

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

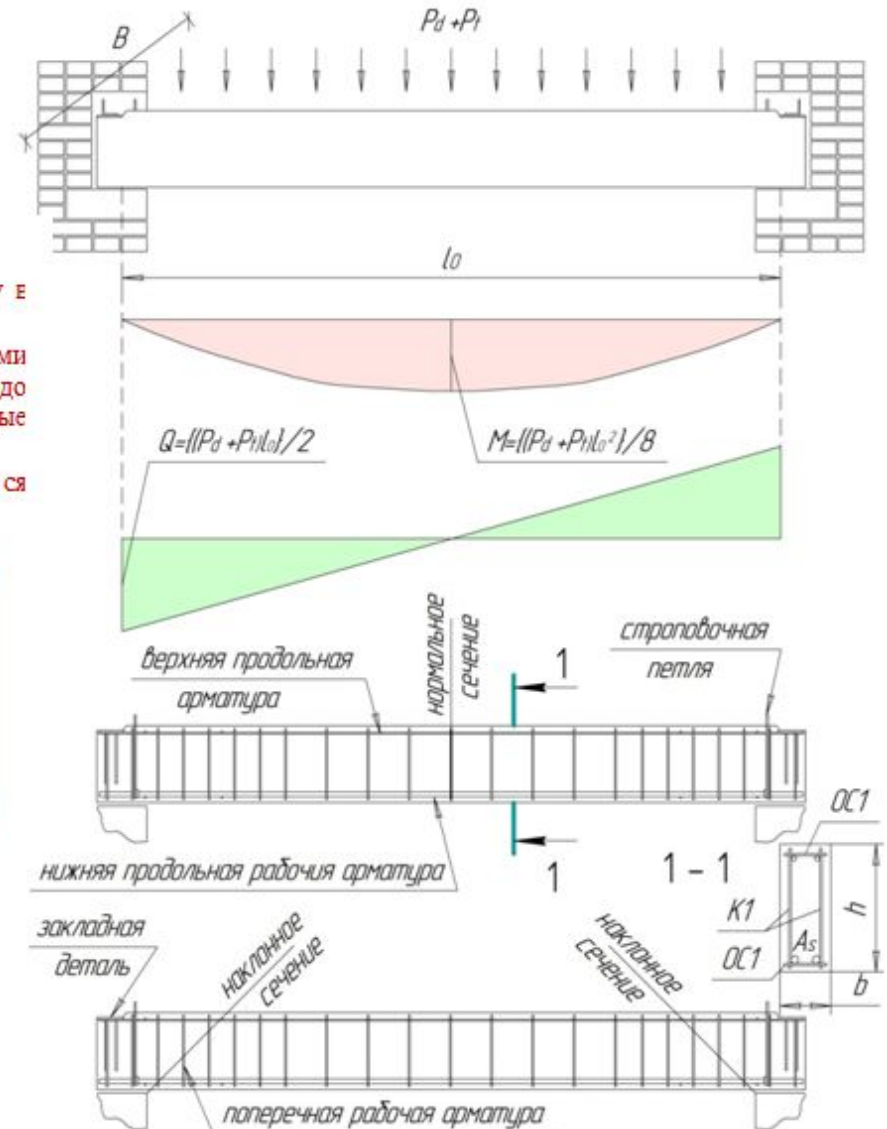
## Основные понятия и общие сведения о железобетонных конструкциях

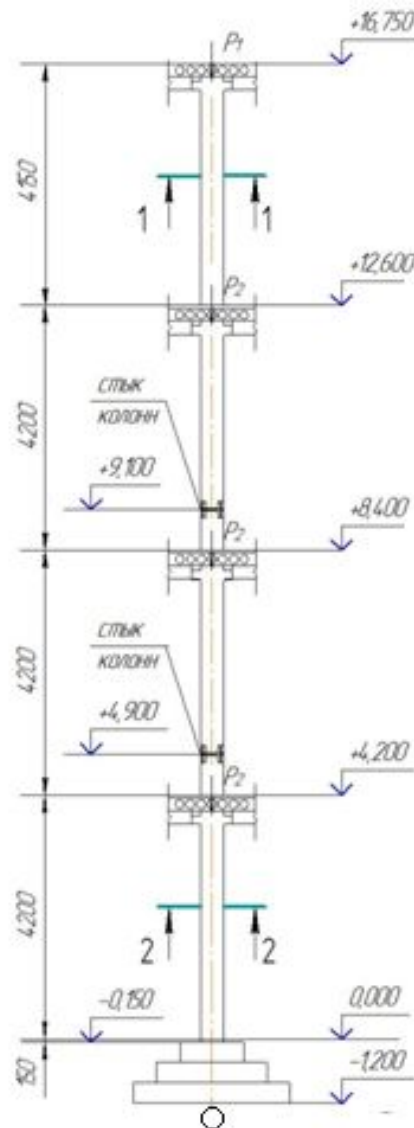
**Железобетоном называется комплексный строительный материал, состоящий из бетона и стали, объединенные для совместной работы**

Объединение материалов возможно, так как

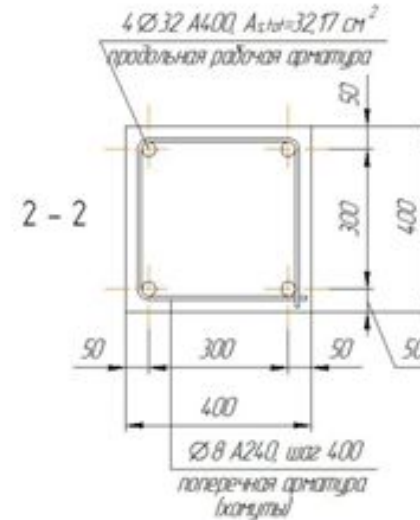
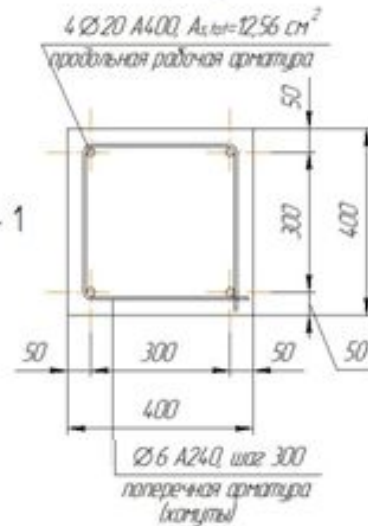
бетон при твердении прочно сцепляется с арматурой, поэтому в конструкциях оба материала деформируются совместно; сталь и бетон обладают близкими по величине коэффициентами линейного расширения, поэтому при изменении температуры (до  $100^{\circ}\text{C}$ ) в железобетоне возникают очень небольшие начальные 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  $\mu_s$  ( $\mu_s\%$ ), Процент армирования колонн составляет:

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

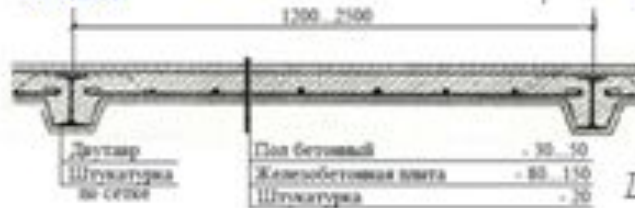
$$\mu_s, \% = \frac{A_{s, \text{tot}}}{A} \times 100 = \frac{32,17}{40 \times 40} \times 100 = 2,01\% \text{ для нижней колонны}$$

## История развития железобетонных конструкций

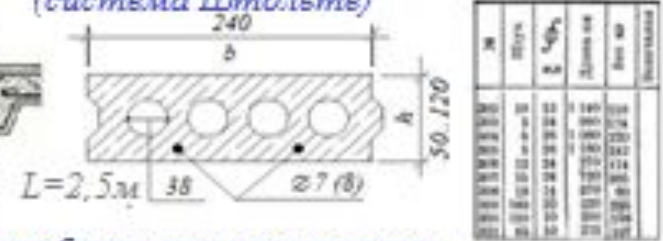
Сводчатое перекрытие  
Генрика



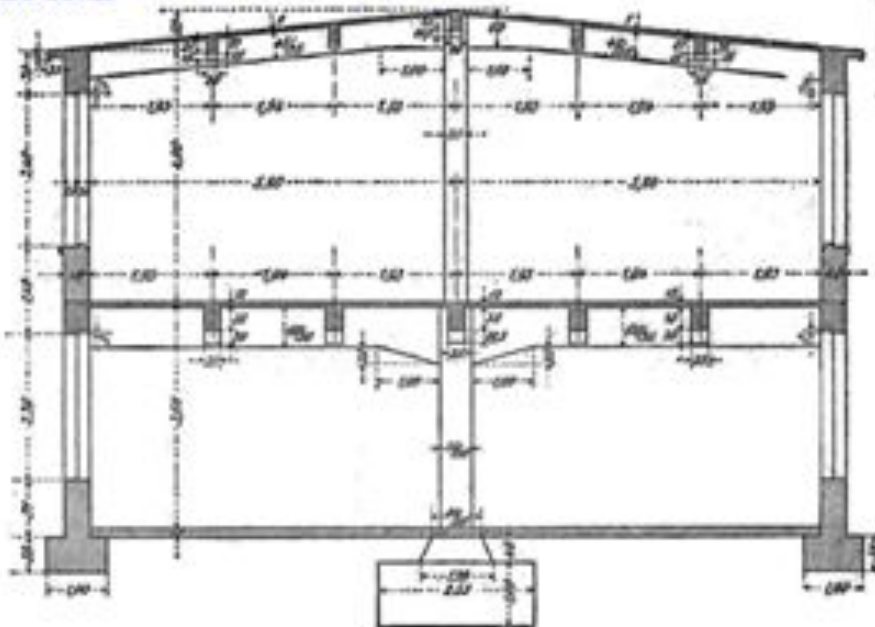
Плоское перекрытие системы  
Монье



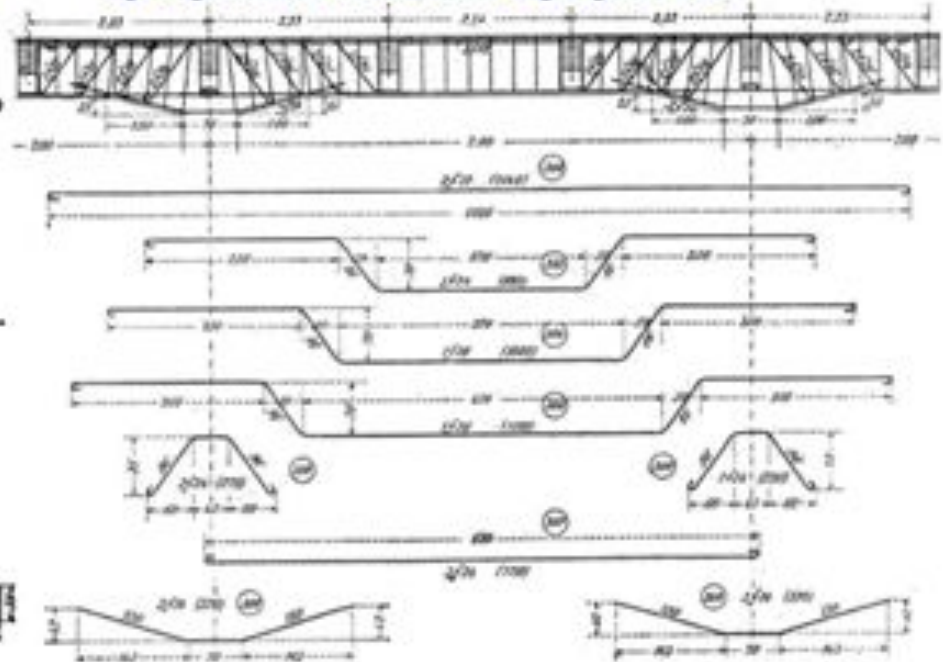
Цементная доска с каналами  
(система Штольте)



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*



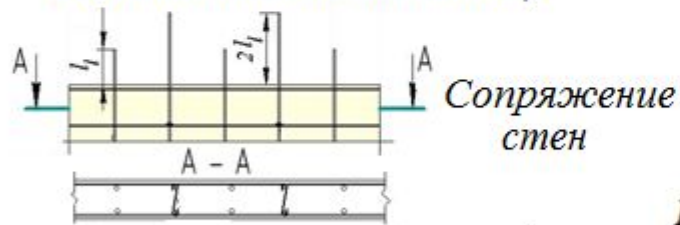
Монолитный железобетон применяется для сооружений, трудно поддающихся членению, например: плавательные бассейны, фундаментные плиты; в зданиях и сооружениях, отличающихся нестандартностью и малой повторяемостью отдельных частей или строящихся в сейсмических районах.

## Сопряжение железобетонных конструкций монолитных и сборных зданий

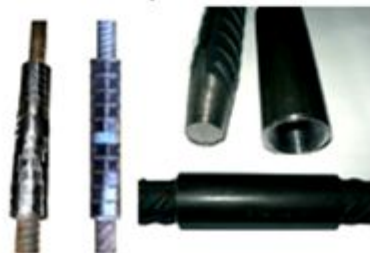
### Сопряжение несущих конструкций

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

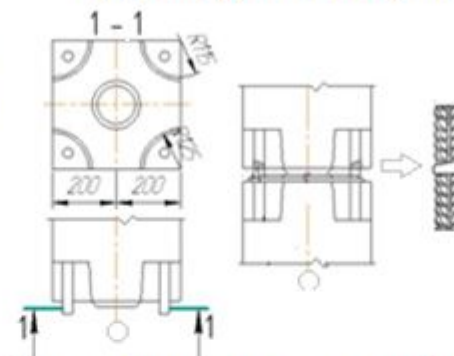
Каменные  
(жесткое - перевязка швов,  
гибкое - металлические  
соединительные элементы)



Муфты для  
стыковки  
арматуры



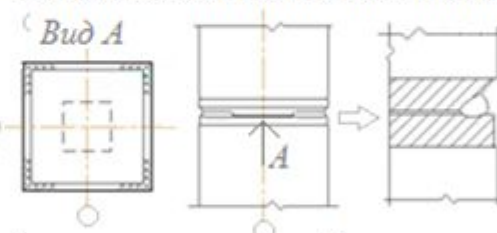
Стык колонны на  
арматурных выпусках



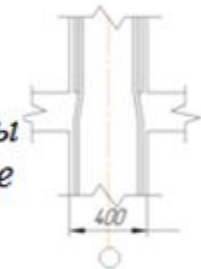
Шпунсельный  
стык



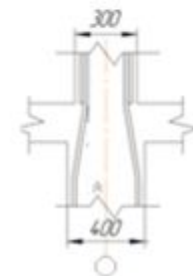
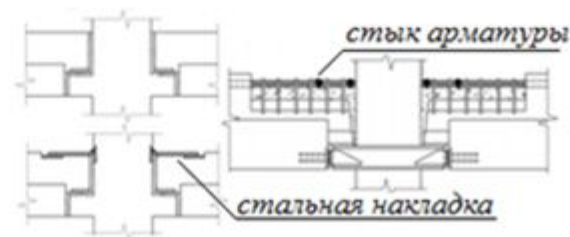
Стык колонны на закладных



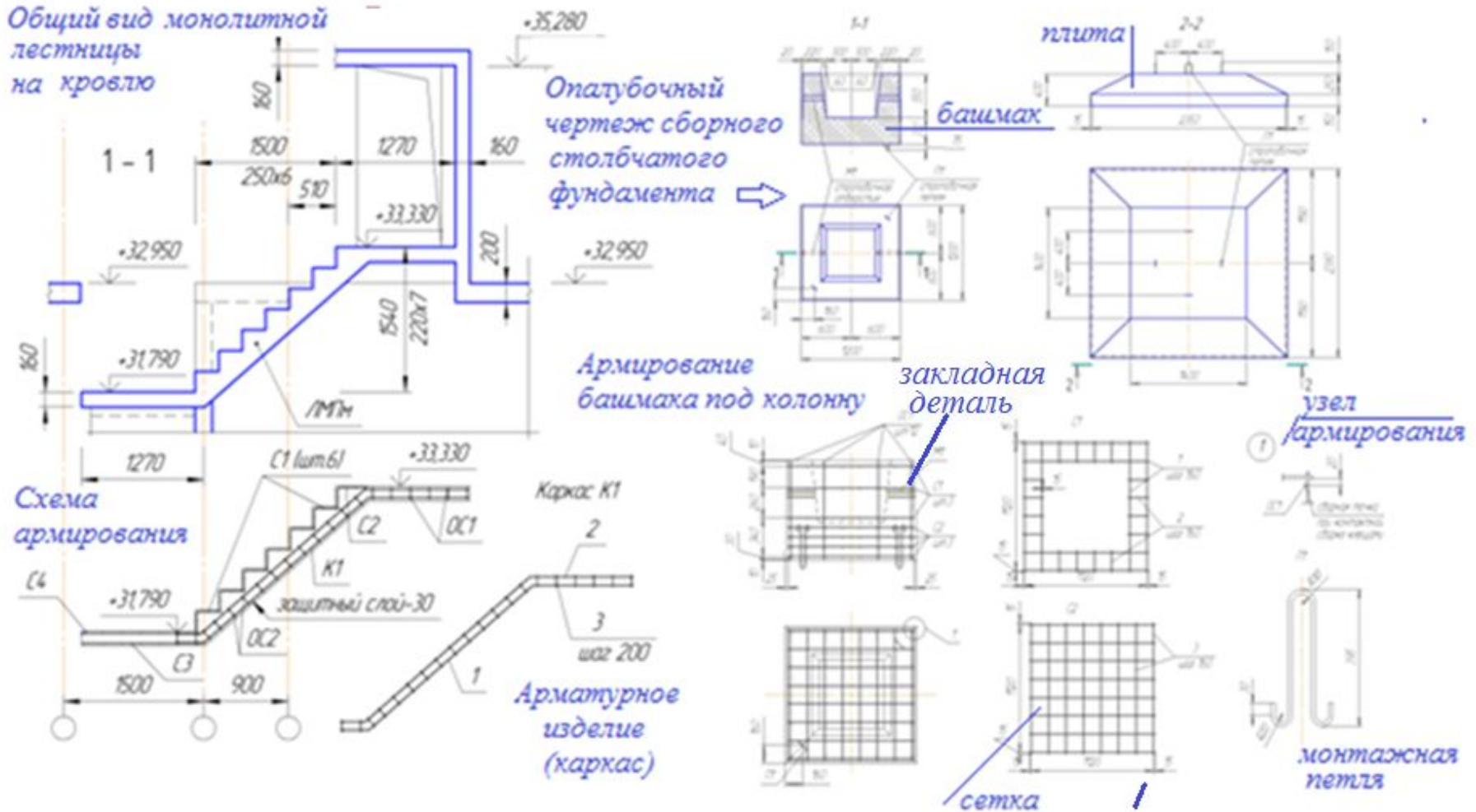
Перепуск  
арматуры  
по высоте  
колонн



Виды стыков ригелей с колоннами



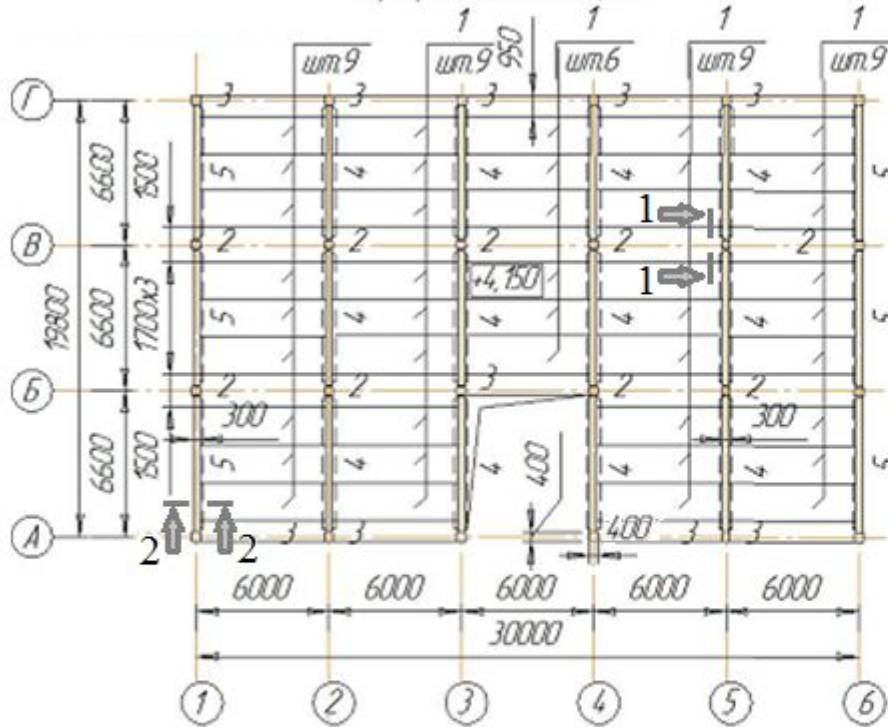
Выполнение чертежей железобетонных конструкций  
(ГОСТ Р 21.1101-2013, ГОСТ 21.501-2018)





## Пример выполнения чертежа сборного железобетонного перекрытия здания

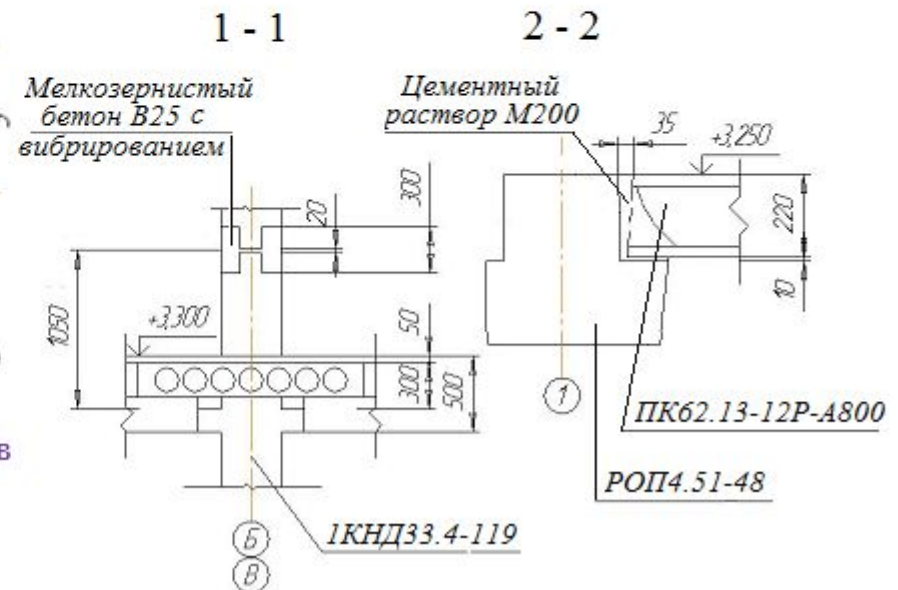
Схема расположения сборных железобетонных элементов перекрытия на отм.+4,150



- 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	СК-3 серия 1020-1	ПК62.15-12C-A800	84	260	
4		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/м<sup>3</sup>), состав: цементное вяжущее, плотные крупный и мелкий заполнители

- **мелкозернистый** плотной структуры (2000...2500 кг/м<sup>3</sup>), состав: цементное вяжущее и плотный мелкий заполнитель

ГОСТ 26633-2015

- **легкий** плотный (600...2000 кг/м<sup>3</sup>), 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/м<sup>3</sup>)

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>B</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>B<sub>t</sub></b> – класс бетона по прочности на осевое растяжение	Класс бетона по прочности на осевое растяжение B <sub>t</sub> соответствует значению прочности бетона на осевое растяжение с обеспеченностью 0,95 (нормативная прочность бетона)	B <sub>t</sub> 0,8. B <sub>t</sub> 4,8
<b>F</b> – марка бетона по морозостойкости	Марка бетона по морозостойкости F соответствует минимальному числу циклов попеременного замораживания и оттаивания образцов, выдерживаемых при стандартном испытании	F50...F1000
<b>W</b> – марка бетона по водонепроницаемости	Марка бетона по водонепроницаемости W соответствует максимальному значению давления воды (в МПа·10 <sup>-1</sup> ), выдерживаемому бетонным образцом при испытании	W2...W20
<b>D</b> – марка бетона по средней плотности	Марка бетона по средней плотности D соответствует среднему значению объемной массы бетона в кг/м <sup>3</sup>	D500...D2000
<b>S<sub>p</sub></b> – 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 <sub>p</sub> 0,6; S <sub>p</sub> 0,8; S <sub>p</sub> 1; S <sub>p</sub> 1,2; S <sub>p</sub> 1,5; S <sub>p</sub> 2; S <sub>p</sub> 3; S <sub>p</sub> 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*

$\gamma_{bi}$	Учет условий работы бетона	Изменяемые показатели	Значение коэффициентов
$\gamma_{b1}$	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
$\gamma_{b2}$	Для бетонных конструкций (учитывает характер разрушения)	$R_b$	$\gamma_{b2}=0,9$
$\gamma_{b3}$	Для бетонных и железобетонных конструкций, бетонируемых в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м	$R_b$	$\gamma_{b3}=0,85$
$\gamma_{b4}$	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%
$\gamma_{b5}$	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  $\alpha_{bt}$  – коэффициент линейной температурной деформации бетона.

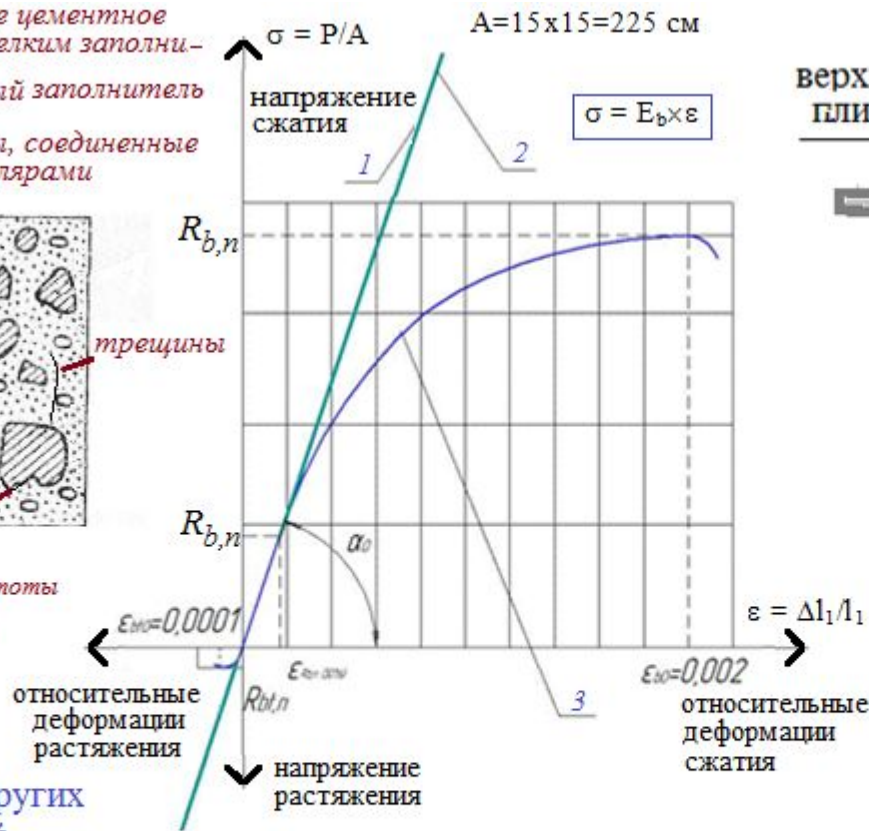
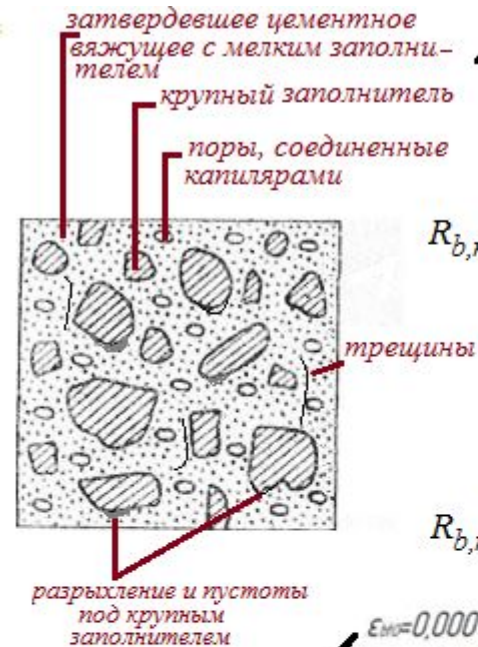
**Ползучесть** - это свойство бетона деформироваться с течением времени при постоянной нагрузке. Ползучесть зависит от возраста, прочности бетона и материалов его составляющих, влажности среды и предыстории его деформирования. Ползучесть уменьшается по мере старения бетона, увеличения его прочности, 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><math>\varphi_{b,cr}</math></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: $\nu_{b,p} = 0,2$														
$\alpha_{bt}$ – 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

