

Направление подготовки / специальность 08.03.01
Профиль образовательной программы Промышленное и гражданское строительство
Наименование дисциплины Железобетонные и каменные конструкции

Железобетонные и каменные конструкции (курс лекций по дисциплине)



Национальный исследовательский
университет
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Москва 2020

Кафедра/Структурное подразделение ЖБК
Составитель(и): Малахова А.Н.

Направление подготовки / специальность 08.03.01
Профиль образовательной программы Промышленное и гражданское строительство
Наименование дисциплины Железобетонные и каменные конструкции

Лекция 1, Лекция 2
Раздел 1. Основные понятия, общие сведения, физико-механические свойства материалов бетонных и железобетонных конструкций

Кафедра/Структурное подразделение ЖБК
Составитель(и): Малахова А.Н.
По материалу учебного пособия : Малахова А.Н.
Проектирование железобетонных и каменных конструкций (включая расчет в ПК ЛИРА). – М., АСВ, 2018, 284с.



Национальный исследовательский
университет
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Москва 2021

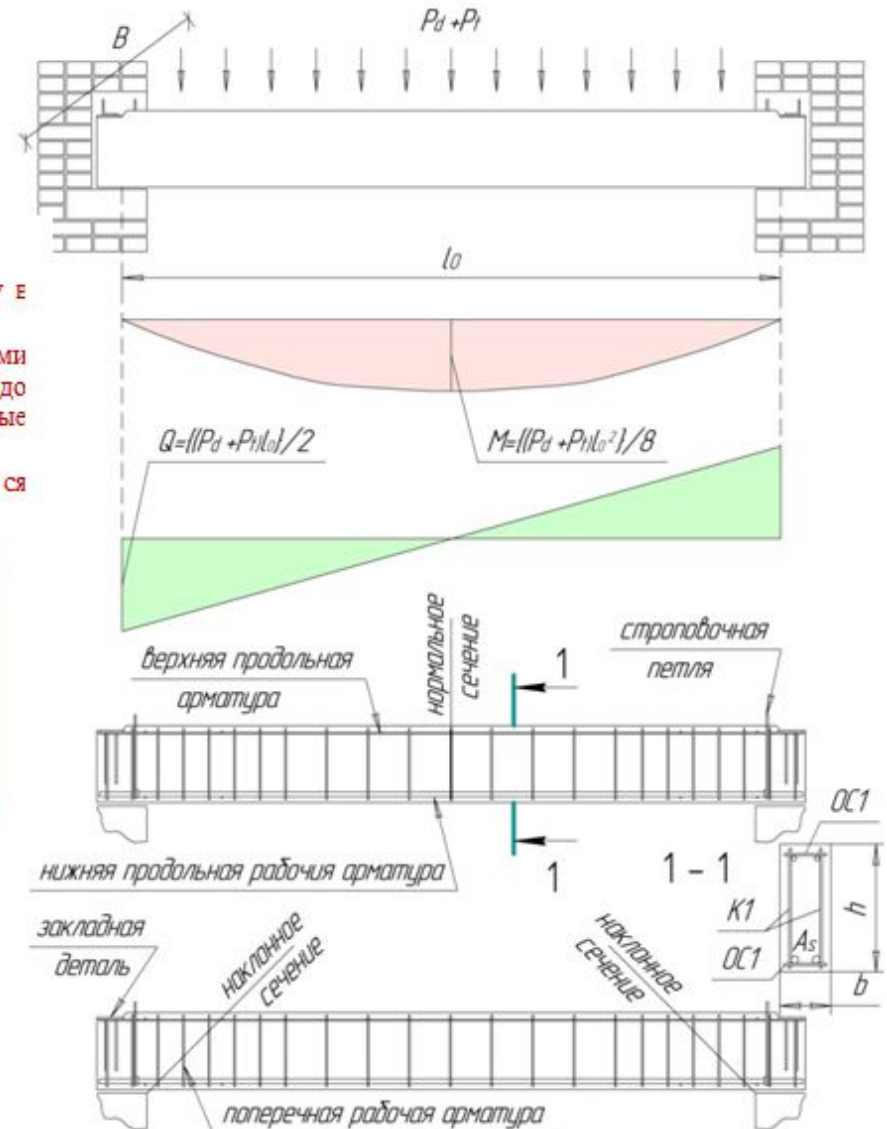
Основные понятия и общие сведения о железобетонных конструкциях

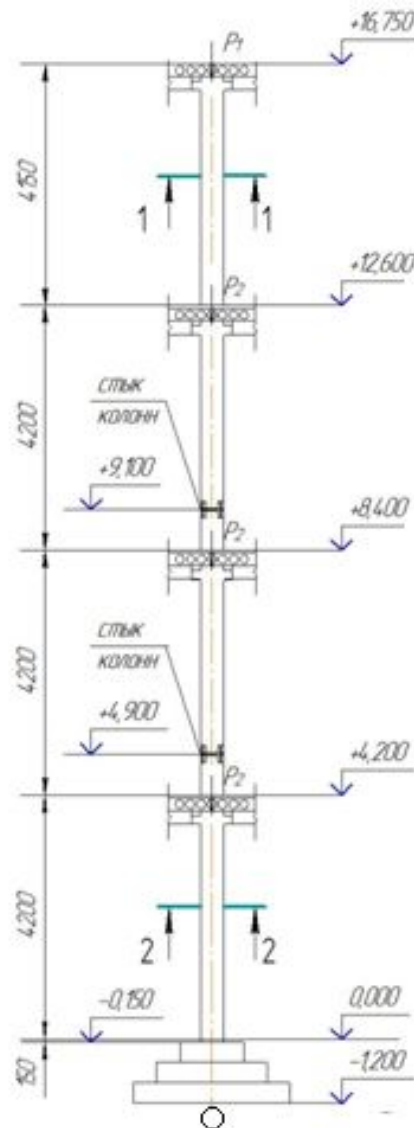
Железобетоном называется комплексный строительный материал, состоящий из бетона и стали, объединенные для совместной работы

Объединение материалов возможно, так как

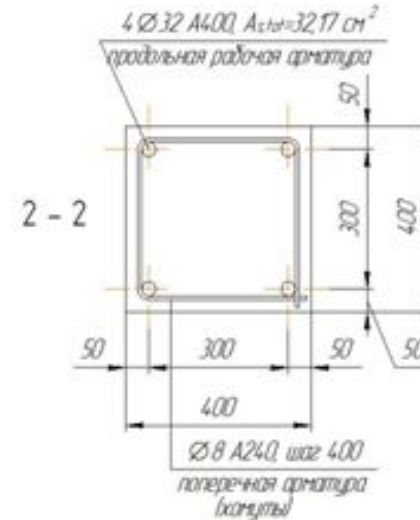
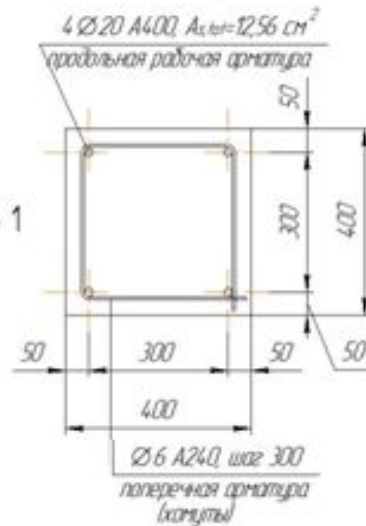
бетон при твердении прочно сцепляется с арматурой, поэтому в конструкциях оба материала деформируются совместно; сталь и бетон обладают близкими по величине коэффициентами линейного расширения, поэтому при изменении температуры (до 100°C) в железобетоне возникают очень небольшие начальные напряжения; защищенная бетоном арматура практически не подвергается коррозии.

Идея образования железобетона из двух различных по своим механическим характеристикам материалов заключается в том, что бетон используется для работы на сжатие, а сталь на растяжение. Железобетон способен воспринимать сжимающие и растягивающие усилия.





Центрально сжатая железобетонная колонна



Прочностные характеристики материалов: бетон класса B25 - $R_b=14,5 \text{ МПа}$
арматура класса A400 $R_s=350 \text{ МПа}$. Небольшое содержание арматуры может существенно изменить несущую способность колонны

Мера содержания арматуры в бетоне. Содержание арматуры в железобетонных конструкциях оценивается посредством коэффициента (процента) армирования μ_s ($\mu_s\%$), Процент армирования колонн составляет:

$$\mu_s, \% = \frac{A_{s,л}}{A} \times 100 = \frac{12,56}{40 \times 40} \times 100 = 0,79\% \text{ ; для верхней колонны}$$

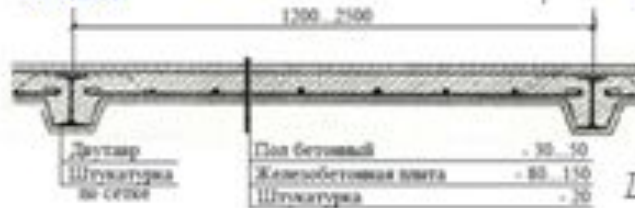
$$\mu_s, \% = \frac{A_{s,л}}{A} \times 100 = \frac{32,17}{40 \times 40} \times 100 = 2,01\% \text{ для нижней колонны}$$

История развития железобетонных конструкций

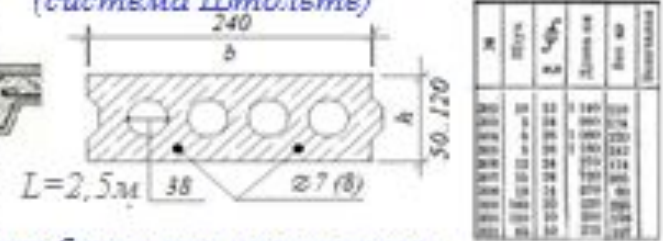
Сводчатое перекрытие
Генрика



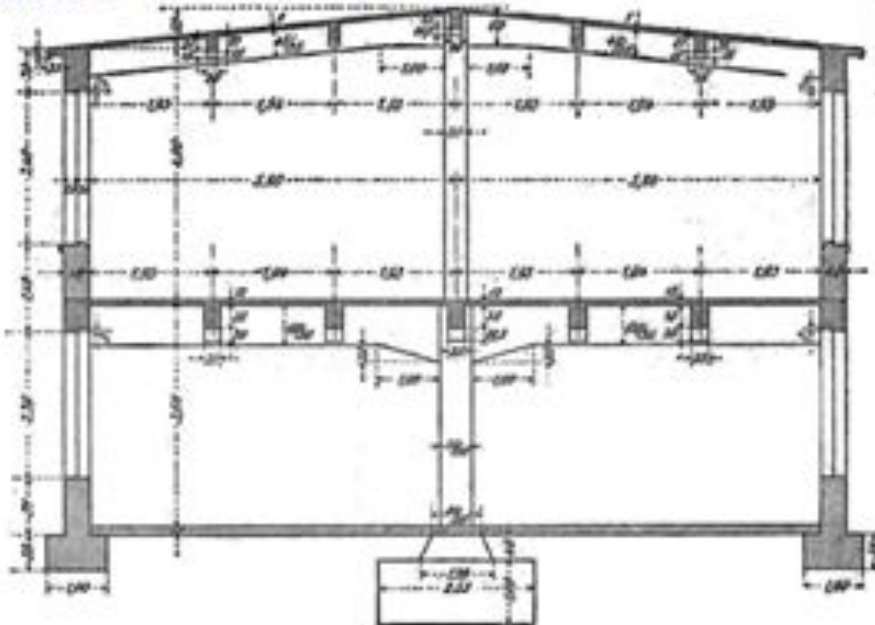
Плоское перекрытие системы
Монье



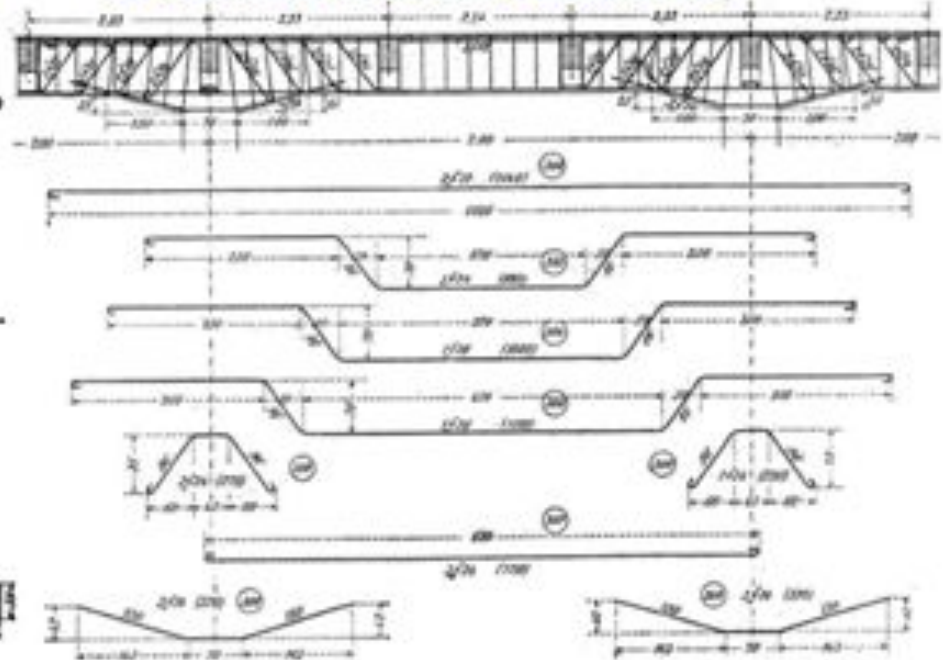
Цементная доска с каналами
(система Штольте)



Балочное перекрытие фабричного здания 20-е годы
XX века



Армирование балочного перекрытия



Недостатками являются: большая плотность, высокая тепло- и звукопроводность, возможность появления трещин вследствие усадки и силовых воздействий, трудности утилизации.

Многоэтажное каркасное здание в сборном железобетоне



избежать сезонности строительных работ; что важно для климатических условий России;
получать качественные (надежные) бетонные и железобетонные конструкции, обладающие большей прочностью (за счет использования высокопрочных материалов), высокой трещиностойкостью и жесткостью (за счет широкого применения предварительного напряжения арматуры);
уменьшить трудоемкость работ на строительной площадке и, следовательно, сроков возведения зданий и сооружений;
создать общероссийский и региональные строительные каталоги, в том числе, железобетонных (бетонных) конструкций и изделий.

К основным достоинствам железобетонных конструкций можно отнести: высокую прочность, долговечность, огнестойкость, стойкость против атмосферных воздействий, возможность использования местных строительных материалов, простоту формообразования, небольшие эксплуатационные расходы.

Монолитное многоэтажное железобетонное здание



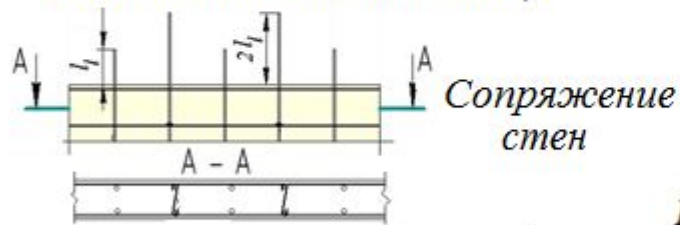
Монолитный железобетон применяется для сооружений, трудно поддающихся членению, например: плавательные бассейны, фундаментные плиты; в зданиях и сооружениях, отличающихся нестандартностью и малой повторяемостью отдельных частей или строящихся в сейсмических районах.

Сопряжение железобетонных конструкций монолитных и сборных зданий

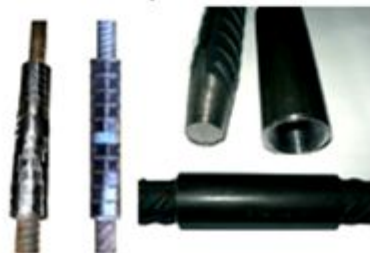
Сопряжение несущих конструкций

Железобетонные
(сборные - сварка закладных деталей,
арматурных выпусков с последующим
обетонированием
монолитные - перепуск (анкеровка)
арматуры, муфтовые соединения)

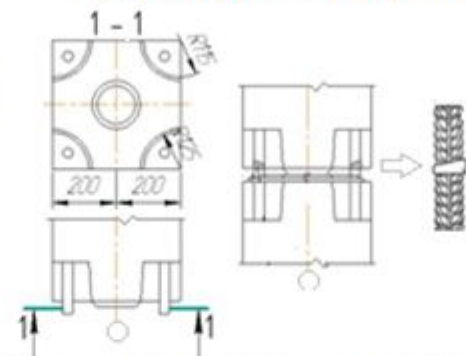
Каменные
(жесткое - перевязка швов,
гибкое - металлические
соединительные элементы)



Муфты для
стыковки
арматуры



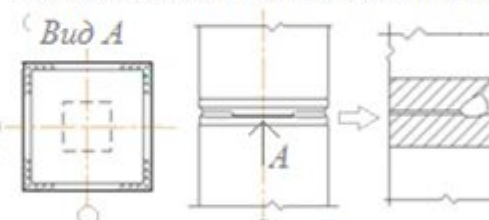
Стык колонны на
арматурных выпусках



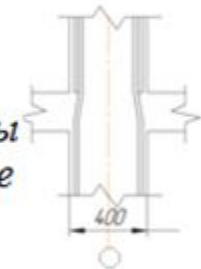
Шпунсельный
стык



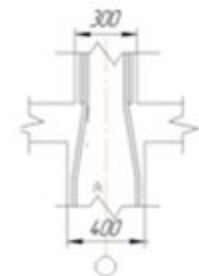
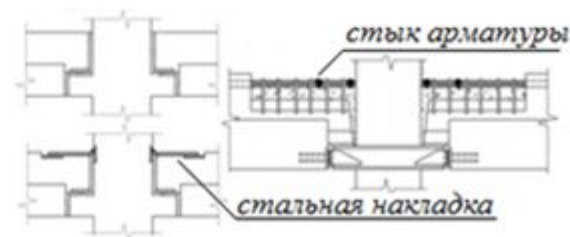
Стык колонны на закладных



Перепуск
арматуры
по высоте
колонн

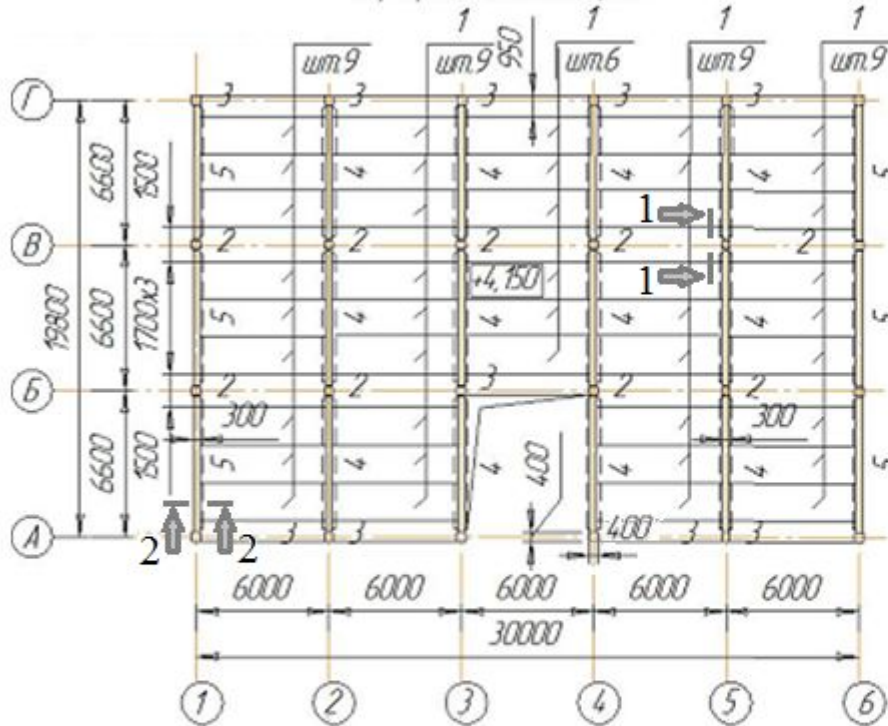


Виды стыков ригелей с колоннами



Пример выполнения чертежа сборного железобетонного перекрытия здания

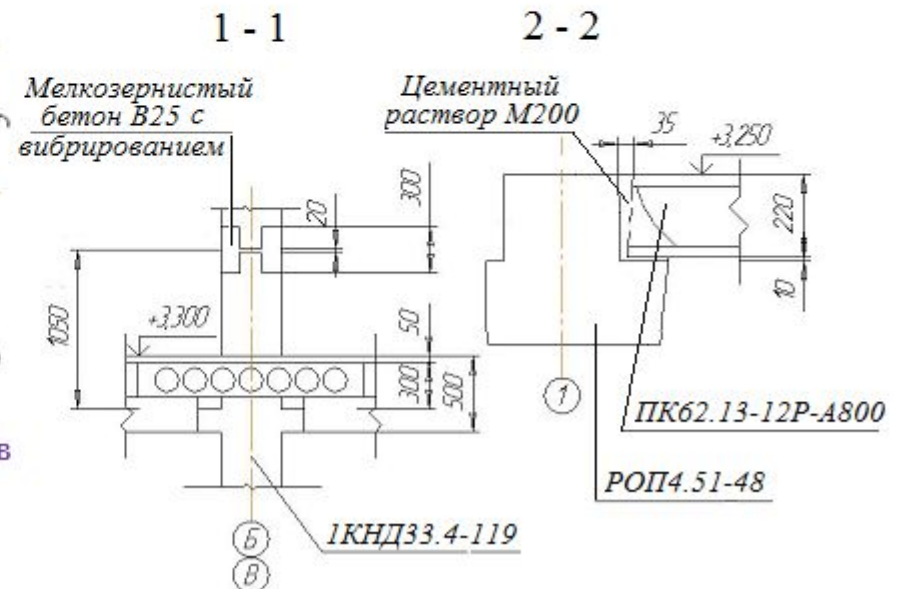
Схема расположения сборных железобетонных элементов перекрытия на отм.+4,150



- координатные оси здания, основные размеры;
- отметки наиболее характерных уровней элементов конструкций;
- позиции (марки) элементов конструкций;
- обозначение разрезов, узлов и фрагментов.

Спецификация
сборных железобетонных элементов перекрытия на отм.+4,150

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., т	Примечание
1	СК-3 серия 104.11	ПК62.13-12P-A800	324	225	
2		ПК62.9-12K-A800	56	156	
3		ПК62.15-12C-A800	84	260	
4	СК-3 серия 1020-1	РОП4.51-96-A400	96	221	
5		РОП4.51-48-A400	32	214	



Бетон для конструкций зданий и сооружений по СП 63.13330.2018

Виды, классы и марки бетона

ГОСТ 25192-2012-классификатор

- **тяжелый** плотной структуры (2000...2500 кг/м³), состав: цементное вяжущее, плотные крупный и мелкий заполнители

- **мелкозернистый** плотной структуры (2000...2500 кг/м³), состав: цементное вяжущее и плотный мелкий заполнитель

ГОСТ 26633-2015

- **легкий** плотный (600...2000 кг/м³), состав: цементное вяжущее и пористый заполнитель (керамзитовый гравий, песок и щебень вспученный перлитовый, щебень и песок из пористых горных пород, смесь золошлаковая)

ГОСТ 25820-2000

- **ячеистый** (пенобетон, поробетон), состав: цементное вяжущее и тонкопомолотый песок, смешанные со специально подготовленной пеной или порообразователем (500...1000 кг/м³)

ГОСТ 25485-2019

- **напрягающий** (содержит специальный цемент или добавку для расширения бетона во время твердения - противодействие усадочным трещинам (БК) и для самонапряжения (БН)

ГОСТ 32803-2014

Основные нормируемые и контролируемые показатели качества бетона		
Показатель	Определение	Значение
B – класс бетона по прочности на сжатие (назначается во всех случаях)	Класс бетона по прочности на сжатие B соответствует значению кубиковой прочности бетона на сжатие в МПа с обеспеченностью 0,95 (нормативная кубиковая прочность)	B 1,5...B 100
B_t – класс бетона по прочности на осевое растяжение	Класс бетона по прочности на осевое растяжение B _t соответствует значению прочности бетона на осевое растяжение с обеспеченностью 0,95 (нормативная прочность бетона)	B _t 0,8. B _t 4,8
F – марка бетона по морозостойкости	Марка бетона по морозостойкости F соответствует минимальному числу циклов попеременного замораживания и оттаивания образцов, выдерживаемых при стандартном испытании	F50...F1000
W – марка бетона по водонепроницаемости	Марка бетона по водонепроницаемости W соответствует максимальному значению давления воды (в МПа·10 ⁻¹), выдерживаемому бетонным образцом при испытании	W2...W20
D – марка бетона по средней плотности	Марка бетона по средней плотности D соответствует среднему значению объемной массы бетона в кг/м ³	D500...D2000
S_p – марка бетона по самонапряжению	Марка напрягающего бетона по самонапряжению представляет собой значение предварительного напряжения в бетоне (в МПа), создаваемого в результате его расширения при коэффициенте продольного армирования μ=0,01.	S _p 0,6; S _p 0,8; S _p 1; S _p 1,2; S _p 1,5; S _p 2; S _p 3; S _p 4;

Дополнительные показатели: жаростойкость, огнестойкость, коррозионная стойкость, стойкость против истирания

Прочность бетона

Испытательная машина Zwick Z010
серии Proline



верхняя плита
место установки
образца
опорная плита

Прочность бетона - это его способность не разрушаясь противостоять действию приложенным к нему нагрузкам

Прочность бетона возрастает со времени изготовления образца или конструкции: 3 дня - 50%, 5 дней - 75%, 28 дней - 100%, 90 дней - 115%
Увеличивает прочность влажный режим твердения до 50%

Для достижения бетоном проектного класса необходимо соблюдение требований к изготовлению, транспортировке и укладке бетонной смеси

Прочность зависит от размера и формы образцов (кубиковая и призматическая прочность) ГОСТ 10180-2012
Зависит от характера напряженного состояния

Под классом бетона по прочности на сжатие B , понимается среднестатистическое значение временного сопротивления B_m (МПа) эталонных образцов (кубы $15 \times 15 \times 15$ см), изготовленных и испытанных через 28 суток.

Испытательная машина предназначена для исследования физико-механических свойств различных материалов, в том числе, прочности на сжатие.

Прочность при срезе и скалывании $R_{sh} = 2R_{bt}$

При длительно действующей нагрузке $R_{bl} = 0,9R_b$

При многократно повторных нагрузках при количестве циклов $n = 2 \cdot 10^6$ $R_r = 0,5R_b$

Прочностные и деформационные характеристики бетона

Вид сопротивления бетона	Сопротивление бетона R (МПа)	Начальный модуль упругости бетона E_b (МПа)
	Классы бетона B15, B20, B25, B30, B35, B40	
Расчетное сопротивление сжатию R_b тоже нормативное $R_{b,n}$; $R_{b,ser}$	8,5; 11,5; 14,5; 17,0; 19,5; 22,0 11,0; 15,0; 18,5; 22,0; 25,5; 29,0	24000; 27500; 30000; 32500; 34500; 36000
Расчетное сопротивление растяжению R_{bt} тоже нормативное $R_{bt,n}$; $R_{bt,ser}$	0,75; 0,90; 1,05; 1,15; 1,30; 1,40 1,10; 1,35; 1,55; 1,75; 1,95; 2,10	

Расчетные и нормативные сопротивления бетона сжатию и растяжению связаны: коэффициентам надежности по бетону при сжатии $\gamma_b = 1,3$ и при растяжении - $\gamma_{bt} = 1,5$.

Условия работы бетона

γ_{bi}	Учет условий работы бетона	Изменяемые показатели	Значение коэффициентов
γ_{b1}	Для бетонных и железобетонных конструкций учитывает влияние длительности действия статической нагрузки	$R_{b,}$ R_{bt}	$\gamma_{b1}=1,0$ при непродолжительном (кратковременном) действии нагрузок, $\gamma_{b1}=0,9$ при продолжительном (длительном) действии нагрузок, $\gamma_{b1}=0,85$ для ячеистых и поризованных бетонов
γ_{b2}	Для бетонных конструкций (учитывает характер разрушения)	R_b	$\gamma_{b2}=0,9$
γ_{b3}	Для бетонных и железобетонных конструкций, бетонированных в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м	R_b	$\gamma_{b3}=0,85$
γ_{b4}	Для ячеистых бетонов	R_b	$\gamma_{b4}=1,0$ - при влажности ячеистого бетона 10% и менее, $\gamma_{b4}=0,85$ - при влажности ячеистого бетона более 25%
γ_{b5}	Для учета попеременного замораживания и оттаивания, а также действию отрицательных температур	$R_{b,}$ R_{bt}	$\gamma_{b5}=1$ для надземных конструкций при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период минус 40°C и выше $\gamma_{b5}<1,0$ в остальных случаях в зависимости от назначения конструкции и условий окружающей среды

Перспективные направления развития бетона связаны с совершенствованием, созданием и производством бетонов следующих видов:

высококачественных, высокотехнологичных бетонов; на цементах низкой водопотребности, в том числе,

- архитектурных (декоративных) бетонов;
- бетонов на основе расширяющихся вяжущих;
- монолитных неавтоклавных поробетонов;
- монолитных полистиролбетонов

Деформационные характеристики бетона

Ко второй категории относятся несиловые деформации бетона – усадка, набухание, температурные воздействия. Эти деформации являются объемными и развиваются одинаково во всех направлениях. Свободное несиловое деформирование не сопровождается изменением напряженного состояния бетона. Стеснение несиловых деформаций напротив приводит к возникновению напряжений – собственных напряжений.

Деформационность - это свойство тела изменять размеры и форму под воздействием различных факторов

Деформации бетона делятся на две категории



К первой категории относятся деформации под нагрузкой (от силовых воздействий). При этом изучается деформативность бетона при однократном и многократном нагружении, при кратковременном и длительном действии нагрузки.

Для бетона при увлажнении характерно набухание, а при высыхании - усадка, но величины этих деформаций малы. Предельные относительные деформации усадки имеют место при формировании бетона из бетонной смеси.

Бетон с увеличением температуры расширяется, а с ее понижением сжимается.

Деформации бетона, связанные с температурными изменениями, оцениваются через коэффициент α_{bt} – коэффициент линейной температурной деформации бетона.

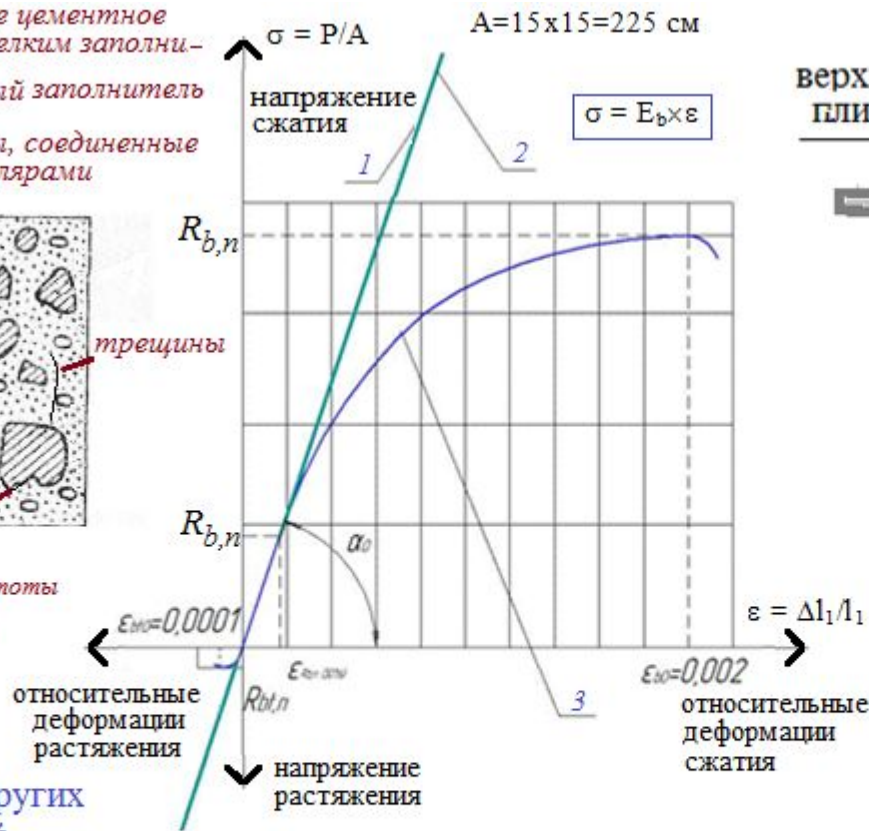
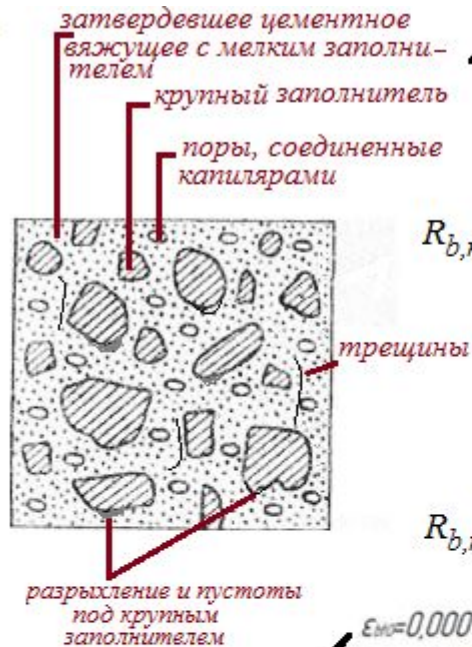
Ползучесть - это свойство бетона деформироваться с течением времени при постоянной нагрузке. Ползучесть зависит от возраста, прочности бетона и материалов его составляющих, влажности среды и предыстории его деформирования. Ползучесть уменьшается по мере старения бетона, увеличения его прочности, влажности среды. Ползучесть оценивается коэффициентом ползучести $\varphi_{b,cr}$.

Основные деформационные характеристики бетона

Показатели	Значения														
$\epsilon_{b0}, \epsilon_{bt0}$ – предельные относительные деформации бетона соответственно при равномерном осевом сжатии и растяжении	При непродолжительном действии нагрузок: $\epsilon_{b0} = 0,002, \epsilon_{bt0} = 0,0001$. При продолжительном действии нагрузок: $\epsilon_{b0} = 0,0034, \epsilon_{bt0} = 0,00024$ (относительная влажность воздуха 40...75% окружающей среды)*														
E_{cb} – начальный модуль упругости бетона (принимается в зависимости от класса бетона).	Определяется классом бетона														
$\varphi_{b,cr}$ – коэффициент (характеристика) ползучести	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Класс бетона</th> <th>V15</th> <th>V20</th> <th>V25</th> <th>V30</th> <th>V35</th> <th>V40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\varphi_{b,cr}$</td> <td>3,4</td> <td>2,8</td> <td>2,5</td> <td>2,3</td> <td>2,1</td> <td>1,9</td> </tr> </tbody> </table>	Класс бетона	V15	V20	V25	V30	V35	V40	$\varphi_{b,cr}$	3,4	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9
	Класс бетона	V15	V20	V25	V30	V35	V40								
$\varphi_{b,cr}$	3,4	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9									
(относительная влажность воздуха 40...75% окружающей среды)*															
$\nu_{b,p}$ – коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона)	Значение коэффициента поперечной деформации бетона принимается: $\nu_{b,p} = 0,2$														
α_{bt} – коэффициент линейной температурной деформации бетона	Значение коэффициента линейной температурной деформации бетона при изменении температуры в диапазоне $-40^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ принимается: $\alpha_{bt} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$														
$\epsilon_{b,sh}$ – предельные относительные деформации усадки бетона	$\epsilon_{b,sh} = 0,0002$ (бетон V35 и ниже), $\epsilon_{b,sh} = 0,00025$ (V40), $\epsilon_{b,sh} = 0,0003$ (V45 и выше),														

*принимается по СП131.13330 как средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца для района строительства

Структура бетона и его деформирование под нагрузкой



- 1 - область упругих деформаций
- 2 - область пластических деформаций
- 3 - кривая полных деформаций

- 1 - образец-призма 15x15x60 см
- 2 - измерительная рамка
- 3 - индикатор часового типа
- 4 - динамометр

