре зависит от изменения геометрических характеристик (A , W , J , i) конструкции.

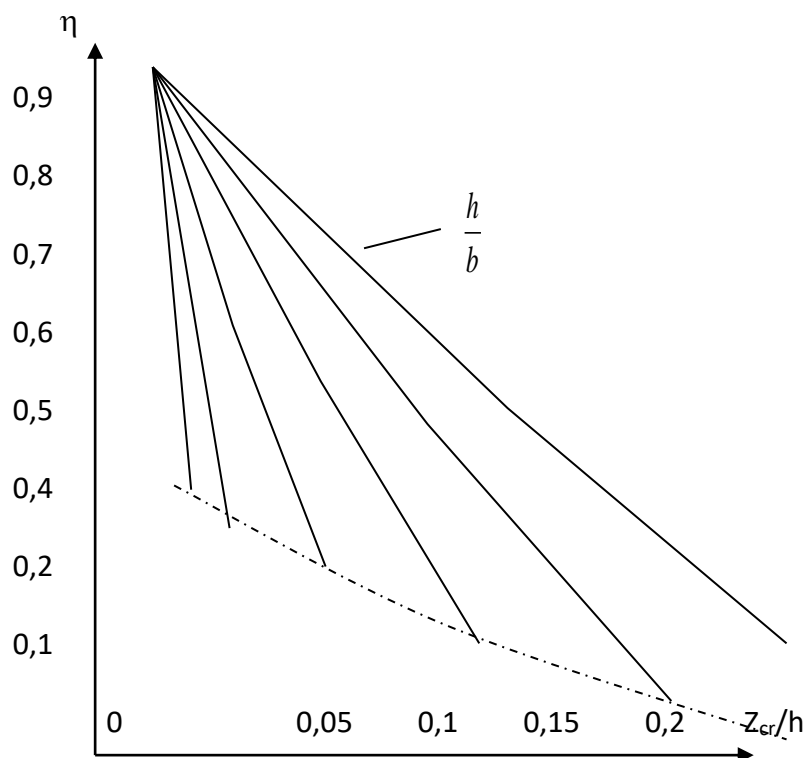
η - коэффициент изменения геометрических характеристик

$$\eta_A = \frac{A_f}{A}; \quad \eta_W = \frac{W_f}{W}; \quad \eta_J = \frac{J_f}{J}; \quad \eta_i = \frac{i_f}{i};$$

A_f ; W_f ; J_f ; i_f – геометрические характеристики сечения при пожаре.

$\eta = f(h/b; Z_{cr}/h)$, где $b \leq h$ и $Z_{cr} \leq 0,25b$

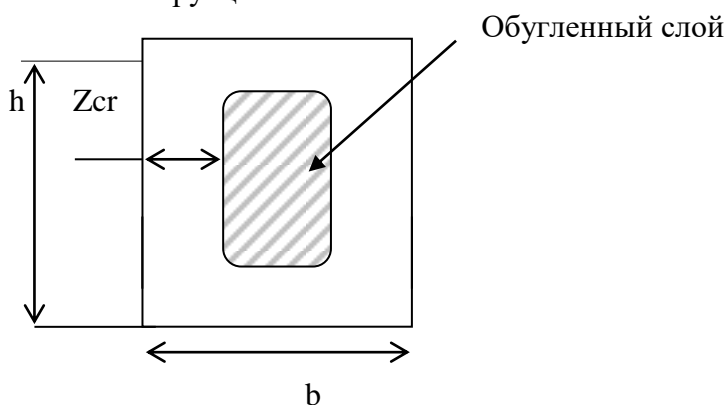
Если точка пересечения параметров η ; h/b ; Z_{cr}/h находятся ниже штрихпунктирной линии, значение Z_{cr} принимается $0,25b$.



Тема: РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОБЩИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ P_{ϕ} ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Предел огнестойкости деревянных конструкций наступает в результате уменьшения площади сечения конструкции.



1. Определяется коэффициент изменения геометрических характеристик (предельное значение).

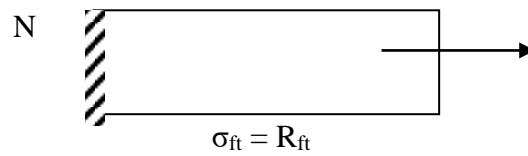
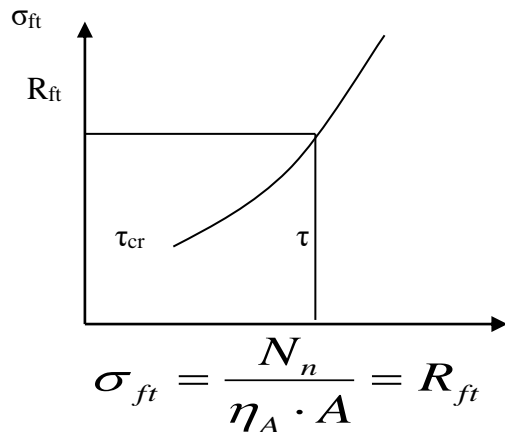
Например для сжатого элемента

$$\eta_A = \frac{N_n}{A \cdot R_{fc}}$$

2. По номограмме, по величине η и h/b определяют Z_{cr}/h , а затем Z_{cr} .

3. Определяют
$$P_{\phi} = \tau_0 + \frac{Z_{cr}}{V}$$

*РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ
ДЕРЕВЯННЫХ РАСТЯНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

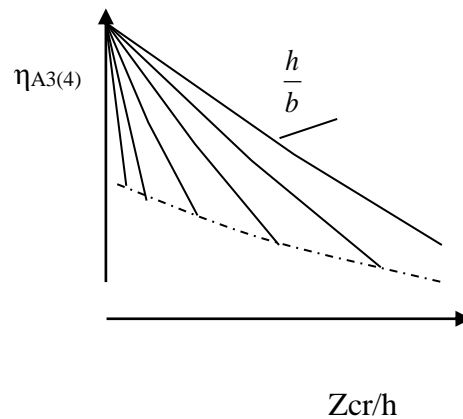


$$\eta_A = \frac{N_n}{A \cdot R_{ft}}$$

Далее используем зависимость
 $\eta_A = f(h/b; Z_{cr}/h)$,
 находим Z_{cr}/h ;
 затем Z_{cr} ;

$$\tau_{cr} = \frac{Z_{cr}}{V}$$

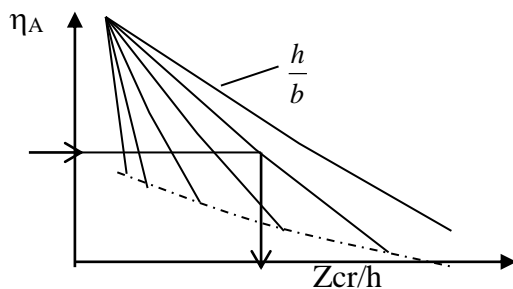
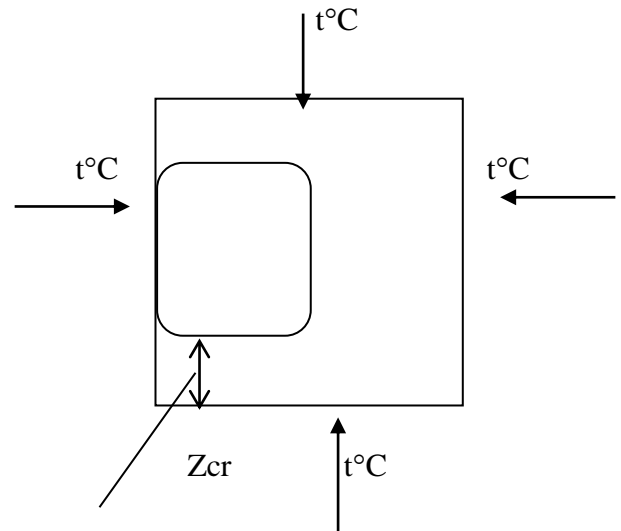
затем
$$\Pi_\phi = \tau_0 + \tau_{cr}$$



*РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ
ДЕРЕВЯННЫХ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
(ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ)*



$$\eta_A = \frac{N_n}{A \cdot R_{fc}}$$



Находим Z_{cr}/h ,
 затем Z_{cr} ,

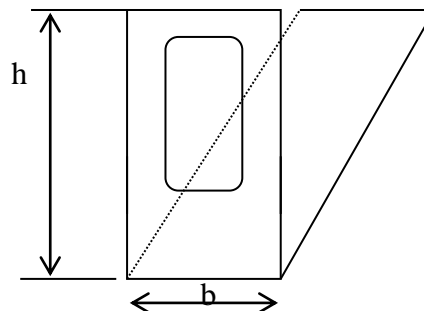
$$\tau_{cr} = \frac{Z_{cr}}{V}$$

$$\Pi_\phi = \tau_0 + \tau_{cr}$$

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Проверяют три условия:

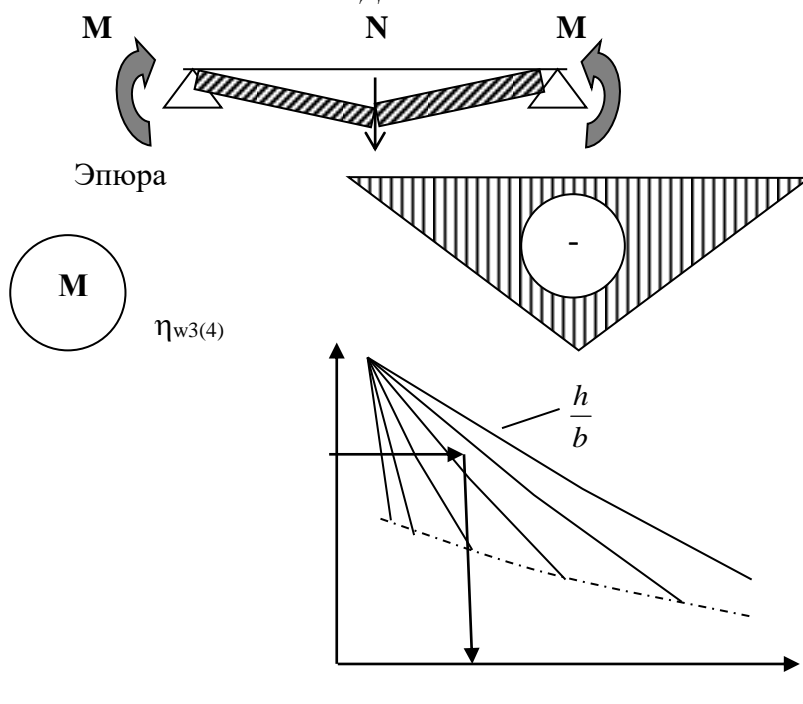
- условие прочности по нормальным напряжениям σ_{fw} ;
- условие прочности по касательным напряжениям τ_{fqs} ;
- условие устойчивости плоской формы деформирования.



1. Определяют из каждого условия предельные глубины обугливания Z_{cr} .
2. Выбирают минимальное значение Z_{cr} .
3. Исходя из минимального значения Z_{cr} определяют

$$P_{\phi} = \tau_0 + \frac{Z_{cr}}{V}$$

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ НА ДЕЙСТВИЕ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ σ_{fw}

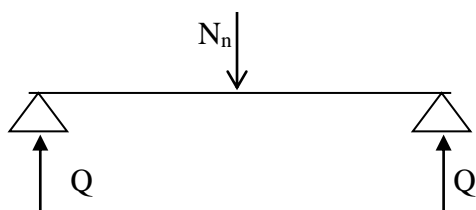


$$\sigma_{fw} = R_{fw}$$

$$\sigma_{fw} = \frac{M_n}{\eta_w \cdot W} = R_{fw}$$

$$\eta_w = \frac{M_n}{W \cdot R_{fw}}$$

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ
НА ДЕЙСТВИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ τ_{FQS}



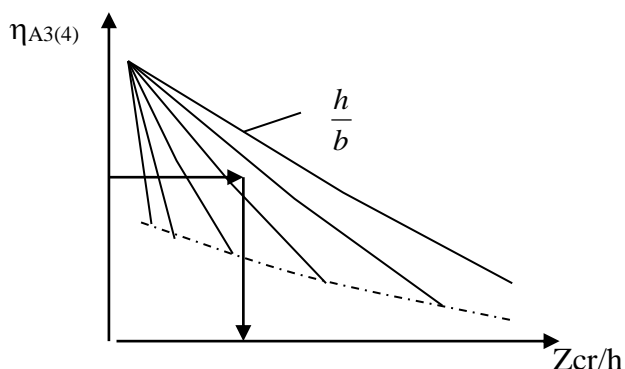
$$Q = \frac{N_n}{2}$$

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ

$$\tau_{fqs} = \frac{1,5Q}{\eta_A \cdot A} = R_{fqs}$$

$$\tau_{fqs} = R_{fqs}$$

$$\eta_A = \frac{1,5Q}{A \cdot R_{fqs}}$$

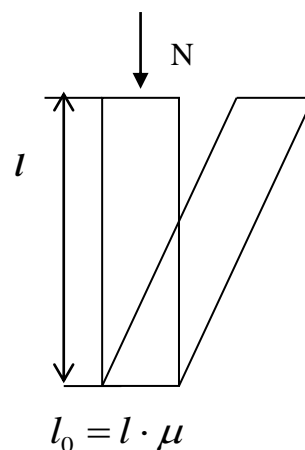


ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ
УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ:

$$\sigma_{fc} = R_{fc}$$

$$\sigma_{fc} = \frac{N_n}{\varphi_f \cdot \eta_A \cdot A} = R_{fc}$$



φ_f - ?

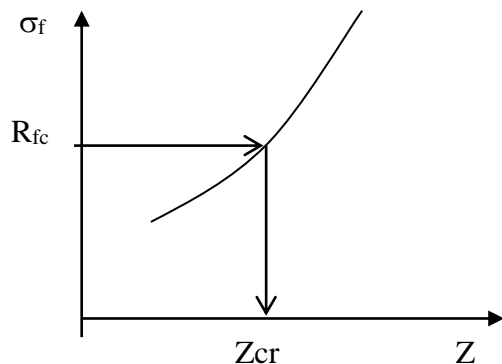
$$\varphi_f = \frac{4000}{\lambda_f^2}; (\lambda_f > 90)$$

$$\varphi_f = 1 - 0,625 \left(\frac{\lambda_f}{100} \right)^2; (\lambda_f \leq 90)$$

$$\lambda_f = \frac{l_0}{i_f};$$

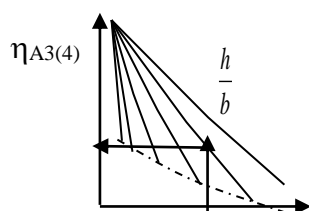
$$i_f = 0,289 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\eta_J}{\eta_A}}$$

Поэтому Z_{cr} определяют из графика:



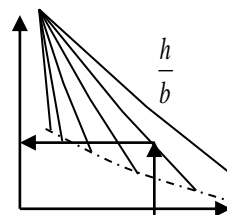
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

1. Задаются значениями Z_1, Z_2, \dots, Z_i глубины обугливания не менее 3-х с соблюдением условия $Z_{cr, 1 \dots i} \leq 0,25b$;
2. Определяют $Z_{1 \dots i} / h$ и h / b ;
3. Графически находят $\eta_{A, 1 \dots i}$ и $\eta_{J, 1 \dots i}$



Z_{cr}/h

$\eta_{J3(4)}$



Z_{cr}/h

4. Находят

$$i_{f, 1 \dots i} = 0,289 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\eta_{J, 1 \dots i}}{\eta_{A, 1 \dots i}}}$$

5. Находят

$$\lambda_{f, 1 \dots i} = \frac{l_0}{i_{f, 1 \dots i}};$$

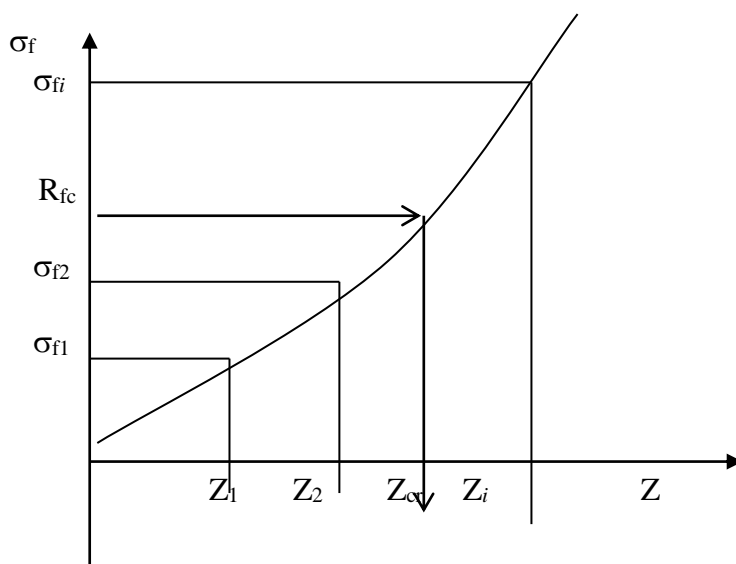
6. Находят;

$$\varphi_{f, 1 \dots i} = \frac{4000}{\lambda_{f, 1 \dots i}^2}; (\lambda_f > 90) \quad \varphi_{f, 1 \dots i} = 1 - 0,625 \left(\frac{\lambda_{f, 1 \dots i}}{100} \right)^2; (\lambda_f \leq 90)$$

7. Находят

$$\sigma_{fc, 1 \dots i} = \frac{N_n}{\varphi_{f, 1 \dots i} \cdot \eta_A \cdot A}$$

8. Строят график и находят Z_{cr} .



9. Определяют

$$П_{\phi} = \tau_0 + \frac{Z_{cr}}{V}$$

Тема: ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ПОНЯТИЕ О ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ И ВИДЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1850 г. – Ламбо во Франции предложил конструкцию лодку.

1892 г. – инженер Геннебик получил патент на конструкцию монолитного ребристого покрытия.

1925 г. – сборный железобетон.

1930 г. – Фрейсне создал предварительно напряженный железобетон.

Возможность совместной работы бетона и арматуры обеспечивает:

- надежное сцепление и анкеровка арматуры в затвердевшем бетоне;
- температурные коэффициенты линейного расширения бетона и арматуры близки, поэтому при обычных температурах сцепление между ними не нарушается:
 $\alpha_b = 0,7 \dots 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 $\alpha_s = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- цементное тесто химически не взаимодействует со сталью.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОНА:

- высокая прочность;
- сейсмо- и виброустойчивость;
- долговечность;
- огнестойкость.

НЕДОСТАТКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА:

- большая масса конструкций;
- повышенные тепло и звукопроводность;
- усадка и ползучесть бетона.

ВИДЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

По способу возведения ЖБК подразделяются:

- монолитные;
- сборные;
- сборно-монолитные.

По виду арматуры:

- с гибкой арматурой;
- с несущей арматурой.

По виду бетона:

- из тяжелого бетона;
- из легкого бетона;
- из силикатного бетона;

и.т.д.

- без предварительного напряжения;
- с предварительным напряжением.

Таблица -ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖБК (ПО СНиП 2.03.01-84*)

По несущей способности (предельное состояние первой группы)	По пригодности к нормальной эксплуатации (предельное состояние второй группы)
<p>по прочности; по потере устойчивости; формы конструкции и ее положения. R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию. R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению. R_s – расчетное сопротивление арматуры.</p> $T \leq T_{per}$	<p>от образования трещин; от чрезмерных перемещений. $R_{b,ser}$ – расчетное сопротивление бетона сжатию для предельных состояний второй группы. $R_{bt,ser}$ – расчетное сопротивление бетона растяжению для предельных состояний второй группы. $R_{s,ser}$ – расчетное сопротивление арматуры для предельных состояний второй группы.</p> $T \leq T_{crc}$ $a \leq a_{crc1} \quad a \leq a_{crc2}$ $f \leq [f_{lim}]$

Значения нагрузок и воздействий, коэффициентов надежности по нагрузке, коэффициентов сочетаний, а также подразделение нагрузок на постоянные и временные должны приниматься в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».

Тема: ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА В РАСЧЕТАХ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

Огнестойкость железобетонных конструкций утрачивается, как правило, в результате потери несущей способности (обрушение) за счет снижения прочности, теплового расширения и температурной ползучести арматуры и бетона при нагревании, а также вследствие потери теплоизолирующей способности.

Предел огнестойкости железобетонных конструкций по теплоизолирующей способности находится путем одного теплотехнического расчета.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ задача заключается в определении температур в теле бетона и арматуры.

Температурное поле - это распределение температуры по сечению конструкции во время его обогрева.

Наиболее удобным приемом построения температурных полей является метод элементарных балансов, предложенный в 1964 году академиком А.П. Ваничевым.

На основе этого метода Яковлев А.И. разработал приемы расчета температурных полей в элементах ЖБК, с учетом затрат тепла на испарение влаги.

Прочностное поле - это распределение прочности материала по сечению конструкции во время его обогрева.

Прочностное поле определяется в зависимости от температурного поля.

Прочность бетона при температуре

$$R_{b,tem} = R_{bu} \cdot \gamma_{b,tem}$$

$\gamma_{b,tem}$ - коэффициент условия работы, зависящий от температуры бетона при пожаре.

R_{bu} - расчетное сопротивление бетона для расчета на огнестойкость.

$$R_{bu} = \frac{R_{bn}}{\gamma_b}$$

R_{bn} - нормативное сопротивление бетона;

$\gamma_b = 0,83$ - коэффициент надежности по бетону.

Изменение температуры при стандартном температурном режиме характеризуется зависимостью

$$t_{\theta} = 345 \lg(0,133 \tau + 1) + t_n,$$

где t_{θ} - температура нагревающей среды, °C;

τ - время пожара, с;

t_n - начальная температура конструкции до пожара, равная 20°C.

При этом необходимо учесть переменность во времени теплофизических характеристик материала в зависимости от непрерывно изменяющейся температуры среды, влияние влажности материала.

Для расчета температур в железобетонных конструкциях при граничных условиях 1-го рода может использоваться формула

$t_{\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \operatorname{erf} X$, где $\operatorname{erf} X$ - функция ошибок Гаусса (приложение 1); t_n - начальная температура, равная 20°C.

Применительно к определению температуры обогреваемой поверхности t_0 плоских железобетонных конструкций выше, указанная формула принимает следующий вид:

$$t_0 = 1250 (1250 - t_n) \operatorname{erf} \frac{K}{2\sqrt{\tau}},$$

где t_0 - температура обогреваемой поверхности, °C;

K - коэффициент, зависящий от плотности ρ_{oc} сухого бетона, с^{0,5},

приложение 2;

τ - время, с.

Приведенный коэффициент температуропроводности определяется по формуле

$$a_{red} = \frac{\lambda_{tem,m}}{(C_{tem,m} + 50,4\omega_B)\rho_{oc}},$$

где $\lambda_{tem,m}$ и $C_{tem,m}$ – соответственно средние коэффициенты теплопроводности (Вт/м °С) и теплоемкости (Дж/(кг °С)) бетона при $t_m = 450^\circ\text{C}$;

ω_B – начальная весовая влажность бетона, %;

ρ_{oc} – средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³.

Значение средней плотности бетона в сухом состоянии

$$\rho_{oc} = \frac{100\rho_B}{100 + \omega_B},$$

где ρ_B – плотность бетона в естественном состоянии, кг/м³.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР В СПЛОШНЫХ ПЛОСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

При одностороннем обогреве

Температура в сечении конструкции рассчитывается по формуле:

$$t_{y\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \operatorname{erf} \frac{k\sqrt{a_{red}} + y}{2\sqrt{a_{red} \cdot \tau}};$$

где

y – расстояния по нормали от обогреваемой поверхности до расчетной точки тела, м;

a_{red} – приведенный коэффициент температуропроводности.

$$a_{red} = \frac{\lambda_{tem,m}}{(C_{tem,m} + 50,4W_b)\rho_{0c}}$$

где

$\lambda_{tem,m}$ – средний коэффициент теплопроводности при $t = 450^\circ\text{C}$, Вт/(м·°С);

$C_{tem,m}$ – средний коэффициент теплоемкости при

$t = 450^\circ\text{C}$, Дж/(кг·с);

W_b – начальная весовая влажность бетона, %;

ρ_{0c} – средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³.

ТЕМПЕРАТУРА В АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЯХ

$$t_{y=a_l} = 1250 - (1250 - t_n) \operatorname{erf} \frac{k + \frac{y + k_1 d}{\sqrt{a_{red}}}}{2\sqrt{\tau}};$$

где

y – расстояние от обогреваемой поверхности до края арматуры, м;

k_1 – коэффициент зависящий от плотности бетона.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СВОБОДНО-ОПЕРТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ПО КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ АРМАТУРЫ $t_{s,cr}$)

Из формулы (17.5) при $t_{y,\tau} = t_{s,cr}$, находим

$$\operatorname{erf} X = \frac{1250 - t_{s,cr}}{1250 - t_n} \quad (12.4);$$

затем по приложению 1

$$X = \frac{k + \frac{y + k_1 d}{\sqrt{a_{red}}}}{2\sqrt{\tau}} \quad (12.5)$$

$$\text{Выразим } \tau = \Pi_\phi: \tau = \Pi_\phi = \left(\frac{k + \frac{y + k_1 d}{\sqrt{a_{red}}}}{2X} \right)^2$$

Критическая температура арматуры $t_{s,cr}$ зависит от степени напряженного состояния $\gamma_{s,tem}$. При двухстороннем обогреве температура в сечении конструкции рассчитывается по формуле:

$$t_{x,\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \left[erf \frac{\xi}{2\sqrt{F_0}} + erf \frac{2-\xi}{2\sqrt{F_0}} - 1 \right];$$

где

$$\xi = 1 - \frac{x}{0,5b + k\sqrt{a_{red}}}; \quad (17.9)$$

x - расстояние от центра до расчетной точки по толщине пластины, м.

$$F_0 = \frac{a_{red} \cdot \tau}{(0,5b + k\sqrt{a_{red}})^2}; \quad (17.10) - \text{критерий Фурье};$$

Подставив значения ξ , F_0 , b в формулу (17.8):

$$t_{x,\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \left[erf \frac{k + \frac{x}{\sqrt{a_{red}}}}{2\sqrt{\tau}} + erf \frac{x + \frac{b-x}{\sqrt{a_{red}}}}{2\sqrt{\tau}} - 1 \right];$$

Выражение в квадратных скобках (17.8) и (17.11) представляют относительную избыточную температуру θ_x , которую можно определить по графику в зависимости от F_0 и ξ [приложение 2], тогда формула (17.11) упрощается:

$$t_{x,\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \cdot \theta_x. \quad (17.12)$$

При расчетах огнестойкости стержневых конструкций (колонны, балки, ригеля) необходимо найти температуру в середине толщины пластины, т.е. при $x=0$.

$$t_{x=0,\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \cdot \theta_{\text{ц}}. \quad (17.13)$$

где $\theta_{\text{ц}}$ - относительная температура, определяемая по приложению 3 в зависимости от $F_0/4$.

Температура арматуры в стержневых конструкциях при обогреве с 3-х и 4-х сторон

$$t_{x,y,\tau} = t_{\text{с}} - \frac{(t_{\text{с}} - t_{x,\tau})(t_{\text{с}} - t_{y,\tau})}{t_{\text{с}} - t_n};$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ БЕТОННЫХ СЛОЕВ, ПРОГРЕВШИХСЯ ДО ЗАДАННЫХ КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР

Расчетное сопротивление бетона для расчета на огнестойкость в слоях прогретых до критических температур ($t_{b,cr}$).

$$R_{bu} = 0$$

В оставшемся сечении прогретого бетона $t_b < t_{b,cr}$

Задача определения слоев бетона прогретых до t_{cr} является обратной задачей по отношению к определению температур в сечении бетона.

Для одностороннего обогрева определяется из уравнения (12.2), где $y = \delta_{ty}$.

$$\delta_{ty} = (2X\sqrt{\tau} - k)\sqrt{a_{red}};$$

X определяется по приложению 1 в зависимости от

$$erfX = \frac{1250 - t_{b,cr}}{1250 - t_n};$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЯДРА СЕЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ОБОГРЕВЕ С 4-Х СТОРОН

Из уравнения (17.9)

$$\xi = 1 - \frac{x}{0,5b + k\sqrt{a_{red}}};$$

при $x = b_{tem, x}$ находим

$$b_{tem, x} = (0,5b_x + k\sqrt{a_{red}})(1 - \xi_x);$$

ξ_x - определяется по графику (приложение 2) в зависимости от величины θ_x и F_{0x}

$$\theta_x = \frac{1250 - t_b}{1250 - t_n} + \frac{(t_b - t_{b,cr})(t_b - t_n)}{(t_b - t_{y=0,\tau})(1250 - t_n)};$$

$$\text{где } t_{y=0,\tau} = 1250 - (1250 - t_n) \cdot \theta_{ц}.$$

$\theta_{ц}$ принимается по приложению 3 в зависимости от $F_{0x}/4$.

$$F_{0x} = \frac{a_{red} \cdot \tau}{(0,5b_x + k\sqrt{a_{red}})^2};$$

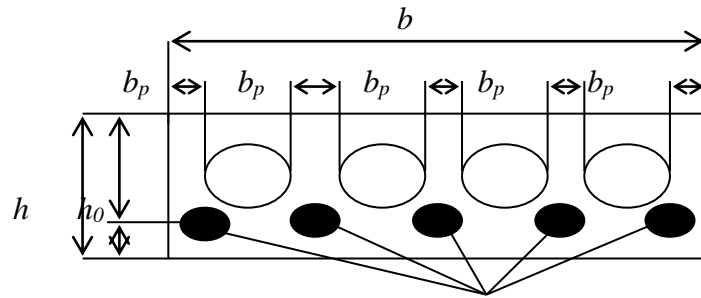
Аналогично определяем:

$$b_{tem, y} = (0,5b_y + k\sqrt{a_{red}})(1 - \xi_y);$$

$$b_{я} = 2b_{tem, x}; \quad h_{я} = 2b_{tem, y};$$

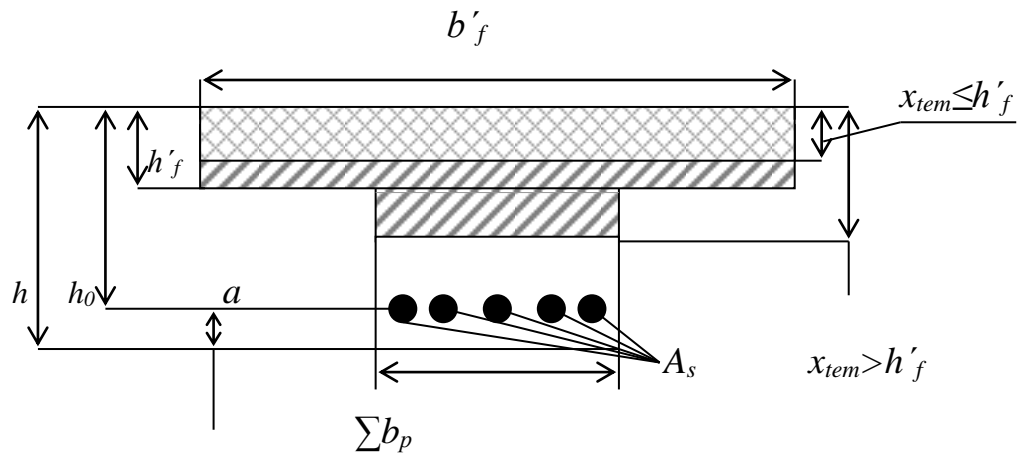
**Тема: НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ И РАСТЯНУТЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПЛОСКИХ ИЗГИБАЕМЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**



a

A_s



x_{tem} – определяется по формуле $x_{tem} \leq h'_f$ $x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - 2 \frac{M_n}{R_{bu} \cdot b}}$;

Если , то $\sigma_{s,tem}$ определяется по формуле

$$\sigma_{s,tem} = \frac{R_{bu} \cdot b \cdot x_{tem}}{A_s}; \text{ где вместо } b \text{ используется } b'_f;$$

Если, $x_{tem} > h'_f$ то ее необходимо пересчитать по формуле:

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2 \cdot [M_n - h'_f \cdot (b'_f - \sum b_p) \cdot R_{bu} (h_0 - 0,5h'_f)]}{R_{bu} \cdot \sum b_p}};$$

$$\sigma_{s,tem} = \frac{R_{bu}[h_f' b_f' + (x_{tem} - h_f') \sum b_p]}{A_s};$$

$t_{s,cr}$ — определяют по приложению 5 по величине

$$\gamma_{s,tem} = \frac{\sigma_{s,tem}}{R_{su}};$$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

расчета предела огнестойкости плоских изгибаемых многопустотных железобетонных элементов.

1. Вычисляется изгибающий момент M_n (в зависимости от нагрузки).
2. Вычисляется высота сжатой зоны x_{tem} по формуле:

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - 2 \frac{M_n}{R_{bu} \cdot b_f'}};$$

$$x_{tem} \leq h_f'$$

3. Если, то $\gamma_{s,tem}$ определяется по формуле

$$\gamma_{s,tem} = \frac{R_{bu} \cdot b \cdot x_{tem}}{A_s \cdot R_{su}}, \text{ где вместо } b \text{ используется } b_f'$$

1. Если $x_{tem} > h_f'$, то ее необходимо пересчитать по формуле:

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2 \cdot [M_n - h_f' \cdot (b_f' - \sum b_p) \cdot R_{bu} (h_0 - 0,5h_f')]}{R_{bu} \cdot \sum b_p}};$$

и тогда:

$$\gamma_{s,tem} = \frac{R_{bu}[h_f' b_f' + (x_{tem} - h_f') \sum b_p]}{A_s \cdot R_{su}};$$

5. По приложению 5 определяется $t_{s,cr}$ (критическая температура).
6. Вычисляется функция ошибок Гаусса по формуле :

$$erfX = \frac{1250 - t_{s,cr}}{1250 - t_{\pi}};$$

7. Находится аргумент функции Гаусса.
8. Вычисляется предел огнестойкости Π_{ϕ} по формуле:

$$\tau = \Pi_{\phi} = \left(\frac{k + \frac{y + k_1 d}{\sqrt{a_{red}}}}{2X} \right)^2;$$

Тема: НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

***РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ СО СЛУЧАЙНЫМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ***

e_a – случайный эксцентриситет п.1.21

(СНиП 2.03.04-84*)

$$e_a \geq \frac{h}{30}; \frac{l}{600}; 1 \text{ см.}$$

Приближенный метод расчета, основанный на определении площади ядра сечения $A_{я}$, ограниченного расчетной (критической) температурой $t_{b,cr}$.

Сечение колонны:

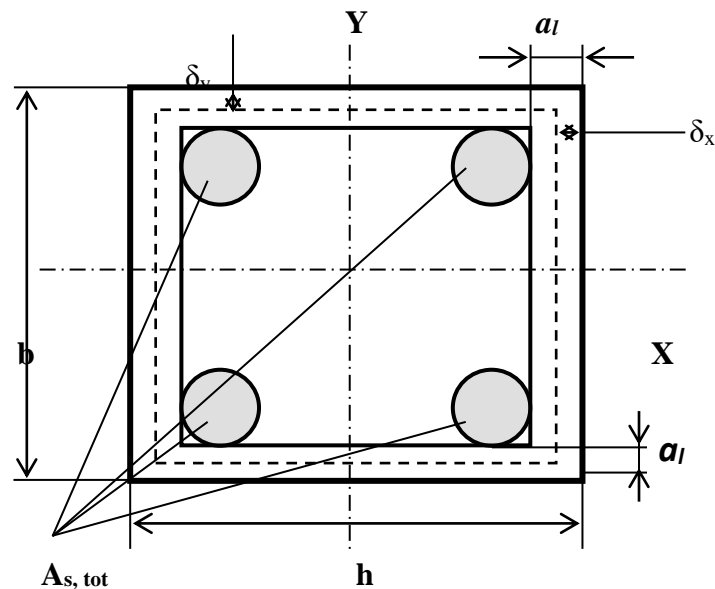


Рис. 19.1

Несущая способность нагретой колонны при обогреве с 4-х сторон

$$N_{p,t,\tau} = \varphi_{tem} (A_{я} R_{bu} + R_{scu} \cdot A_{s,tot} \cdot \gamma_{s,tem});$$

где $A_{я}$ – площадь ядра сечения,

$A_{я} = b_{я} \cdot h_{я}$

$A_{s, tot}$ – суммарная площадь арматуры;

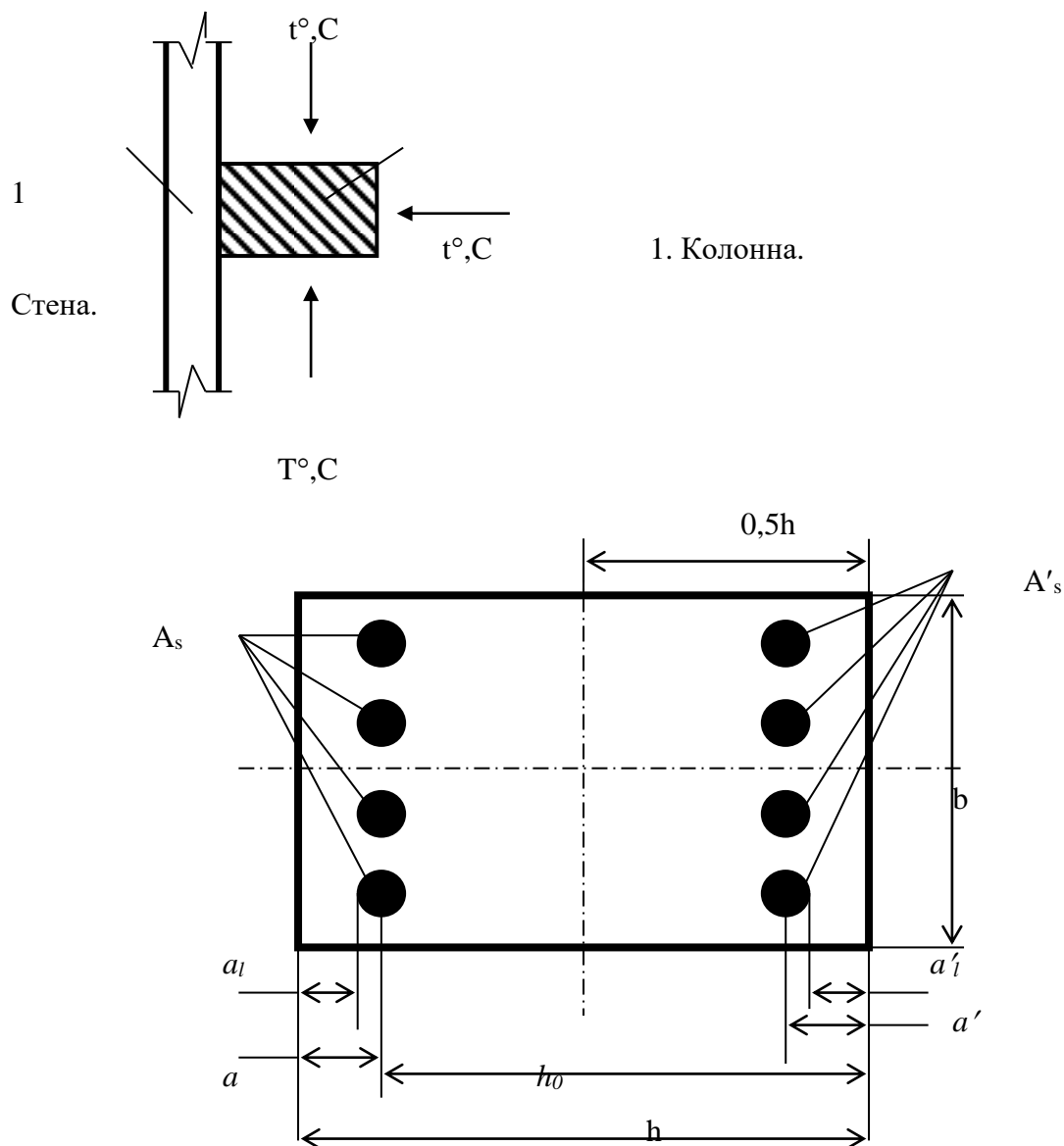
φ_{tem} — коэффициент продольного изгиба, учитывающий длительность нагружения, гибкость и характер армирования колонн.

Последовательность расчета P_{ϕ}

1. Задаемся интервалами времени $\tau_1 \dots \tau_n$.
2. Определяем несущую способность колонны в заданные промежутки времени.
3. Для заданных интервалов времени определяем температуру стержней.
4. По найденным температурам из приложения 5 находим коэффициент $\gamma_{s, tem}$.
5. Находим размеры ядра сечения $b_{я}$ и $h_{я}$ для заданных промежутков времени.
6. Строим график снижения несущей способности колонны в условиях пожара и определяем P_{ϕ} при $N_{p, t} = N_n$.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА

ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДО ПОЖАРА

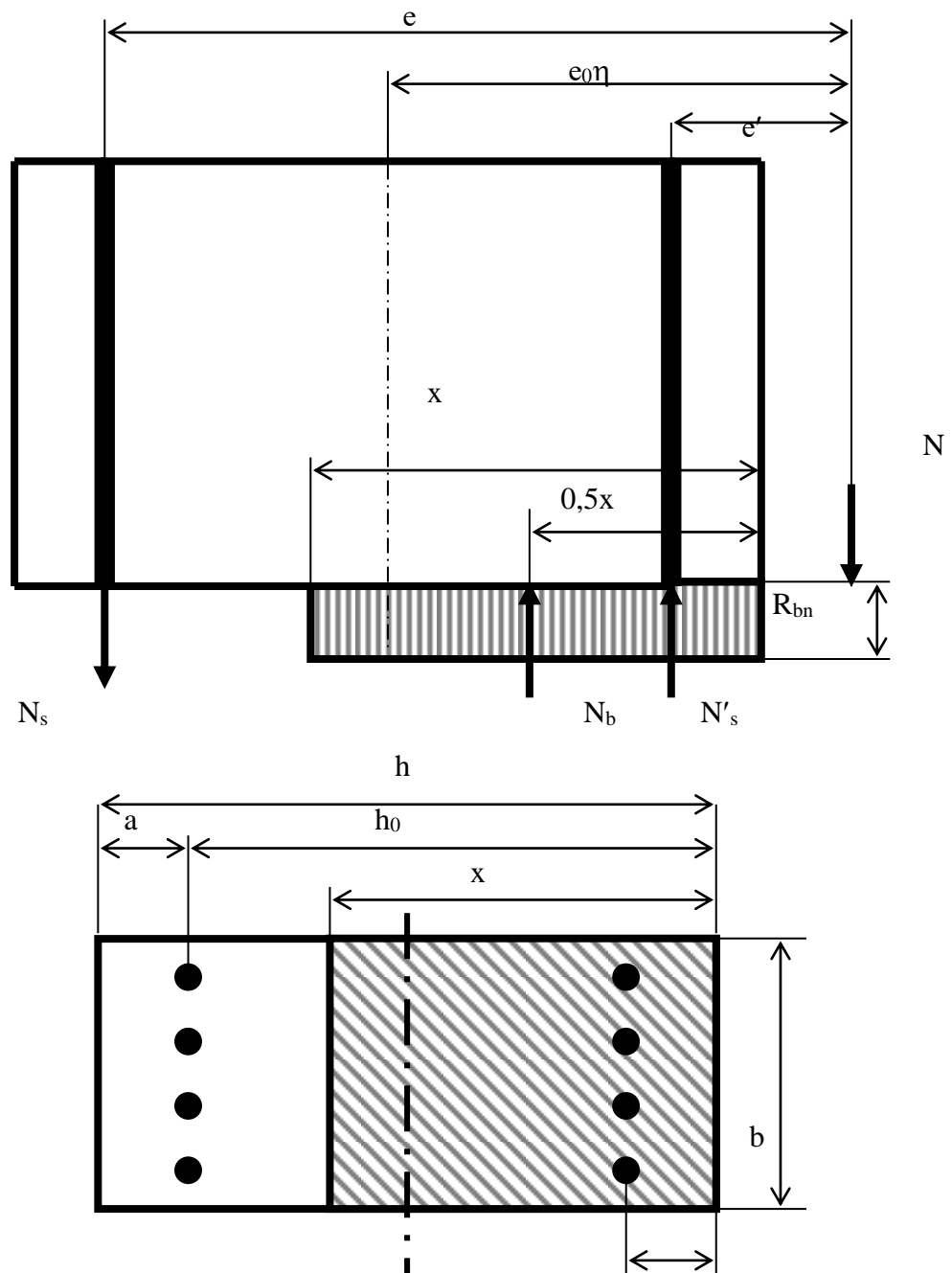


Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести сечения

$$e_0 = e_1 + e_a$$

e_1 – эксцентриситет приложенного опорного давления.

Первый случай внецентренного сжатия



$$N_{per} = R_{bn} \cdot b \cdot x + R_{sn} \cdot A'_s - R_{sn} \cdot A_s$$

x – высота сжатой зоны бетона;

R_{bn} – нормативное сопротивление бетона (определяется в зависимости от класса бетона по табл.12 СНиП 2.03.01-84*) (можно R_{bu});

b – ширина сечения колонны;

R_{sn} – нормативное сопротивление арматуры сжатию и растяжению (определяется в зависимости от класса арматуры по табл.19 СНиП 2.03.01-84*)

(можно R_{scu}); A'_s , A_s – площадь сжатой и растянутой арматуры соответственно.

Высоту сжатой зоны x определяют, предварительно задавшись коэффициентом учета прогиба $\eta = 1 \dots 2$.

Если $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$ то действителен первый случай внецентренного сжатия.

При $\xi > \xi_R$ имеет место второй случай внецентренного сжатия.

ξ_R – граничное значение относительной высоты сжатой зоны.

Проверяют коэффициент:

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

N – усилие от внешней нагрузки,

принять $N = N_{per}$.

N_{cr} – условная критическая сила

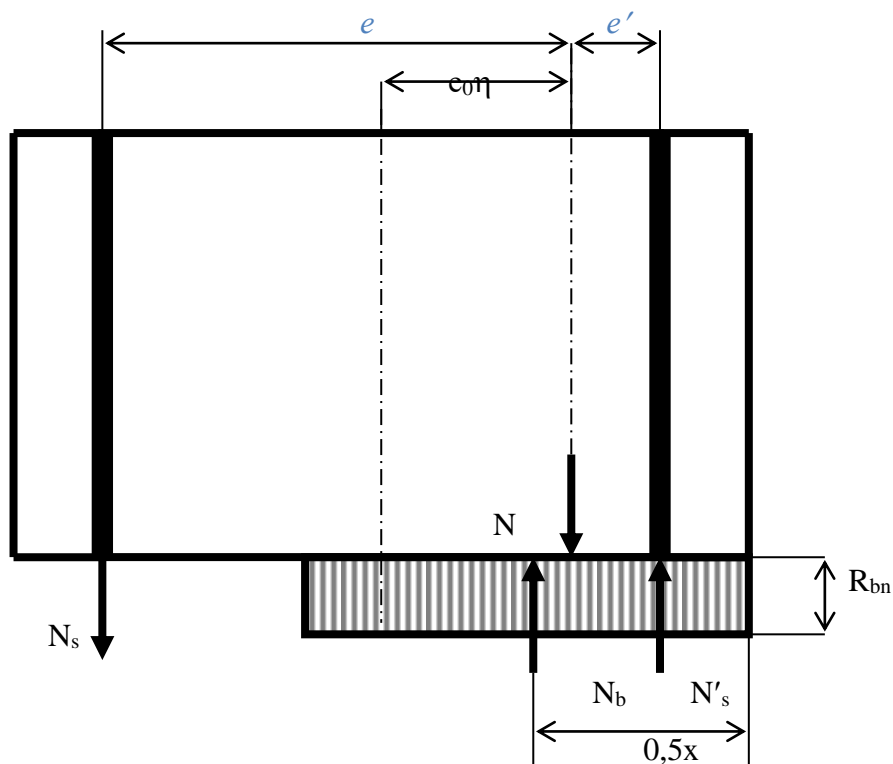
Второй случай внецентренного сжатия

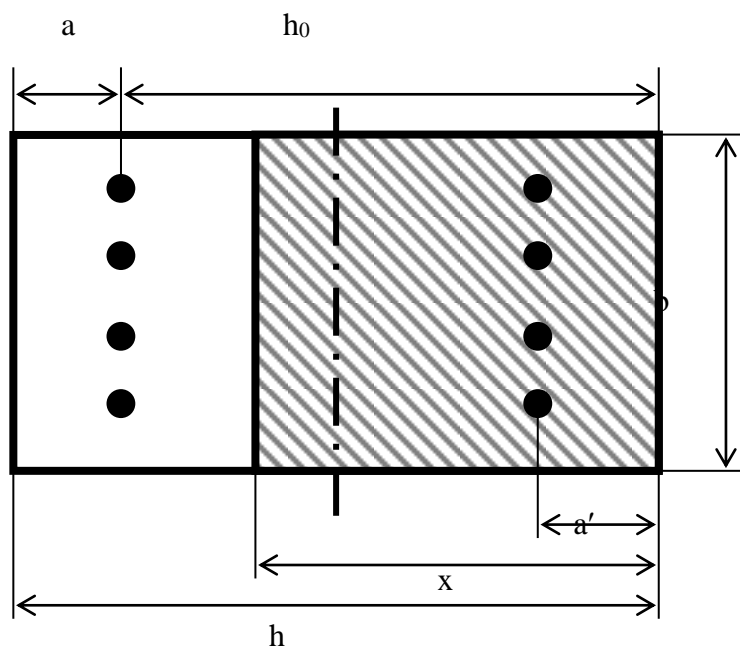
$$\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_R$$

Несущая способность определяется по формуле:

$$N_{per} = R_{bn} \cdot b \cdot x + R_{sn} \cdot A'_s - \sigma_s \cdot A_s$$

где σ_s – напряжение в арматуре A_s (определяют в соответствии с приложением





Высоту сжатой зоны $x = \xi h_0$ определяют, предварительно вычислив относительную высоту сжатой зоны ξ , предварительно задавшись коэффициентом учета прогиба $\eta = 1 \dots 2$.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА

Принимаемые допущения:

1. Сопротивление бетона сжатию, прогретого выше критической температуры нагрева, принимают равным нулю.
2. Сопротивления бетона сжатого рабочего сечения представляют равномерно распределенными по сжатой зоне бетона и принимают равными R_{bn} .
3. Растягивающие и сжимающие напряжения в нагретой арматуре принимают равными

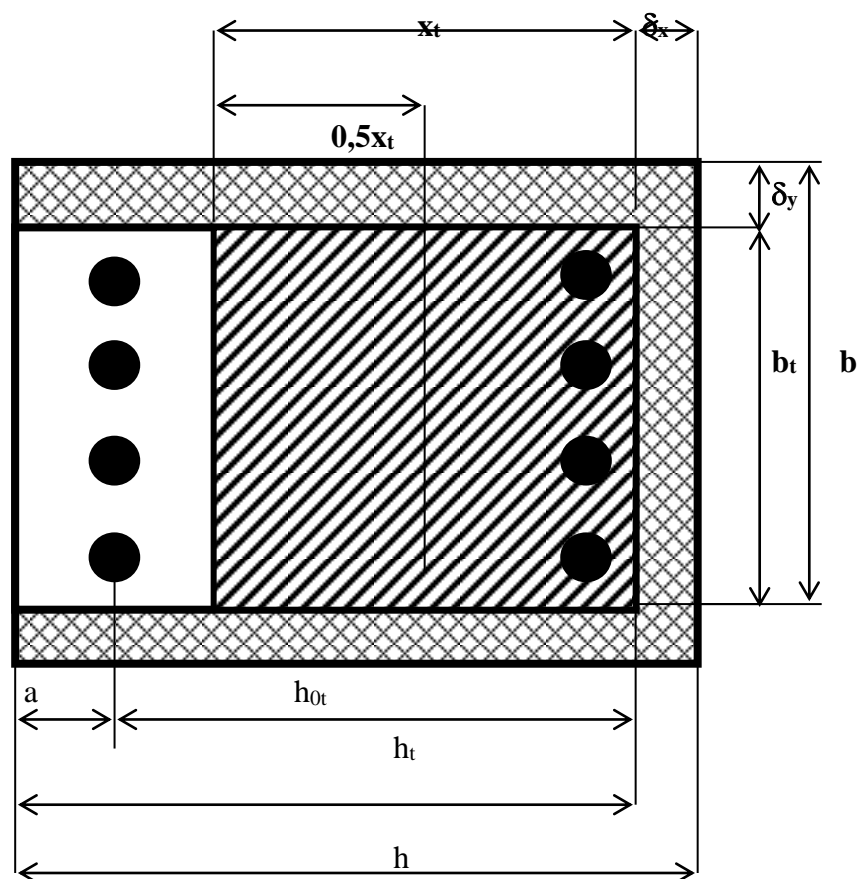
можно принять:
$$R_{st} = R_{sn} \cdot \gamma_{st},$$

- γ_{st} коэффициент снижения нормативного сопротивления арматуры при нагреве

- $\xi_t = \frac{x_t}{h_{0t}}$ относительная высота сжатой зоны в условиях нагрева.

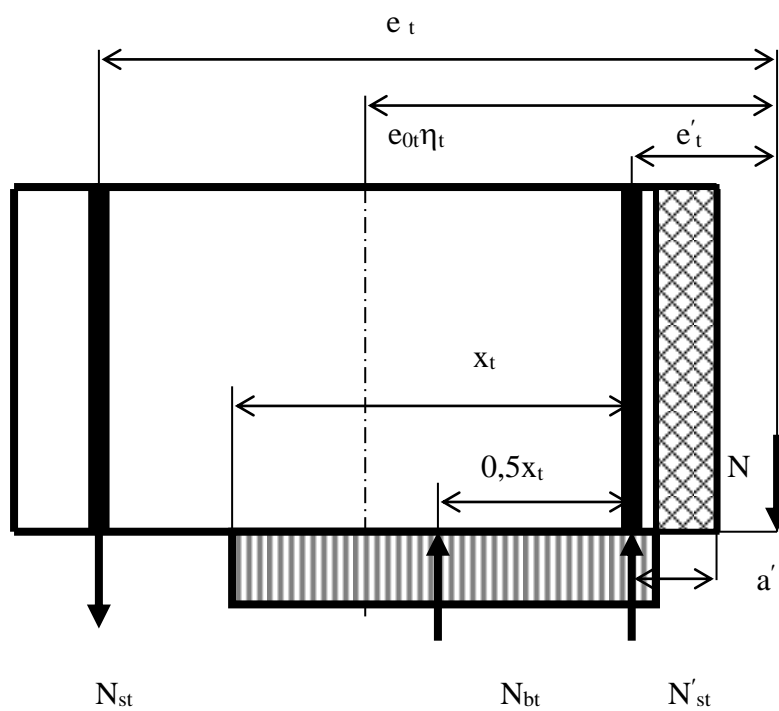
$\xi_t \leq \xi_{Rt}$ первый случай внецентренного сжатия (случай больших эксцентриситетов).

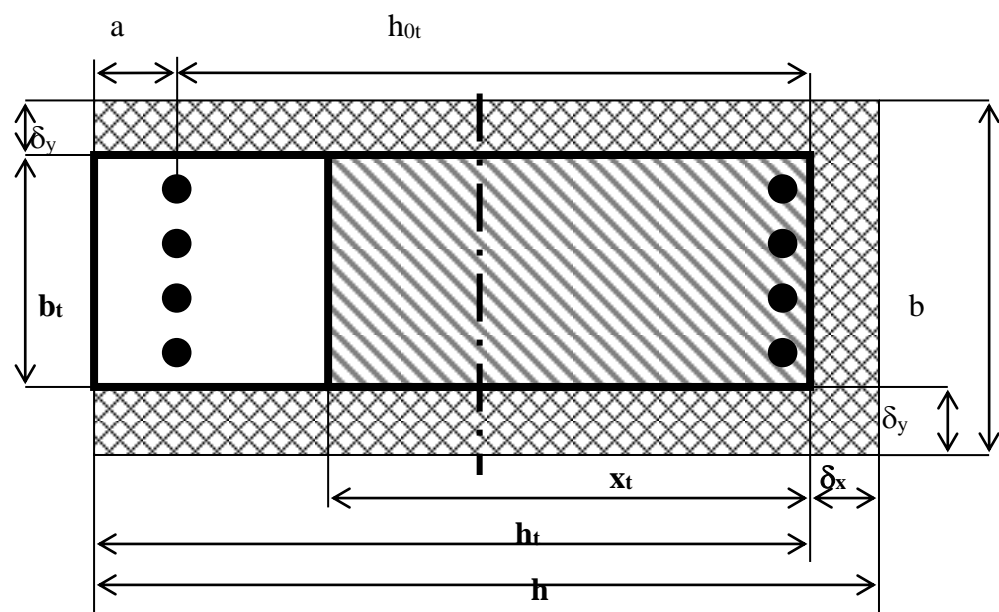
Перед расчетом определяют геометрические характеристики сечения бетона.



Сечение колонны при трехстороннем обогреве

Несущая способность колонны в случае больших эксцентриситетов приложения нагрузки.



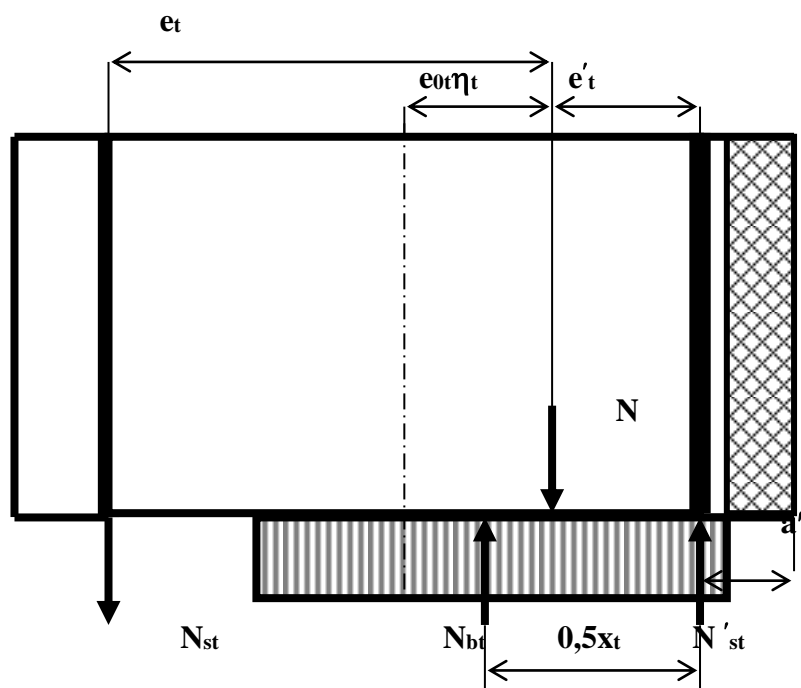


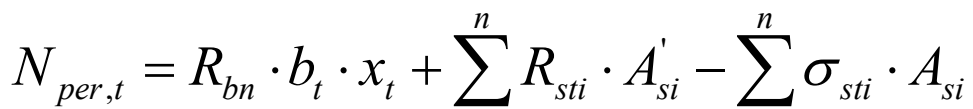
R_{sti} – растягивающие (сжимающие) напряжения в i -ом стержне площадью A_{si} (A'_{si}).

x_t , ξ_{Rt} , N_{crt} , – определяется при температуре по справочным данным

Несущая способность колонны

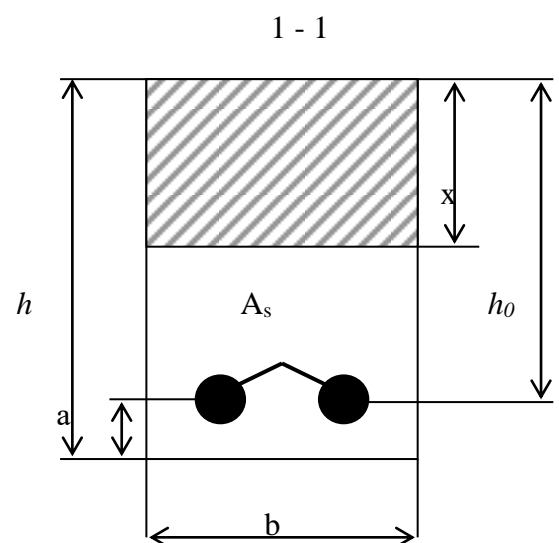
в случае малых эксцентриситетов приложения нагрузки





ξ_t – определяют по справочным данным

СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА



Напряженное состояние элемента
в момент разрушения на начало нагрева

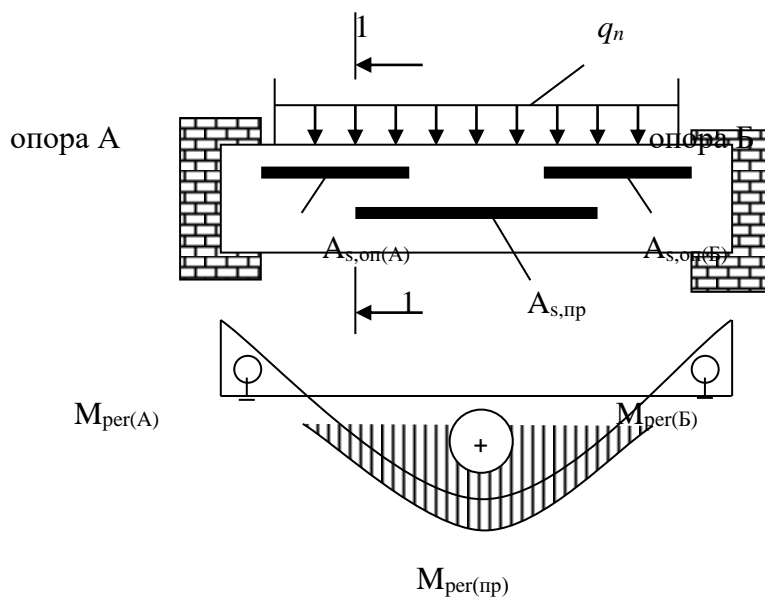
$$M_{per,tem} = R_{su} \cdot \gamma_{s,tem} \cdot A_s \cdot \left(h_0 - \frac{x_{tem}}{2} \right)$$

$$M_{per,tem} = x_{tem} \cdot b_{tem} \cdot R_{bu} \cdot \left(h_0 - \frac{x_{tem}}{2} \right)$$

$$\sum P_x = R_{su} \cdot \gamma_{s,tem} \cdot A_s - x_{tem} \cdot b_{tem} \cdot R_{bu} = 0$$

$$x_{tem} = \frac{R_{su} \cdot \gamma_{s,tem} \cdot A_s}{b_{tem} \cdot R_{bu}}$$

**Тема РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА**



Несущая способность элемента на начало нагрева, $\tau = 0$

$$M_{per,\tau=0} = M_{per(np)} + \frac{M_{per(A)} + M_{per(Б)}}{2}$$

- определяются по формуле

$$M_{per(np)}; M_{per(A)}; M_{per(Б)}$$

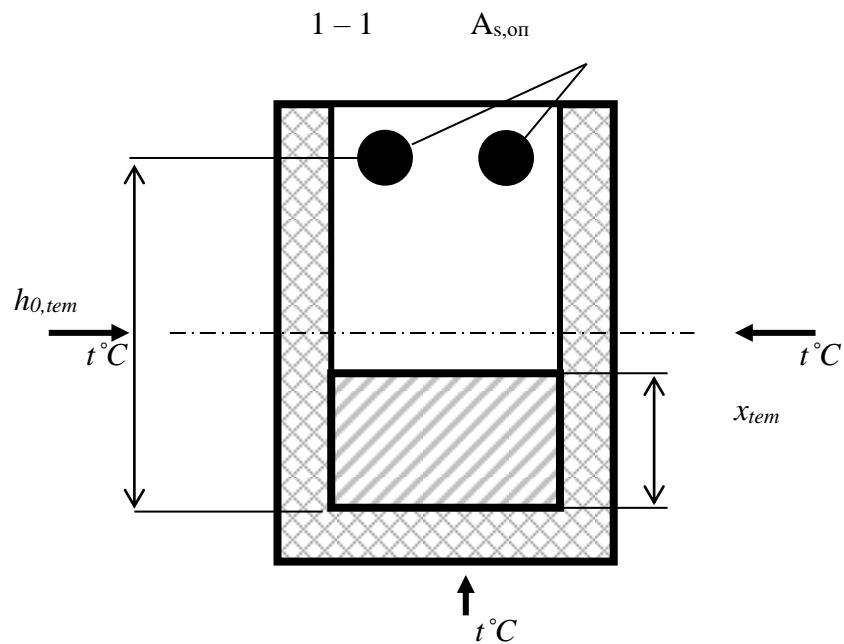
Несущая способность статически неопределимых элементов
в условиях нагрева

$$M_{per,tem} = M_{per(np),tem} + \frac{M_{per(A),tem} + M_{per(B),tem}}{2};$$

$M_{per(np),tem}$ - несущая способность опорного сечения определяется по формуле

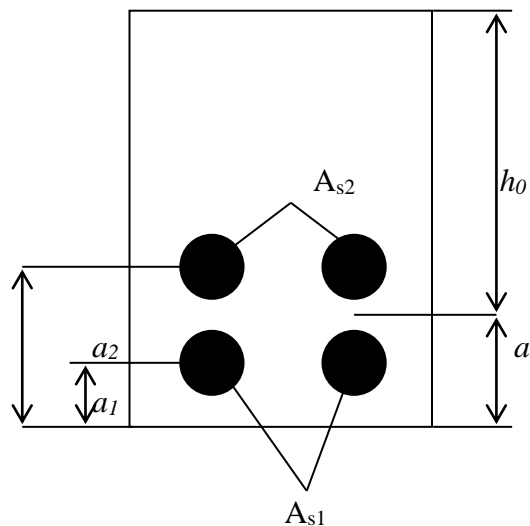
$$M_{per,tem} = R_{su} \cdot \gamma_{s,tem} \cdot A_s \cdot \left(h_0 - \frac{x_{tem}}{2} \right)$$

Несущая способность опорного сечения в условиях нагрева



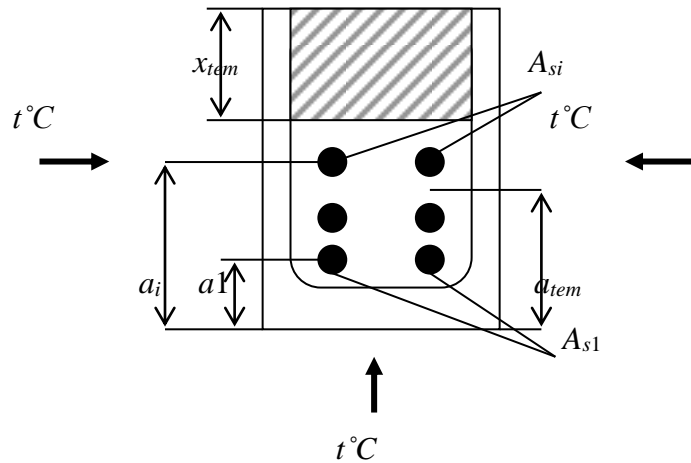
$$M_{per(on)} = \gamma_{s,tem} \cdot R_{su} \cdot A_{s,on} \cdot \left(h_{0t} - \frac{x_{tem}}{2} \right);$$

Расчет расстояния до центра тяжести растянутой арматуры
при ее расположении в два ряда до нагрева «а»



$$a = \frac{A_{s1} \cdot a_1 + A_{s2} \cdot a_2}{A_{s1} + A_{s2}};$$

Расчет расстояния до центра тяжести растянутой арматуры
при ее расположении в несколько рядов при нагреве «a_{tem}»

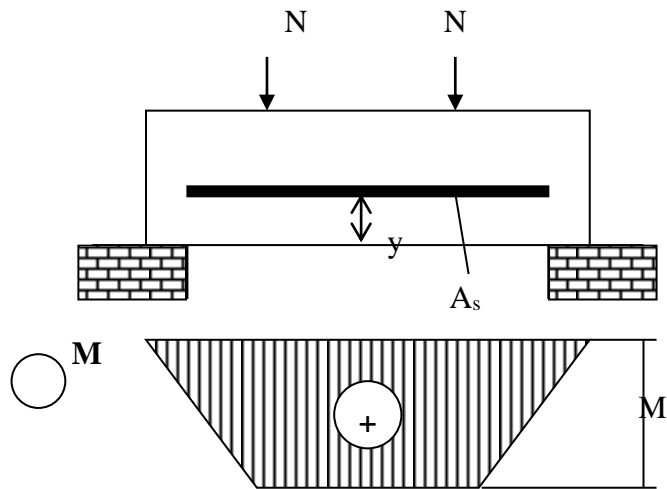


$$a_{tem} = \frac{R_{su} \cdot \sum_{i=1}^n (A_{si} \cdot \gamma_{s,tem,i} \cdot a_i)}{N_{s,tem}}; \quad N_{s,tem} = R_{su} \cdot \sum_{i=1}^n (A_{si} \cdot \gamma_{s,tem,i});$$

Расчет высоты сжатой зоны бетона x_{tem}
при расположении растянутой арматуры в несколько рядов

$$x_{tem} = \frac{R_{su} \cdot \sum_{i=1}^n (A_{si} \cdot \gamma_{s,tem,i})}{R_{bu} \cdot b_{tem}};$$

Расчет огнестойкости статически определимых
изгибаемых железобетонных конструкций
по критической температуре ($t_{s,cr}$) растянутой рабочей арматуры



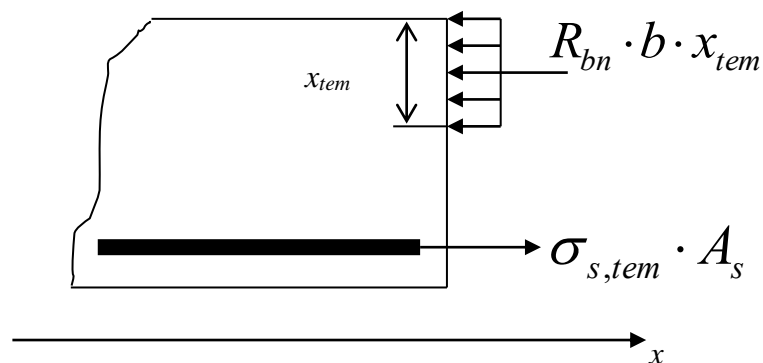
По ранее известной формуле:

$$\tau = \Pi_{\phi} = \left(\frac{k + \frac{y + k_1 d}{\sqrt{a_{red}}}}{2X} \right)^2 ;$$

X определяется по приложению 1 в зависимости от $\text{erf } X$

$$\text{erf} X = \frac{1250 - t_{s,cr}}{1250 - t_{\mu}} ;$$

Определение критической температуры ($t_{s,cr}$)
растянутой рабочей арматуры



$$\sum P_x = \sigma_{s,tem} \cdot A_s - R_{bu} \cdot b \cdot x_{tem} = 0$$

$$\sigma_{s,tem} = \frac{R_{bu} \cdot b \cdot x_{tem}}{A_s}; \quad x_{tem} - \text{определяется из уравнения,}$$

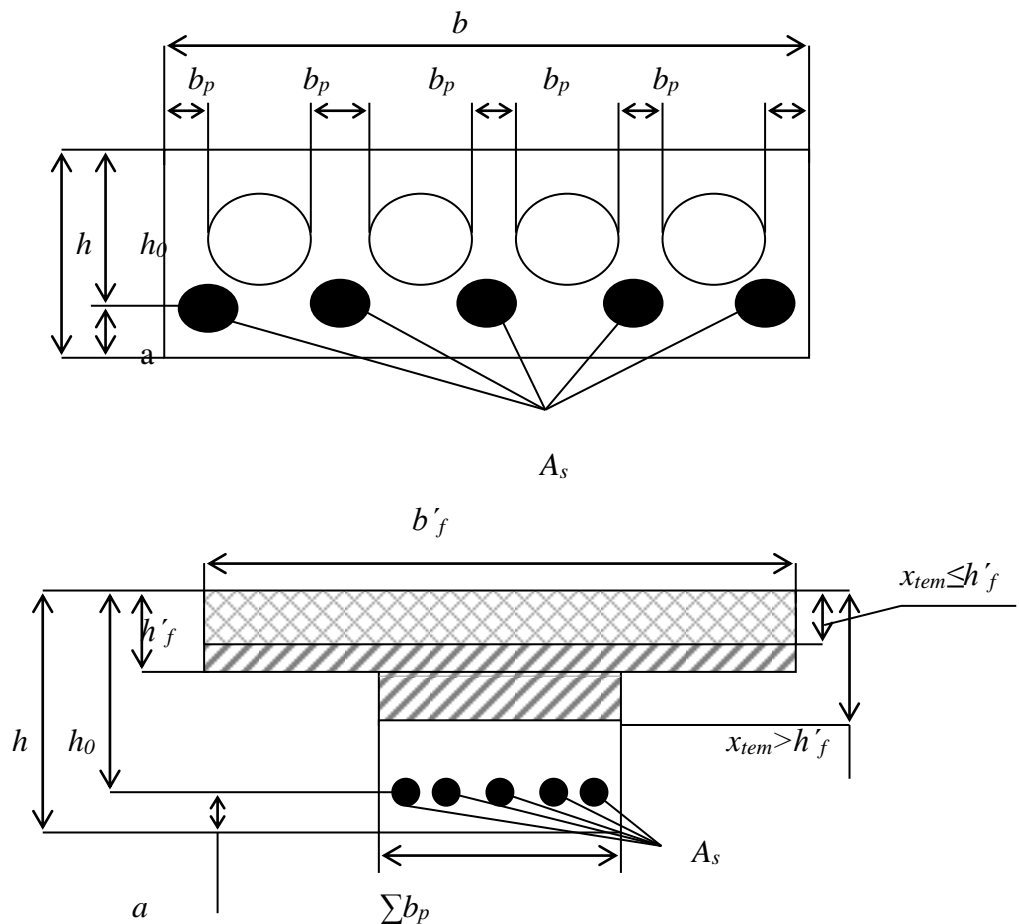
приняв $M_{per,tem} = M_n$

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - 2 \frac{M_n}{R_{bu} \cdot b}};$$

$t_{s,cr}$ – определяют по величине

$$\gamma_{s,tem} = \frac{\sigma_{s,tem}}{R_{su}} = \frac{R_{bu} \cdot b \cdot x_{tem}}{A_s \cdot R_{su}}$$

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПЛОСКИХ ИЗГИБАЕМЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



x_{tem} – определяется по формуле

Если $x_{tem} \leq h'_f$, то $\sigma_{s,tem}$ определяется по формуле), где вместо b используется

$$b'_f;$$

Если $x_{tem} > h'_f$, то ее необходимо пересчитать по формуле:

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2 \cdot [M_n - h'_f \cdot (b'_f - \sum b_p) \cdot R_{bu} (h_0 - 0,5h'_f)]}{R_{bu} \cdot \sum b_p}};$$

$$\sigma_{s,tem} = \frac{R_{bu} [h'_f b'_f + (x_{tem} - h'_f) \sum b_p]}{A_s};$$

$t_{s,cr}$ — определяют по величине

$$\gamma_{s,tem} = \frac{\sigma_{s,tem}}{R_{su}};$$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

расчета предела огнестойкости плоских изгибаемых многопустотных железобетонных элементов.

3. Вычисляется изгибающий момент M_n (в зависимости от нагрузки).
4. Вычисляется высота сжатой зоны x_{tem} по формуле

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - 2 \frac{M_n}{R_{bu} \cdot b'_f}};$$

3. Если $x_{tem} \leq h'_f$, то $\gamma_{s,tem}$ определяется по формуле

$$\gamma_{s,tem} = \frac{R_{bu} \cdot b \cdot x_{tem}}{A_s \cdot R_{su}}, \text{ где вместо } b \text{ используется } b'_f$$

2. Если $x_{tem} > h'_f$, то ее необходимо пересчитать по формуле:

$$x_{tem} = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2 \cdot [M_n - h'_f \cdot (b'_f - \sum b_p) \cdot R_{bu} (h_0 - 0,5h'_f)]}{R_{bu} \cdot \sum b_p}};$$

и тогда:

$$\gamma_{s,tem} = \frac{R_{bu} [h'_f b'_f + (x_{tem} - h'_f) \sum b_p]}{A_s \cdot R_{su}};$$

определяется $t_{s,cr}$ (критическая температура).

7. Вычисляется функция ошибок Гаусса по формуле:

$$erfX = \frac{1250 - t_{s,cr}}{1250 - t_n};$$

9. По приложению 1 (М.У.) находится аргумент функции Гаусса.
10. Вычисляется предел огнестойкости Π_ϕ по формуле :

$$\tau = \Pi_{\phi} = \left(\frac{k + \frac{y + k_1 d}{\sqrt{a_{red}}}}{2X} \right)^2 ;$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Формула предложена в 1956 г.

$$\Pi_{\text{тр}} = k_0 \cdot \tau_{\text{пож}}$$

k_0 – коэффициент огнестойкости.

$\tau_{\text{пож}}$ – продолжительность пожара.

Таблица 21.1

Степень огнестойкости здания	Значения коэффициента огнестойкости для:			
	вертикальных несущих конструкций	противопо- жарных стен	горизонталь-ных конструкций	перегородок, несущих стен.
I	2,5	2,5	1,25	1
II	2	2,5	1	0,5

Расчет продолжительности пожара

$$\tau_{\text{пож}} = \frac{N_r}{z \cdot n}$$

N_r – пожарная нагрузка.

n – скорость выгорания (зависит от степени измельчения, условий размещения веществ, температурного режима и условий притока воздуха в зону горения).

z – коэффициент неполноты горения.

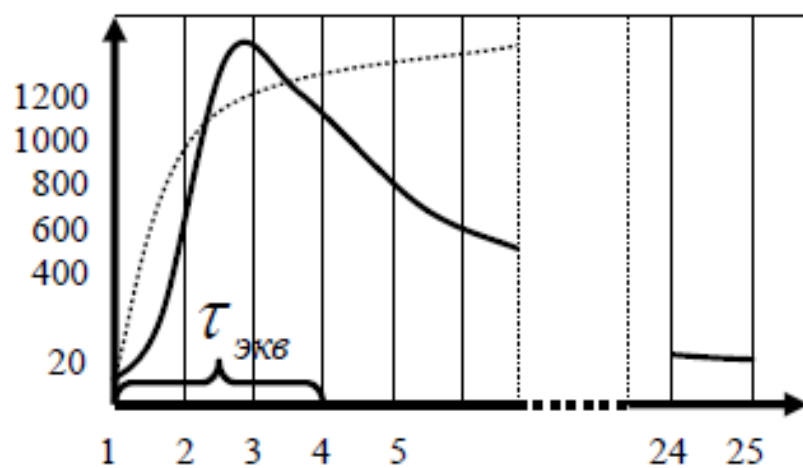
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СТАНДАРТНОГО ПОЖАРА

В формуле В.И. Мурашева ($\Pi_{\text{тр}} = k_0 \cdot \tau_{\text{пож}}$) вместо $\tau_{\text{пож}}$ более точно использовать $\tau_{\text{экв}}$.

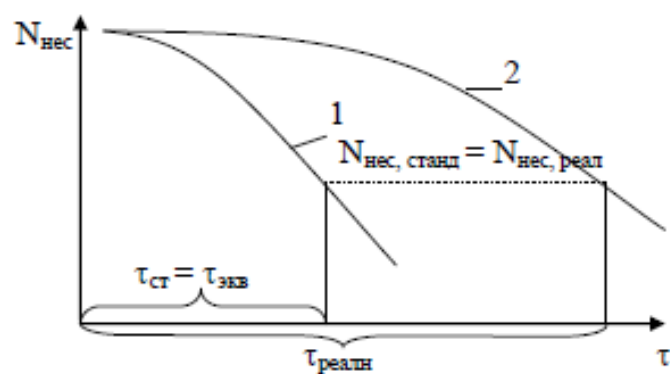
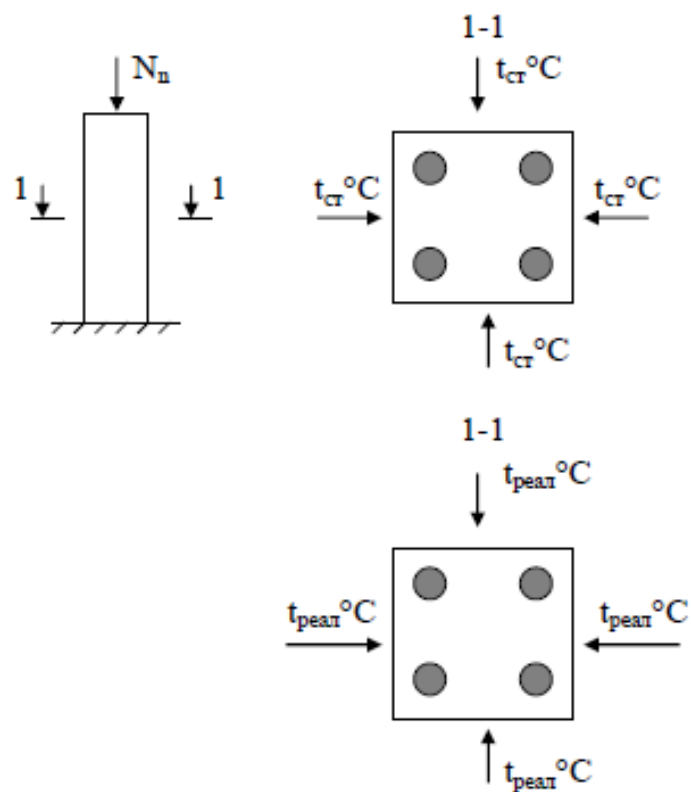
$\tau_{\text{экв}}$ – длительность стандартного пожара, эквивалентная реальному пожару, час.

(параметр, определяющий соответствие стандартного и реального пожаров).

Эквивалентная продолжительность стандартного пожара вызывает у конструкции также предельные состояния, что и реальный пожар.



*СНИЖЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ
В УСЛОВИЯХ СТАНДАРТНОГО И РЕАЛЬНОГО ПОЖАРОВ*



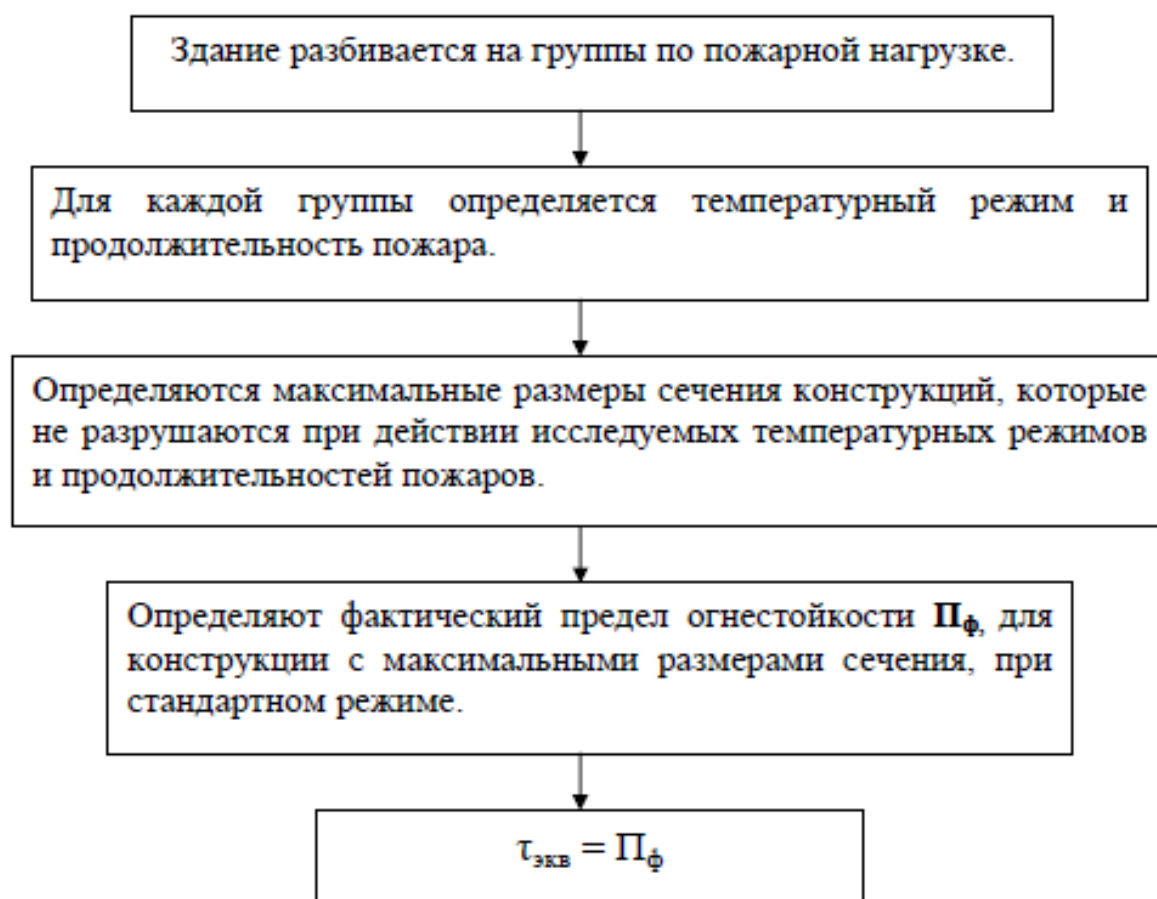
1 – кривая снижения в условиях стандартного пожара.

2 – кривая снижения в условиях реального пожара.

$N_{\text{нес, станд}} = N_{\text{нес, реал}}$, то $\tau_{\text{ст}}$ эквивалентна $\tau_{\text{реал}}$, т.е. $\tau_{\text{ст}} = \tau_{\text{экв}}$.

Продолжительность стандартного пожара ($\tau_{\text{ст}}$) будет эквивалентна продолжительности реального пожара ($\tau_{\text{реал}}$), если воздействие стандартного и реального пожаров на соответствующую строительную конструкцию будет одинаково.

МЕТОДИКА ПРИВЕДЕНИЯ РЕАЛЬНОГО РЕЖИМА ПОЖАРА К СТАНДАРТНОМУ



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ $\Pi_{\text{ТР}}$ С УЧЕТОМ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРА $\tau_{\text{ЭКВ}}$

$$\Pi_{\text{ТР}} = k_0 \cdot \tau_{\text{ЭКВ}}$$