Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра железобетонных и каменных конструкций

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ (ОБЩИЙ КУРС)

Учебное наглядное пособие
по направлению подготовки
08.03.01 Промышленное и гражданское строительство

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020

ISBN 978-5-7264-2795-9

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

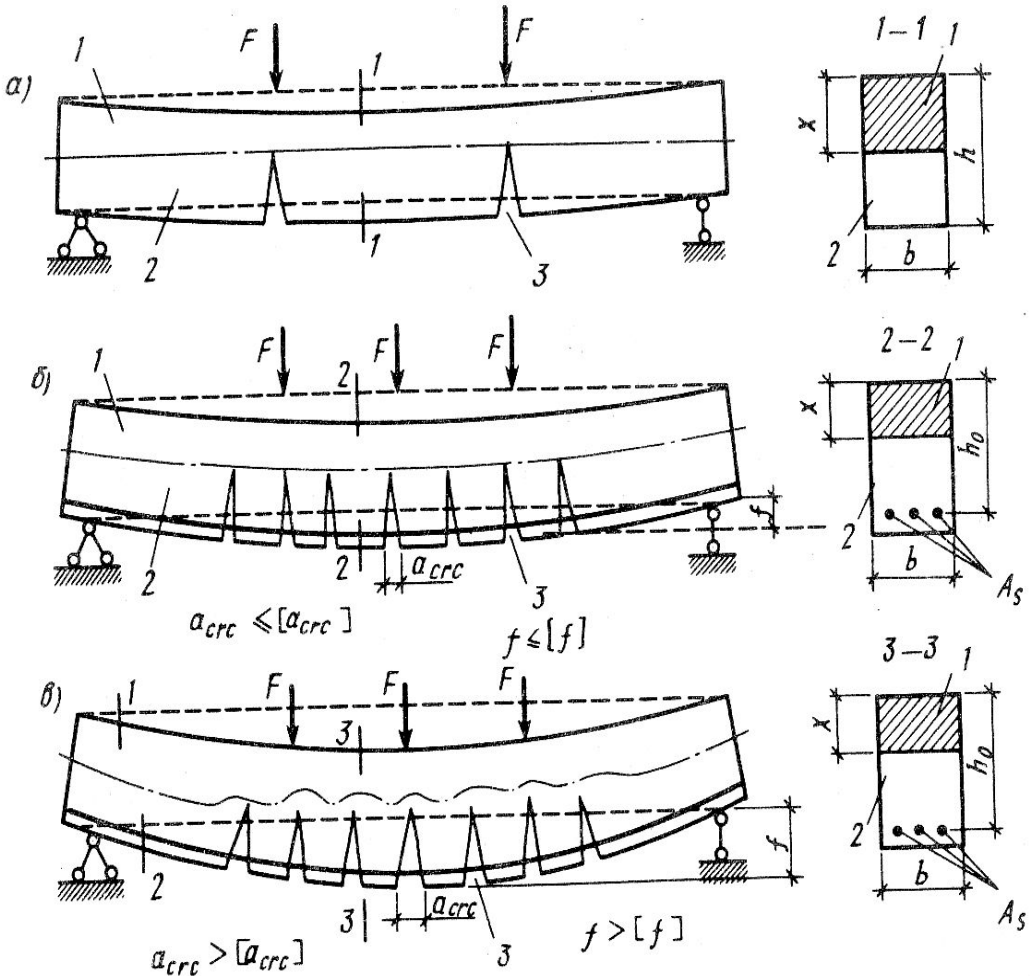
Железобетон — композиционный строительный материал, состоящий из бетона и стальной арматуры, объединенных в одно целое для совместной работы в конструкциях.

Бетон — искусственный каменный материал, для которого характерны значительно меньшая прочность на растяжение, чем на сжатие (в 10…20 раз) и относительно небольшие предельные деформации.

Сталь — материал, обладающий одинаковыми сопротивлениями на сжатие и растяжение, существенно превосходящими сопротивление бетона, и значительно большими предельными деформациями по сравнению с бетоном.

Основная идея железобетона: так расположить арматуру в бетоне, чтобы полностью использовать работу бетона на сжатие и арматуры — на растяжение и, при необходимости, на сжатие.

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций



Поведение изгибаемых бетонного (*а*) и железобетонных (*б, в*) элементов под нагрузкой

Бетонная балка

Несущая способность бетонной балки исчерпывается достижением в растянутой зоне бетона напряжений R_{bt}. При этом напряжения в бетоне сжатой зоны $\sigma_b < R_b$

Железобетонная балка — стадия эксплуатации

Напряжения в бетоне сжатой зоны $\sigma_b < R_b$, напряжения в растянутой арматуре $\sigma_s < R_s$

Железобетонная балка — стадия предельная по несущей способности

Напряжения в бетоне сжатой зоны $\sigma_b = R_b$, напряжения в растянутой арматуре $\sigma_s = R_s$

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

Преимущества железобетона:

1.Прочность и долговечность;
2.Огнестойкость;
3.Стойкость к атмосферным воздействиям;
4.Высокая сопротивляемость статическим и динамическим воздействиям;
5.Малые эксплуатационные расходы;
6.Доступность в исходных материалах по использованию практически во всех регионах страны;
7.Невысокая стоимость.

Недостатки железобетона:

1.Большая плотность;
2.Высокая звуко- и теплопроводность;
3.Трудоемкость переделок и усилений;
4.Необходимость выдержки для приобретения прочности;
5.Низкая трещиностойкость при силовых и не силовых воздействиях

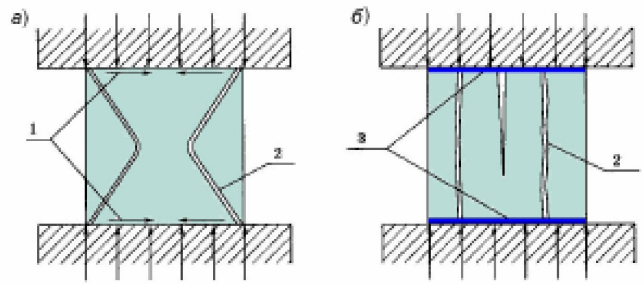
Железобетон еще на долгие годы останется основным строительным материалом.

Это обеспечивается неограниченными ресурсами сырья, невысокой относительной стоимостью, хорошими конструктивными и эксплуатационными свойствами.

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

Кубиковая прочность (*R*) — это временное сопротивление эталонных кубов, размером 150×150×150 мм, при температуре (20±2°С) и влажности 90–100% через 28 дней твердения определяемое по формуле:

$$R = \alpha \cdot \frac{F}{A}$$



Характер разрушения бетонных кубов:

а — при наличии трения по опорным плоскостям; *б* — при отсутствии трения: *1* — силы трения; *2* — трещины; *3* — смазка

Призменная прочность (*Rb*) — это временное сопротивление *Rb* осевому сжатию призмы с отношением высоты призмы *h* к размеру *а* квадратного основания равным 4. Размеры эталонной бетонной призмы — 150×150×600 мм.

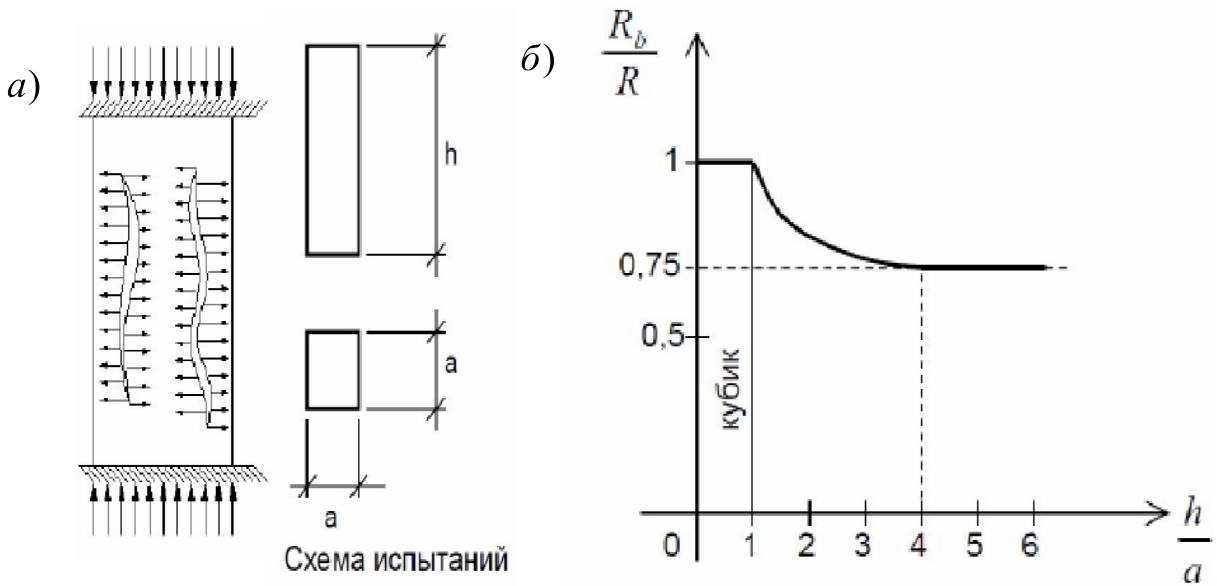


Схема разрушения бетонной призмы (*а*) и график зависимости призменной прочности бетона от отношения размеров испытываемого образца (*б*)

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БЕТОНА

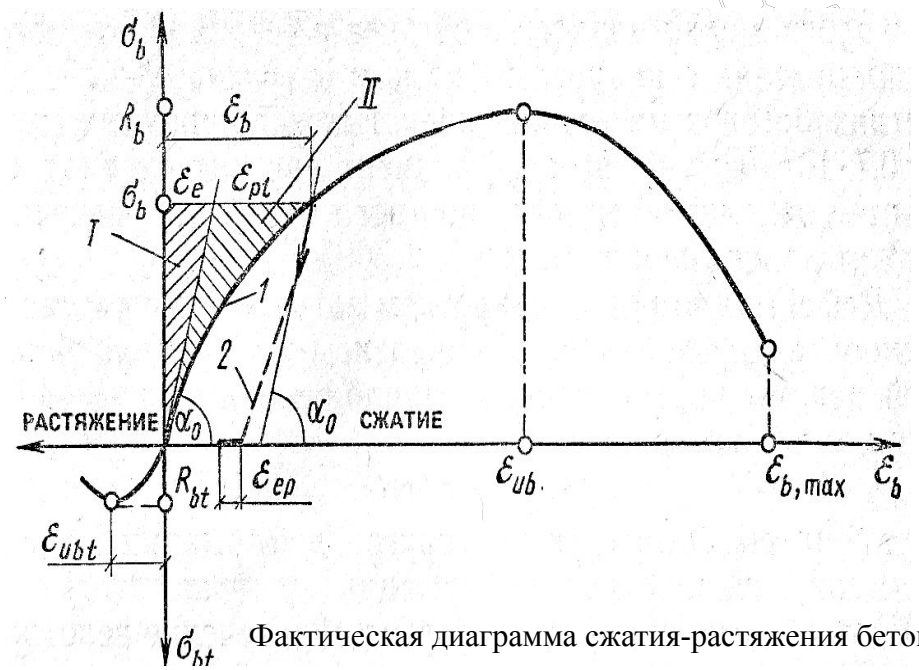
Основные виды деформации:

- **объемные или не силовые деформации** — усадка, температурно-влажностные, которые развиваются во всех направлениях;
- **силовые** — вызванные силовым воздействием на конструкцию, развиваются главным образом в направлении силового воздействия.

При силовом воздействии продольные деформации сопровождаются поперечным расширением.

Начальный коэффициент поперечного расширения бетона (коэффициент Пуассона) соответствует 0,2.

Связь деформационных и прочностных свойств бетона, как и любого материала, отражается на диаграмме состояния



Фактическая диаграмма сжатия-растяжения бетона

Параметры диаграммы деформирования.

Начальный модуль упругости (*Eb*) — это тангенс угла наклона касательной, проведенной к диаграмме из начала координат в точку с напряжением:

Упругопластический модуль деформаций (*Eb, pl*) равен тангенсу угла наклона секущей, проведенной из начала координат в точку с заданным напряжением.

Предельная прочность бетона — максимальные напряжения при сжатии *Rb* и растяжении *Rbt* на диаграммах состояния бетона

Предельные деформации бетона — деформации, соответствующие максимальным напряжениям.

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

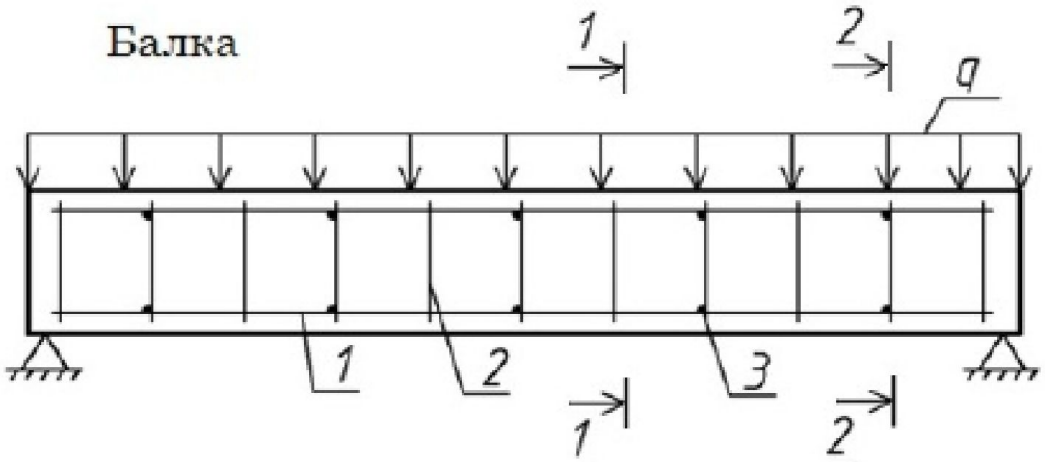
Арматурой называют стержни, размещаемые в бетоне в соответствии с расчетом, конструктивными и производственными требованиями для восприятия растягивающих и при необходимости сжимающих усилий.

По назначению различают:

1. Рабочую арматуру, устанавливаемую по расчету (основная арматура);

2. Конструктивную арматуру — воспринимает не учитываемые расчетом усилия от усадки бетона, изменения температуры, равномерно распределяет усилия между отдельными стержнями и т.д.;

3. Монтажную арматуру — обеспечивает проектное положение арматуры, объединяет ее в каркасы.



Пример армирования балки:
1 — рабочая арматура;
2 — конструктивная арматура; *3* — монтажная арматура

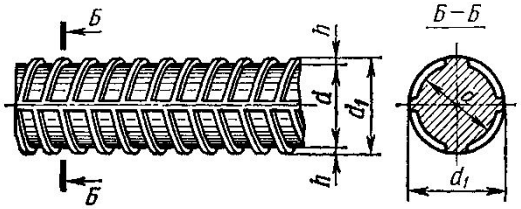
Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

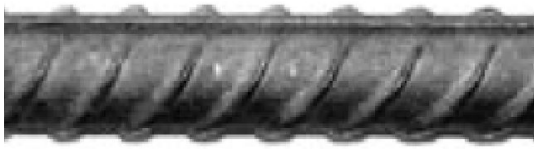
Все арматурные стали разделяют на классы, объединяющие стали с одинаковыми прочностными и деформативными свойствами. При этом к одному классу могут относиться стали, отличающиеся по химическому составу, то есть разных марок.

Горячекатаная арматура

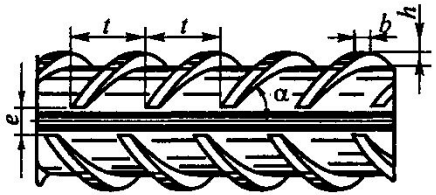
Арматура класса А240 гладкая

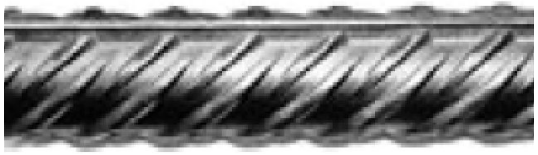
Арматура класса А400; А600; А800; А1000





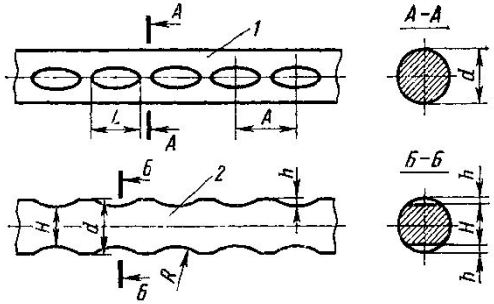
Арматура класса А500 с серповидным профилем





Холоднотянутая проволочная арматура

В500; Вр1200…Вр1500

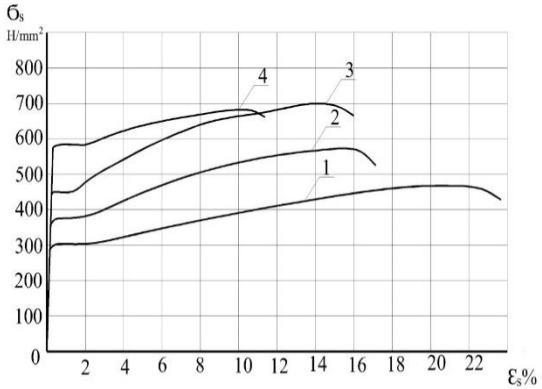


Канаты

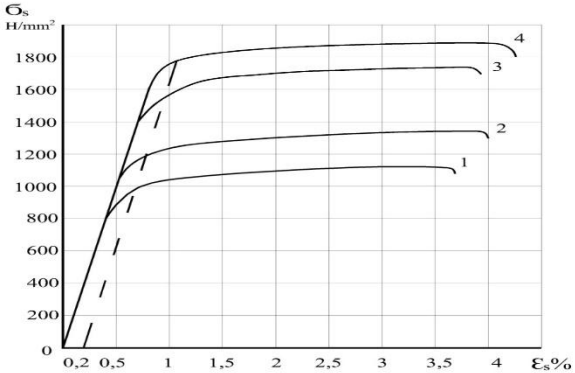
К1400; К1500; К1600; К1700

Сущность железобетона и физико-механические свойства материалов железобетонных конструкций

Характеристики прочности и деформаций арматурных сталей устанавливают по диаграмме σ_s–ε_s, полученной при испытании образцов на растяжение.

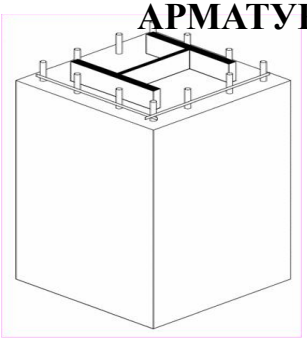


Диаграммы растяжения арматурной стали с физическим пределом текучести
1 — А240; *2* — А300; *3* — А400; *4* — А500



Диаграммы растяжения арматурной стали с условным пределом текучести
1 — А1000; *2* — А1200; *3* — Вр1600; *4* — К1700

ЖЕСТКАЯ АРМАТУРА

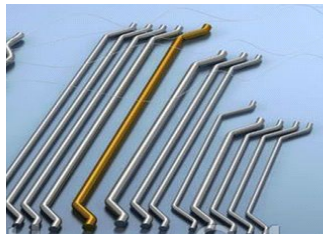


Стальные профили: уголки; двутавры; швеллера

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА

Стеклопластиковая арматура

СТАЛЬНАЯ ФИБРА

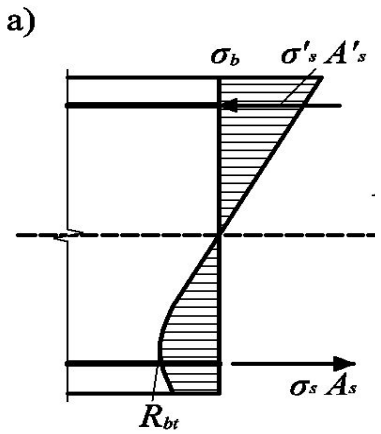


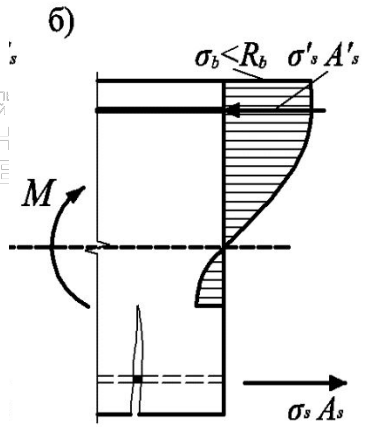
Метод расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям

Опыты с различными железобетонными элементами, которые имеют двузначную эпюру напряжений (изгибаемые, внецентренно-растянутые, внецентренно-сжатые) показали, что при постоянном увеличении нагрузки наблюдаются три стадии напряженно-деформированного состояния нормальных сечений.

Стадия I
(до появления трещин в бетоне растянутой зоны)

Стадия II
(после появления трещин в бетоне растянутой зоны)





Стадия I положена в основу расчета элементов без трещин

Стадия II — стадия эксплуатации, положена в основу расчета элементов с трещинами

Стадии напряженно-деформированного состояния нормальных сечений: стадии I, II

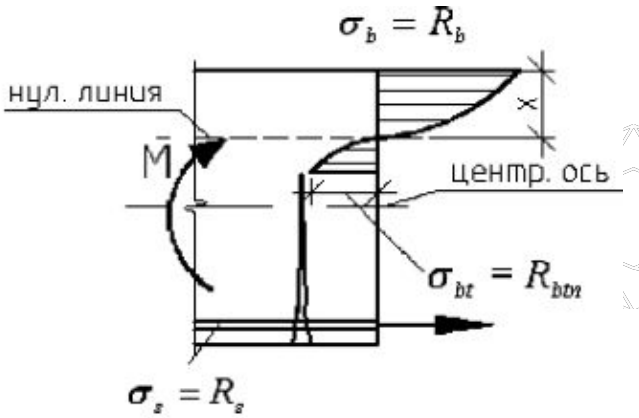
Метод расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям

Стадия III — предельная по несущей способности

Стадия III положена в основу расчета прочности (несущей способности) нормальных сечений элементов.

Случай 1 (пластическое разрушение)

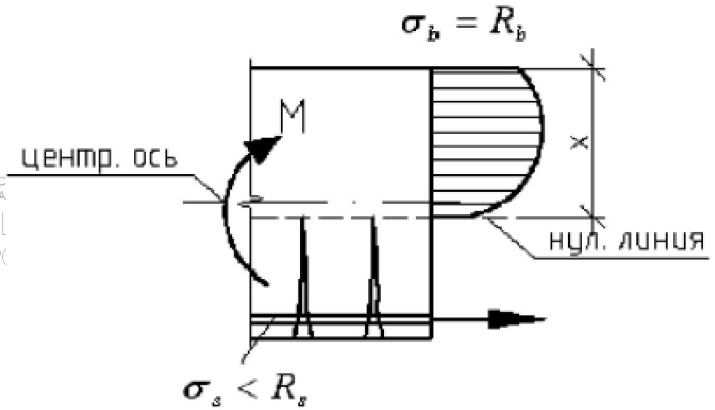
Разрушение железобетонного элемента начинается по арматуре растянутой зоны и заканчивается раздроблением бетона сжатой зоны.



$$\xi = \frac{x}{h_0} \le \xi_R = \frac{x_R}{h_0}$$

Случай 2 (хрупкое разрушение)

Разрушение железобетонного элемента происходит из-за раздробления бетона сжатой зоны.



$$\xi = \frac{x}{h_0} \ge \xi_R = \frac{x_R}{h_0}$$

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Метод расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям

Предельное состояние конструкции — это состояние, при котором конструкция теряет способность сопротивляться внешним воздействиям или перестает соответствовать предъявляемым эксплуатационным требованиям.

Две группы предельных состояний:

Первая группа — по несущей способности.

Расчет по предельным состояниям первой группы выполняют, чтобы предотвратить:

– разрушение;

– потерю устойчивости формы конструкции или ее положения (опрокидывание, скольжение подпорных стенок);

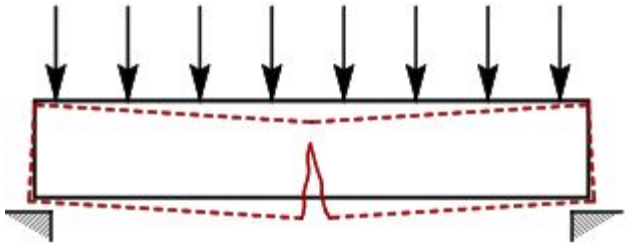
– усталостное разрушение от совместного воздействия силовых факторов и воздействий внешней среды.

В общем виде условие прочности записывается:

$$F \le F_{ult}(S, R_b, R_s, \gamma_b, \gamma_{bi}, \gamma_s, \gamma_{si}, \gamma_k),$$

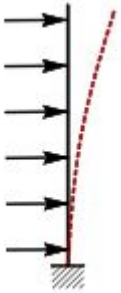
где F — максимальное расчетное усилие в рассматриваемом сечении от внешних нагрузок, $Fult$ — минимальная несущая способность рассматриваемого сечения с учетом геометрии сечения S, сопротивления бетона Rb и арматуры Rs, коэффициентов безопасности, условий работы и ответственности объекта γ.

Потеря прочности

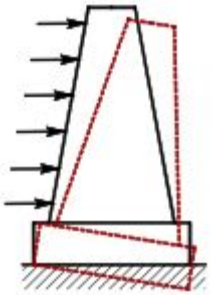


Потеря устойчивости:

формы



положения



Предельные состояния первой группы

Основные положения расчета сечений по предельным усилиям

Усилия, воспринимаемые нормальным сечением, определяются по расчетным сопротивлениям материалов с учетом коэффициентов условия работы исходя из следующих предпосылок:

- сопротивления бетона растяжению принимаются равными 0;
- сопротивление бетона сжатию равно R_b и равномерно распределено по сечению;
- деформации (напряжения) в арматуре определяются в зависимости от высоты сжатой зоны бетона;
- напряжения в растянутой арматуре принимаются не более R_S;
- напряжения в сжатой арматуре принимаются не более R_{SC}.

Условия прочности по нормальным сечениям выражаются неравенствами:

- для изгибаемых элементов $M < M_{per}$;
- для внецентренно сжатых (растянутых) $M < M_{per}$, где $M = Ne$; $N < N_{per}$.

Условия прочности по наклонным сечениям выражаются неравенствами:

- прочность по сжатой бетонной полосе между наклонными трещинами $Q < f_{b1} R_b b h_0$;
- прочность наклонного сечения при действии поперечных сил $Q < Q_b + Q_{sw}$;
- прочность наклонного сечения при действии момента $M < M_s + M_{sw}$.

Метод расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям

Вторая группа предельных состояний

Расчеты производятся, чтобы предотвратить:

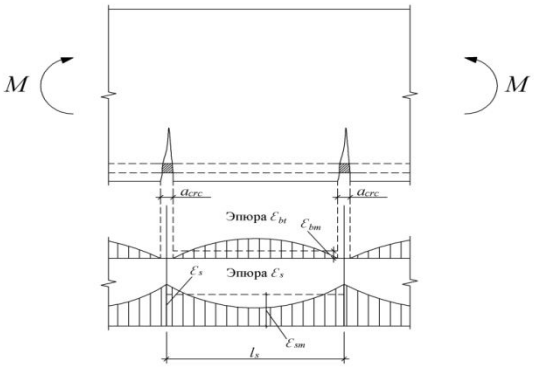
- образование и чрезмерное раскрытие трещин;
- чрезмерные перемещения: прогибы, углы поворота, амплитуды колебаний.

Трещиностойкость ЖБК — способность сопротивляться образованию трещин в I стадии НДС и сопротивляться раскрытию трещин во II стадии НДС.

Условие образования трещин в нормальных сечениях:

$$M \geq M_{crc}$$

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Ширина раскрытия трещин определяется согласно схеме по формуле:

$$a_{crc,i} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s$$

Граничные условия для ширины раскрытия трещин:

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult} = (0,1 \div 0,4)$$

Расчет железобетонных элементов по прогибам производят из условия:

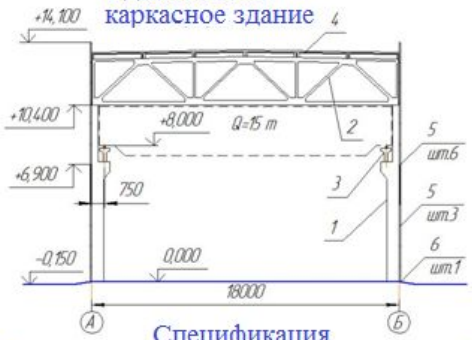
$$f \leq f_{ult},$$

где f — прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки;

f_{ult} — значение предельно допустимого прогиба железобетонного элемента.

Подбор железобетонных конструкций многоэтажных и одноэтажных каркасных зданий по строительному каталогу

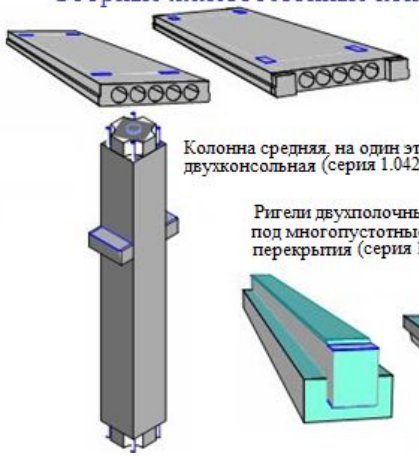
Одноэтажное каркасное здание



Спецификация сборных железобетонных конструкций

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, т	Примечание
1	СК-3, серия 1.424	К104	44	7,6	
2	СК-3, серия 1.463	ФСП18	22	7,5	
3	СК-3, серия 1.426	БК6	40	3,5	
4	СК-3, серия 1.465	ПГ6	120	2,68	
5	СК-3, серия 4.32	ПК60.12.1	360	1,78	
6	СК-3, серия 4.32	ПК60.9.1	40	1,33	

Сборные железобетонные конструкции



Рядовая и связевая многопустотные железобетонные плиты перекрытия (серия 1.041:1)

Колонна средняя, на один этаж, двухконсольная (серия 1.042-1)

Ригели двухполочный и однополочный под многопустотные (ребристые) плиты перекрытия (серия 1.042-1)

Строительные каталоги

- Российский строительный каталог
  СК-3. Строительные конструкции и изделия
- Территориальные строительные каталоги
  МТСК. Московский территориальный строительный каталог
- Каталоги предприятий строительной индустрии

Марка сборных железобетонных конструкций (по ГОСТ 23009)

Т.Р.Р.Р.-НАВ-ДД

Т – тип конструкций;
Р.Р.Р – габаритные размеры;
Н – несущая способность;
А – класс напрягаемой арматуры;
В – вид бетона;
ДД – дополнительные сведения.

Многоэтажное каркасное здание

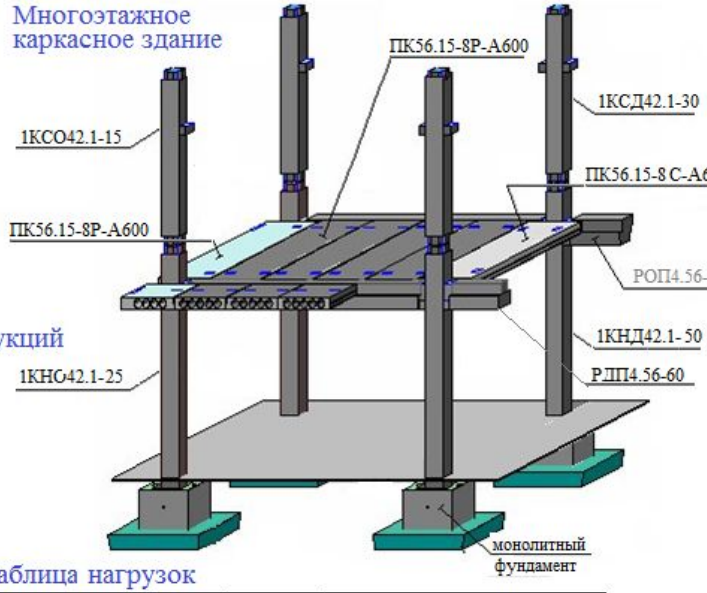
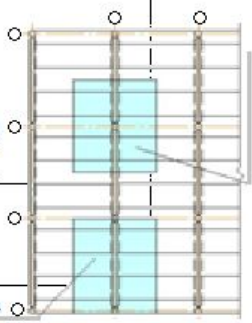


Таблица нагрузок

Наименование и значение нагрузки, кН/м²	γ_n	γ_f	Расчетное значение нагрузки, кН/м²
1. Постоянная нагрузка (P_d):	1,0		
кровля – 1,2		1,25	1,50
пол – 0,76		1,25	0,95
многопустотная железобетонная плита – 2,8		1,1	3,08
железобетонный ригель РДП – 4,25 кН/м		1,1	4,68 кН/м
колонна (в пределах этажа)- 16,8 кН		1,1	18,15 кН
2. Временная нагрузка P_t:			
на перекрытие (офис) –2,0		1,2	2,40
на покрытие (III-снег. район) –1,5		1,4	2,1



грузовая полоса для ригеля

Армирование железобетонных конструкций

Изделия для армирования железобетонных конструкций

Арматурные изделия

- Отдельные стержни ОС
- Детали Д
- Напрягаемые стержни НС
- Стандартные и нестандартные сетки С
- Плоские и пространственные каркасы К

Закладные детали ЗД

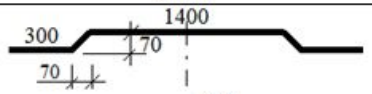
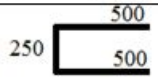
Фиксаторы арматуры и ЗД

- Растворные (бетонные)
- Пластмассовые
- Стальные

Приспособление для монтажа сборных железобетонных элементов

- Монтажные петли П
- Монтажные отверстия

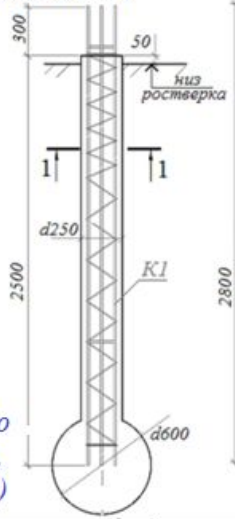
Ведомость деталей для плиты перекрытия

Поз.	Эскиз
1	
2	

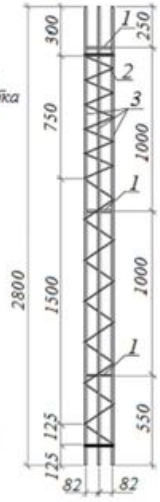
Состав чертежей армирования железобетонных конструкций ГОСТ Р 21.1101-2013, ГОСТ 21.501-2018

- Схема армирования конструктивного элемента здания (плиты перекрытия, фундаментной плиты, колонны и т.д.)
- Узлы армирования, обозначенные на схеме
- Арматурные изделия
- Спецификации и ведомости

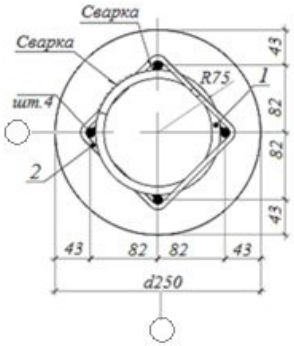
Схема армирования сваи БНС1



Каркас К1



Узел армирования 1 - 1



Ведомость материалов для сваи БНС1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Приме-чание
		Свая БНС1	10		
		Детали			
1	ГОСТ 34028-2016	Хомут 10-А240 *l*=550	4	0,34	
2	ГОСТ Р 52544-2006	Спираль 5-В500С *l*=7000	1	10,78	
		Стержни			
3	ГОСТ Р 52544-2006	12-А500С *l*=2780	4	9,87	
		Материалы			
	ГОСТ 7473-2010	БСТ15П4F150W6		0,11	$м^3$