

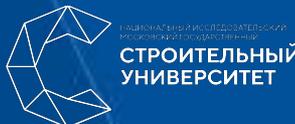
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра железобетонных и каменных конструкций

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

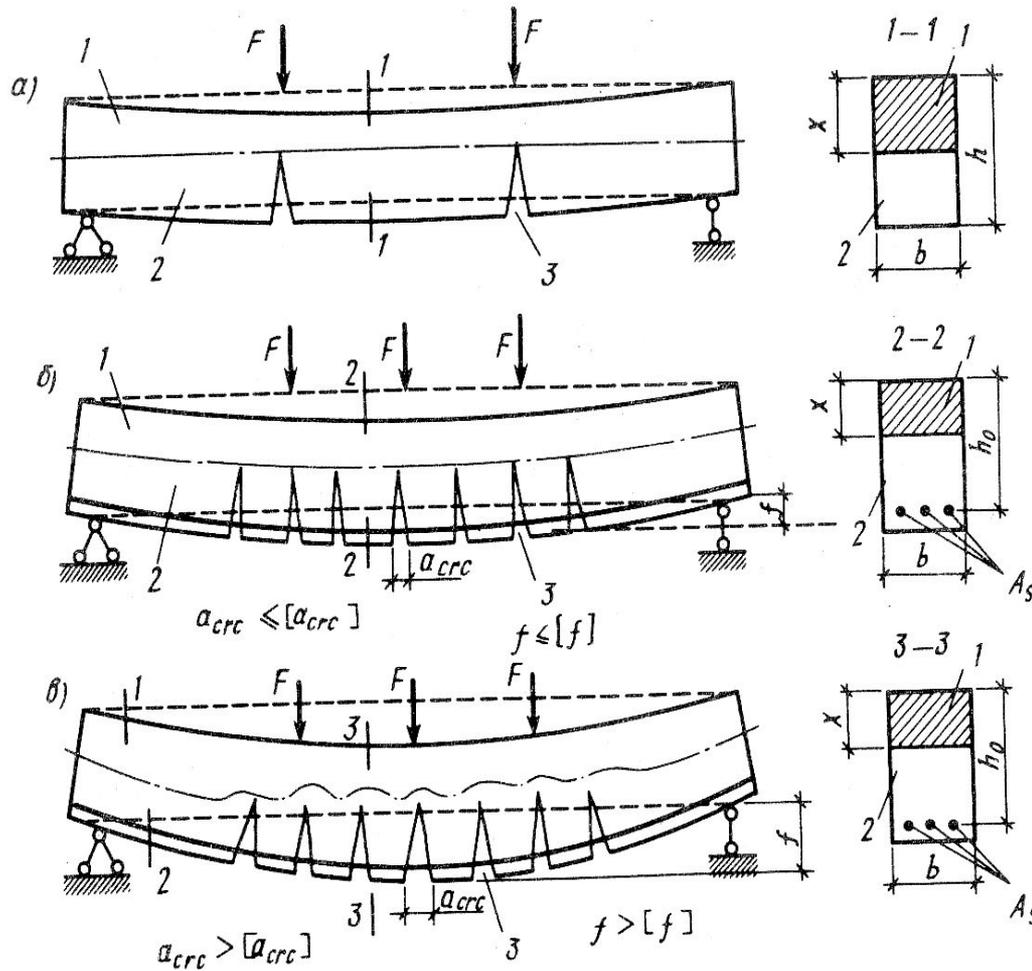


Железобетон — композиционный строительный материал, состоящий из бетона и стальной арматуры, объединенных в одно целое для совместной работы в конструкциях.

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.



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 $\sigma_s = R_s$

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

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

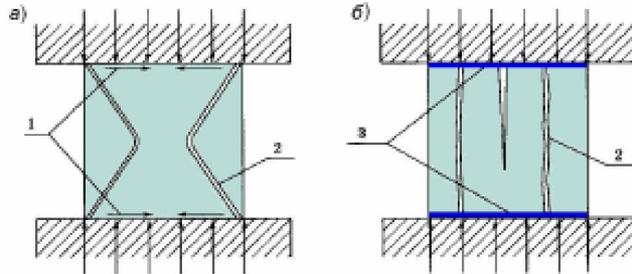


Железобетон еще на долгие годы останется основным строительным материалом.

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

Кубиковая прочность (R) — это временное сопротивление эталонных кубов, размером $150 \times 150 \times 150$ мм, при температуре $(20 \pm 2^\circ\text{C})$ и влажности 90–100% через 28 дней твердения определяемое по формуле:

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



Характер разрушения бетонных кубов:

a — при наличии трения по опорным плоскостям; b — при отсутствии трения:
1 — силы трения; 2 — трещины; 3 — смазка

Призменная прочность (R_b) — это временное сопротивление R_b осевому сжатию призмы с отношением высоты призмы h к размеру a квадратного основания равным 4. Размеры эталонной бетонной призмы — $150 \times 150 \times 600$ мм.

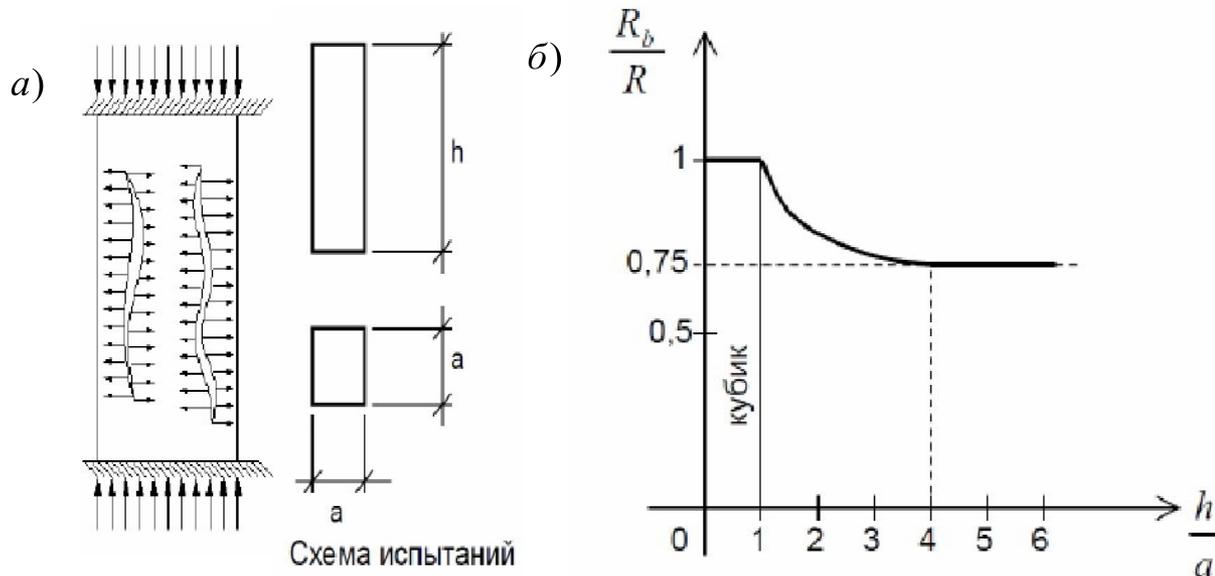


Схема разрушения бетонной призмы (а) и график зависимости призменной прочности бетона от отношения размеров испытываемого образца (б)

ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БЕТОНА

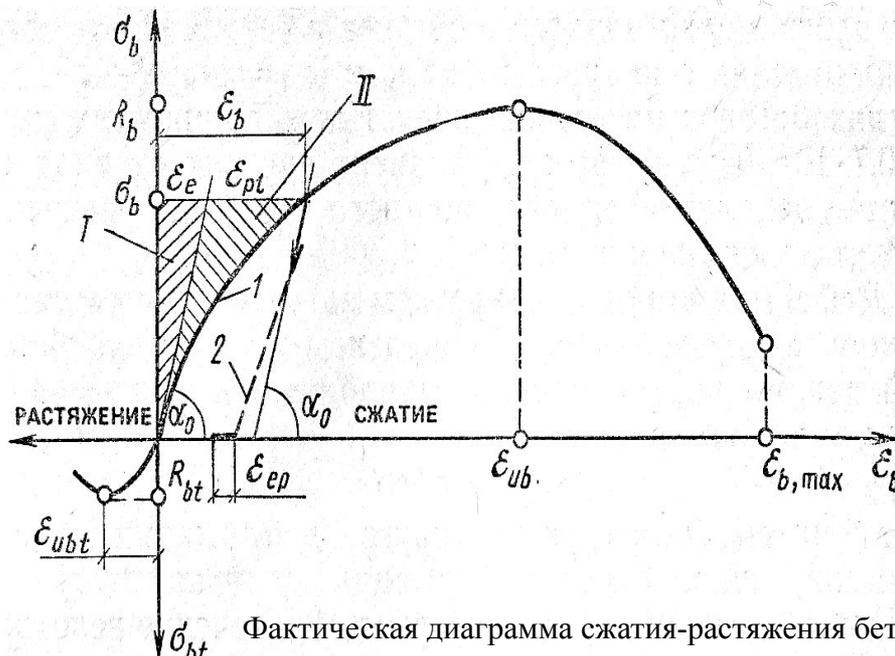
Основные виды деформации:

- **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



Параметры диаграммы деформирования.

Начальный модуль упругости (E_b) — это

тангенс угла наклона касательной, проведенной к диаграмме из начала координат в точку с напряжением:

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

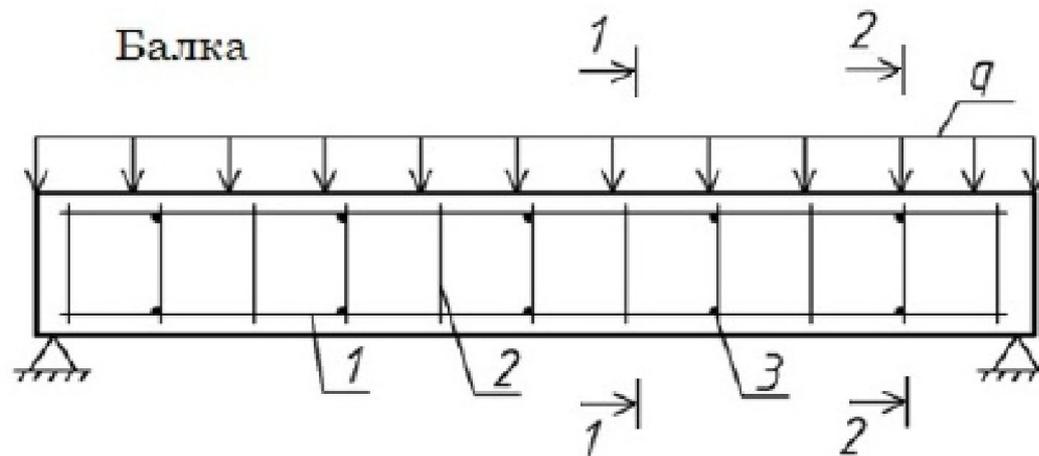
Предельная прочность бетона — максимальные напряжения при сжатии R_b и растяжении R_{bt} на диаграммах состояния бетона

Предельные деформации бетона — деформации, соответствующие максимальным напряжениям.

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:

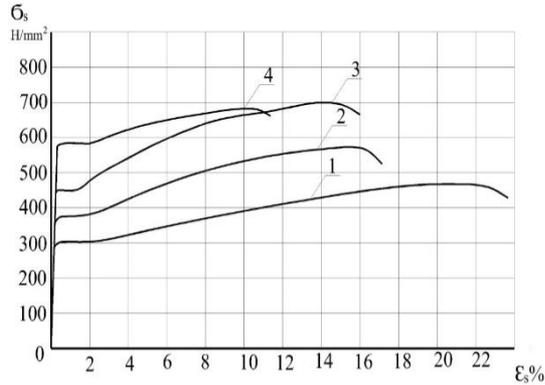
1. Рабочую арматуру, устанавливаемую по расчету (основная арматура);
2. Конструктивную арматуру — воспринимает не учитываемые расчетом усилия от усадки бетона, изменения температуры, равномерно распределяет усилия между отдельными стержнями и т.д.;
3. Монтажную арматуру — обеспечивает проектное положение арматуры, объединяет ее в каркасы.



Пример армирования балки:

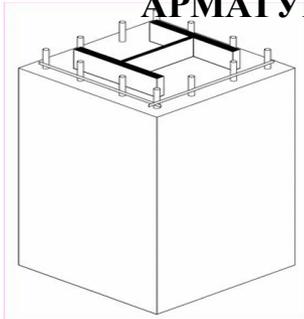
- 1 — рабочая арматура;
2 — конструктивная арматура; 3 — монтажная арматура

Характеристики прочности и деформаций арматурных сталей устанавливаются по диаграмме $\sigma_s - \epsilon_s$, полученной при испытании образцов на растяжение.

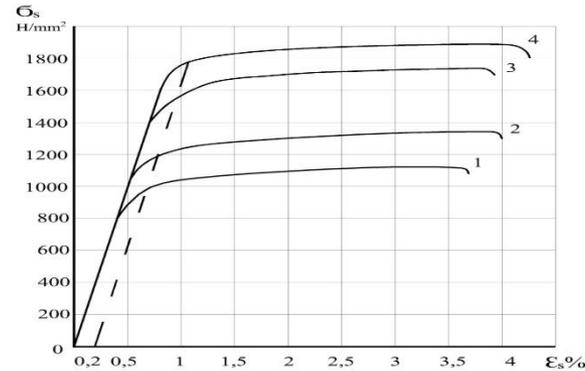


Диаграммы растяжения арматурной стали с физическим пределом текучести
1 — A240; 2 — A300; 3 — A400;
4 — A500

ЖЕСТКАЯ АРМАТУРА



Стальные профили:
уголки;
двутавры;
швеллера



Диаграммы растяжения арматурной стали с условным пределом текучести
1 — A1000; 2 — A1200; 3 — Bp1600;
4 — K1700

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА

Стеклопластиковая арматура



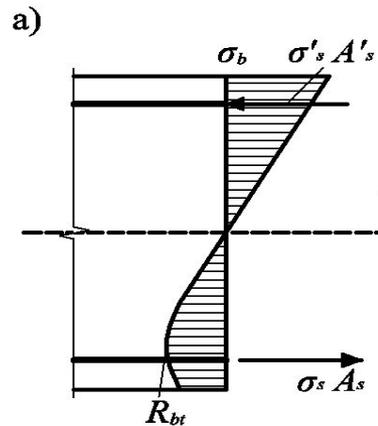
СТАЛЬНАЯ ФИБРА



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)

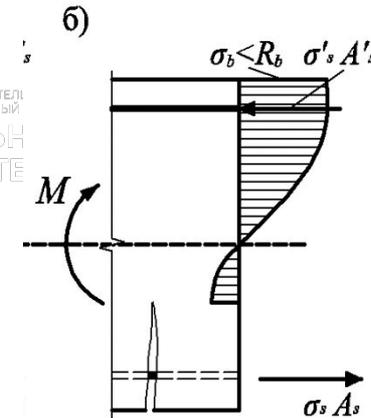


Стадия II

(после появления трещин в бетоне растянутой зоны)



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Стадия I положена в основу расчета элементов без трещин

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

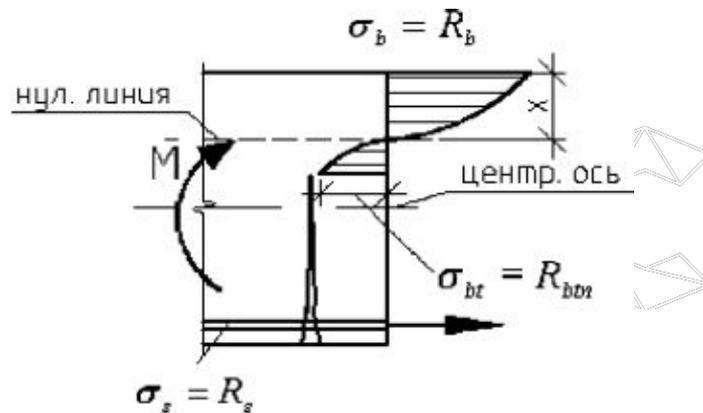
Стадии напряженно-деформированного состояния нормальных сечений: стадии I, II

Стадия III — предельная по несущей способности

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

Случай 1 (пластическое разрушение)

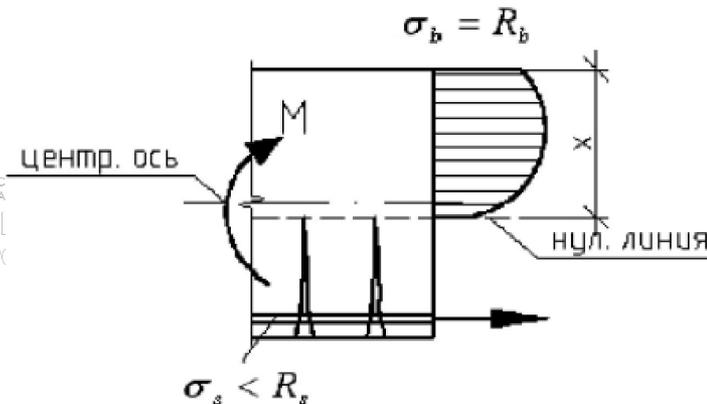
Разрушение железобетонного элемента начинается по арматуре растянутой зоны и заканчивается раздроблением бетона сжатой зоны.



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

Случай 2 (хрупкое разрушение)

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



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

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.

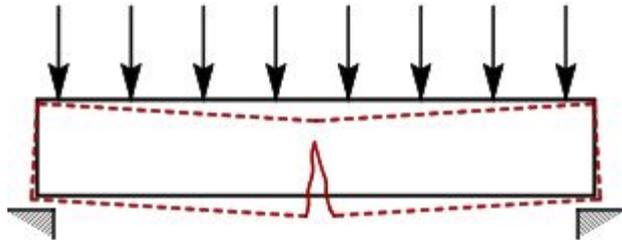
В общем виде условие прочности записывается:

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

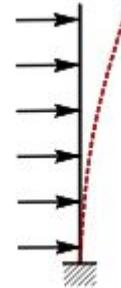
где F — максимальное расчетное усилие в рассматриваемом сечении от внешних нагрузок, F_{ult} — минимальная несущая способность рассматриваемого сечения с учетом геометрии сечения S , сопротивления бетона R_b и арматуры R_s , коэффициентов безопасности, условий работы и ответственности объекта γ .

Потеря устойчивости:

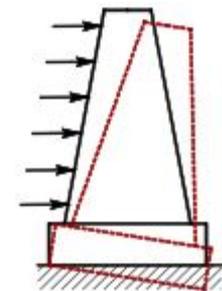
Потеря прочности



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

$$Q < f_{bl} R_b b h_0;$$

- прочность наклонного сечения при действии поперечных сил

$$Q < Q_b + Q_{sw};$$

- прочность наклонного сечения при действии момента

$$M < M_s + M_{sw}.$$

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:

$$M \geq M_{crc}$$

Ширина раскрытия трещин определяется согласно схеме по формуле:

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

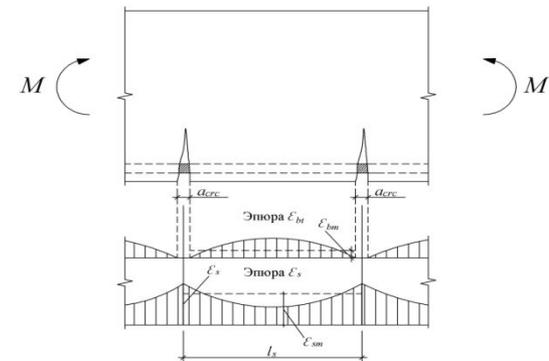
Граничные условия для ширины раскрытия трещин:

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

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.



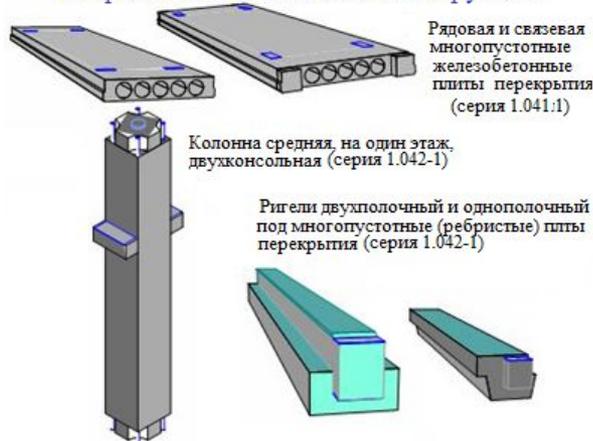
Подбор железобетонных конструкций многоэтажных и одноэтажных каркасных зданий по строительному каталогу



Спецификация сборных железобетонных конструкций

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса/Прочность
1	СК-3, серия 1424	К104	44	76
2	СК-3, серия 1463	ФСП178	22	75
3	СК-3, серия 1426	БК6	40	35
4	СК-3, серия 1465	ПГ6	120	269
5	СК-3, серия 432	ПК60.12.1	360	178
6	СК-3, серия 432	ПК60.9.1	40	133

Сборные железобетонные конструкции



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

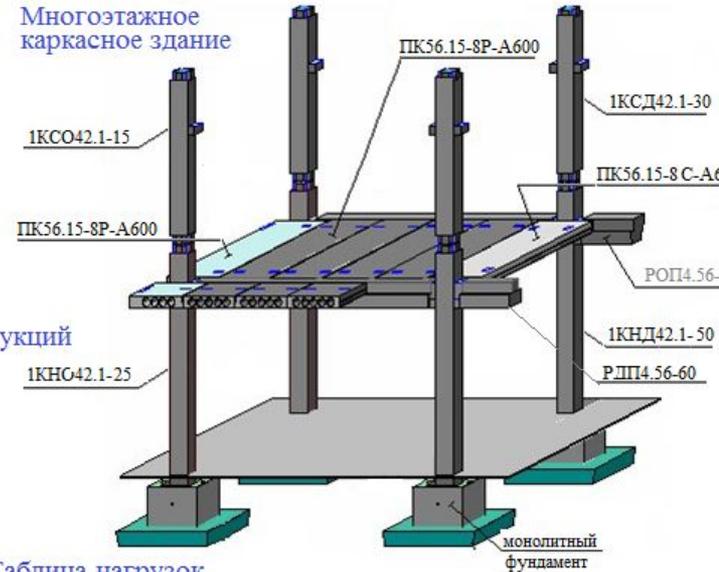
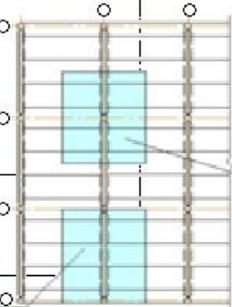


Таблица нагрузок

Наименование и значение нагрузки, кН/м ²	γ_n	γ_f	Расчетное значение нагрузки, кН/м ²
1. Постоянная нагрузка (P_d):			
кровля – 1,2		1,25	1,50
пол – 0,76		1,25	0,95
многopустотная железобетонная плита – 2,8		1,1	3,08
железобетонный ригель РДП – 4,25 кН/м	1,0	1,1	4,68 кН/м
колонна (в пределах этажа) – 16,8 кН		1,1	18,15 кН
2. Временная нагрузка P_s:			
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

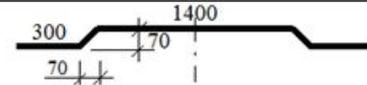
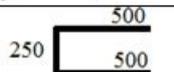
Фиксаторы арматуры и ЗД

- Растворные (бетонные)
- Пластмассовые
- Стальные

Приспособление для монтажа сборных железобетонных элементов

- Монтажные петли П
- Монтажные отверстия

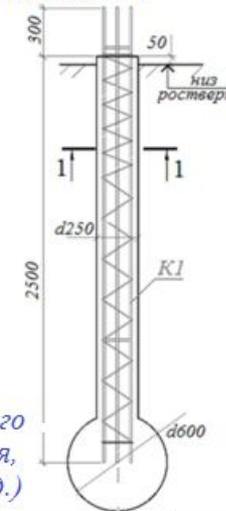
Ведомость деталей для плиты перекрытия

Пос.	Эскиз
1	
2	

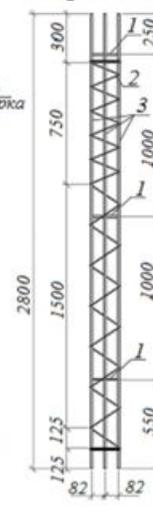
Состав чертежей армирования железобетонных конструкций ГОСТ Р 21.1101-2013, ГОСТ 21.501-2018

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

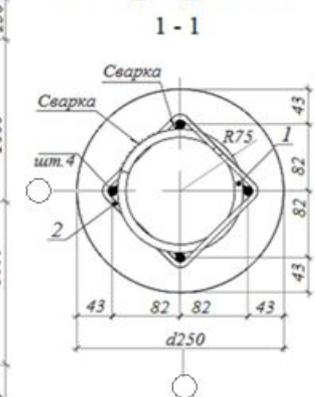
Схема армирования сваи БНС1



Каркас К1



Узел армирования



Ведомость материалов для сваи БНС1

Пос.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Примечание
		<u>Свая БНС1</u>	10		
		<u>Детали</u>			
1	ГОСТ 34028-2016	Хомут 10-A240 l=550	4	0,34	
2	ГОСТ Р 52544-2006	Спираль 5-B500С l=7000	1	10,78	
		<u>Стержни</u>			
3	ГОСТ Р 52544-2006	12-A500С l=2780	4	9,87	
		<u>Материалы</u>			
	ГОСТ 7473-2010	БСТ15П4F150W6		0,11	м ³