



Строительные материалы Бетон.

Лихачев Владислав Александрович, к.х.н., доцент



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Бетон как строительный конструкционный материал

Бетон - сложный пористый искусственный композиционный материал (конгломерат), полученный путём затвердевания смеси вяжущего вещества (например, цемента), заполнителей (песка, гравия или щебня) и воды.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Классификация бетонов

Бетоны классифицируют по ряду признаков:

- **По назначению:** конструкционные и специального назначения (жаростойкие, кислотостойкие, теплоизоляционные и т.д.);
- **По виду вяжущего:** цементные, силикатные (известково-кремнеземистые), гипсовые, шлакощелочные, полимербетоны, асфальтовые бетоны и др.;
- **По виду заполнителей:** на плотных, пористых и специальных заполнителях;
- **По структуре:** плотной структуры (пористость растворной части менее 6%), поризованной (пористость более 6%), ячеистой, крупнопористой.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Классификация бетонов

- **По средней плотности:**

- особо тяжелые ($P_m > 2500$ кг/м³);
- тяжелые ($P_m = 2200 - 2500$ кг/м³);
- облегченные ($P_m = 1800 - 2200$ кг/м³);
- легкие ($P_m = 500 - 1800$ кг/м³);
- особо легкие ($P_m = < 500$ кг/м³);

- **По условиям твердения:**

естественного твердения;

с тепловой обработкой при атмосферном твердении;

автоклавного твердения.



Три составляющие бетона на основе цементов

- Чтобы приготовить бетон необходимо иметь вяжущее вещество **цемент**, **мелкий заполнитель** (песок), **крупный заполнитель** (гравий, щебень), в рассчитанном соотношении, например, 1:1:3.
- **Заполнители** занимают 85-90% объема смеси и сокращают **расход** цемента, образуют жесткий скелет бетона, **уменьшая его усадку**, **увеличивают прочность** бетона и **уменьшают деформацию** конструкций под нагрузкой.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Составляющие бетона Песок

- Согласно ГОСТ 8736-2014 **строительный песок** — это неорганический сыпучий материал с крупностью зёрен **до 5 мм**, образовавшийся в результате **естественного разрушения** скальных горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования или с использованием специального обогатительного оборудования. (Речной, карьерный).
- Песок очень часто состоит из почти чистого **кремнезема, SiO_2** , природный песок является **осадочной** породой.
- Песок может быть также получен **дроблением** кварца, гравия, щебня различных твердых пород, но такой песок значительно дороже (**искусственный песок**).
- Чем мельче песок, тем больше нужно вяжущего, но тем **плотнее** получается бетон.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Составляющие бетона Крупные заполнители (гравий, щебень)

- Один из видов крупного заполнителя - **гравий** (окатанные куски горных пород, размером от 5 до 120 мм, в практике чаще от 3 до 70мм);
- Второй вид- **щебень** – остроугольные куски горных пород размером от 5 до 70 мм), получаемые при дроблении бута (рваного камня);
- Гравий бывает горный, речной, морской и ледниковый. Прочность заполнителей должна быть больше прочности ИСК на 20-50%.
- Характеристики крупных заполнителей оцениваются по **ГОСТ 8267-93** «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ»
- Наиболее важны характеристики по **прочности на сжатие и морозостойкости.**
- Для определения прочности на сжатие пробу заполнителя раздавливают в металлическом цилиндре. Марки по дробимости щебня(гравия) 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 . Цифра марки означает прочность при сжатии в **кгс/см²** в момент раздавливания в металлическом цилиндре.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Характеристики крупных заполнителей

- **Морозостойкость** щебня и гравия характеризуется **числом циклов** замораживания и оттаивания насыщенного водой заполнителя, при котором потеря в процентах массы на сите не превышает установленного ГОСТом значения.
- Марки щебня (гравия) по морозостойкости: F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400.
- Для морозостойкости F50, F100, F150, F200, F300, F400 установленное значение потерь не более 5%.
- Плотность гравия **часто меньше**, его поверхность более **гладкая**, а значит менее прочно схватывается с остальной массой цементного камня, чем плотность и шероховатость гранитного щебня, поэтому гравий применяется только для изготовления бетона низких марок.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Характеристики крупных наполнителей

- Плотность материала может колебаться в зависимости от его типа.
- Усредненный показатель плотности гравия — $2,6-2,7 \text{ т/м}^3$.
- Насыпная плотность может иметь значение от $1,43$ до $1,61 \text{ т/м}^3$;
- Форма зерен гравия может быть округлой, округло-угловатой, угловатой.
- Согласно ГОСТу 8267-93, в составе гравия может быть не больше 35% (от массы) зерен, имеющих игловатую или пластинчатую форму;
- Для щебня и гравия, который используется в строительстве дорог, дополнительно устанавливают **меру истираемости**, которая определяется в результате испытаний в полочном барабане. При этом выделяют марки **И-I**, **И-II**, **И-III** и **И-IV**;
- Марка по истираемости определяется процентом потерь в массе испытуемого материала после испытаний.
- Щебень марки **И1** самый стойкий: потери в массе после испытаний до 25%; **И-IV** потери в массе 45-60%.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Цемент

- **Выбор цемента** производится исходя из комплекса требований предъявляемых к бетону по его прочности, химической стойкости, морозостойкости, водопроницаемости.
- Марку (класс) цемента назначают в зависимости от проектной марки бетона по прочности на сжатие.

Марки бетона	M150	M200	M250	M300	M350	M400	M450	M500	M600 и выше
Марка цемента	M300	M300 M400	M400	M400 M500	M400 M500	M500 M600	M550 M600	M600	M600



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Технология бетона

- Производство бетона состоит из ряда последовательных операций:
- **Подбор и расчет состава бетона.** Расчет состава производится для данных сырьевых материалов, используя зависимости, связывающие свойства бетона с его составом в виде **формул, таблиц, номограмм.**
- Получаемый состав бетона может быть выражен:
 1. Количеством составляющих в кг на 1 куб.м бетона (например, цемент -300, вода -200, песок - 650, щебень -1250);
 2. Соотношением компонентов в частях по массе или объему (например, Ц:В:П:К = 1:0,7:2:4)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Водоцементное отношение

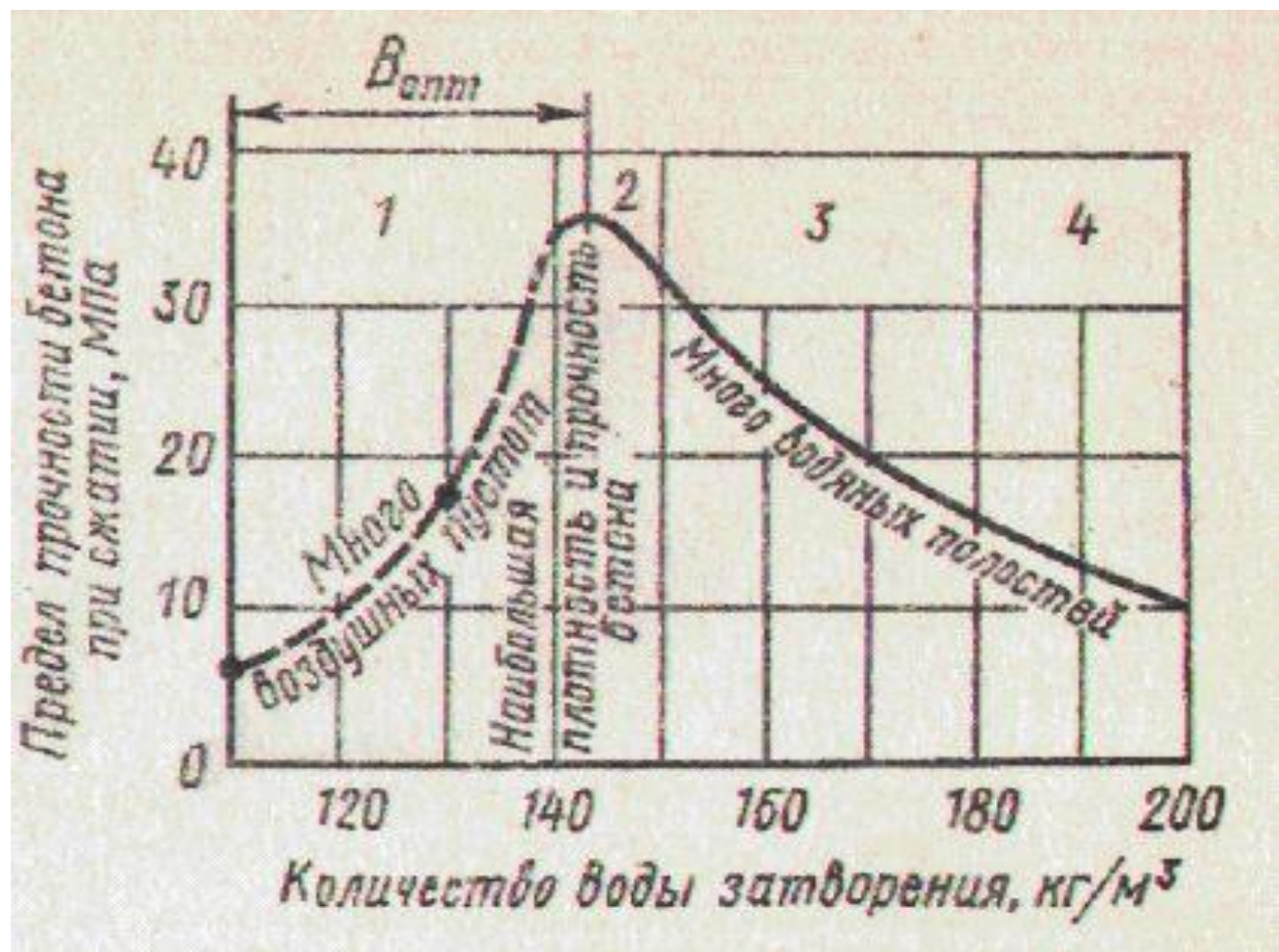
- Причем, **водоцементное отношение** (отношение количества воды к цементу) очень важное отношение, от которого зависит прочность бетона.
- **Недостаток** воды делает смесь **трудноукладываемой**, а **избыток** воды не нужен так, как лишняя вода испаряется и на ее месте появляются **поры**.
- Цемент при твердении связывает 20-25% воды от своей массы. Фактически же для обеспечения необходимой подвижности бетонной смеси берут 40-80 % воды.
- Вода, дополнительно, необходима для смачивания поверхности песка и крупного заполнителя: большая удельная поверхность заполнителя требует большего расхода воды.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Закон прочности бетона

Существует
оптимальное
количество
воды,
обеспечиваю
щее
наибольшую
прочность
бетона





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Закон прочности бетона

- Исследованиями установлен следующий закон прочности бетона

$$R_b = \frac{R_c}{k(B/C)^n}$$

Где, R_b – прочность бетона, R_c – марка цемента, B/C – водоцементное соотношение, k и n – коэффициенты, зависящие от вида бетона и качества заполнителей ($k=3,5$ для щебня и 4 для гравия; $n=1,5$ для тяжелого бетона).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Технология бетона

- После расчета состава идет **дозирование** компонентов в основном по массе с помощью дозаторов с точностью до 1% для цемента, воды и добавок и 2% для заполнителей;
- **Смешение** в бетоносмесителях;
- **Транспортирование**
- **Укладка и уплотнение** (вибрация, штыкование, утрамбовка)
- **Твердение** (для предотвращения поверхности бетона от высыхания его покрывают полиэтиленовой пленкой или песком, опилками, дорнитом периодически их увлажняют. В зимнее время твердеющий бетон предохраняют от замерзания различными методами (электропрогрев, тепловые пушки).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Свойства бетона

Прочность бетона (как и цемента) характеризуется классом и маркой бетона по прочности.

Класс бетона (В) – гарантированная прочность бетона на сжатие, выраженная в МПа. В3,5, В5, В7,5.....В60;

Марка бетона по прочности (М) – средняя прочность бетона, выраженная в кгс/см². М50, М100, М150....М800

Класс и марка бетона, определяются **испытанием** на одноосное сжатие стандартных образцов-кубов с ребром в 150 мм, изготовленных из бетонной смеси рабочего состава и испытанных в возрасте 28 суток после твердения в нормальных условиях.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Соотношение классов и марок бетона

Класс бетона	Средняя прочность класса, кгс/кв.см	Ближайшая марка бетона
B3,5	46	M50
B5	65	M75
B7,5	98	M100
B10	131	M150
B12,5	164	M150
B15	196	M200
B20	262	M250
B25	327	M350
B30	393	M400
B35	458	M450
B40	524	M550
B45	589	M600
B50	655	M600
B55	720	M700



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Соотношение классов и марок бетона

Класс бетона по прочности	Ближайшая марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Ближайшая марка бетона по прочности
B3,5	M50	B35	M450
B5	M75	B40	M550
B7,5	M100	B45	M600
B10	M150	B50	M700
B12,5	M150	B55	M750
B15	M200	B60	M800
B20	M250	B65	M900
B22,5	M300	B70	M900
B25	M350	B75	M1000
B27,5	M350	B80	M1000
B30	M400		



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Свойства бетона

Усадка и набухание. Связаны с физико-химическими процессами, происходящими в бетоне при твердении и изменении его влажности. Усадка колеблется от 0,2 до 0,4 мм/м в годичном возрасте. Величина набухания значительно меньше.

Водонепроницаемость бетона зависит от проницаемости цементного камня, заполнителя и контактной зоны.

Это **способность** бетона не пропускать влагу под определенным давлением. Обозначается с помощью символа **W** и четных цифр в диапазоне от 2 до 12, которые обозначают давление в **атмосферах**, при котором фрагменты бетона высотой и диаметром 0,15 м выдерживают напор воды и не пропускают ее через себя. W2, W4, W6, W8, W12 (В МПа W0,2 т.д.)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Свойства бетона

- **Морозостойкость.** Способность бетона переносить неоднократные поочередные процессы заморозки, оттаивания при сохранении физико-механических свойств. Обозначается буквой F и числом, показывающим сколько циклов замораживания оттаивания выдерживает бетон при потере массы не более 5% и сохранении 75% прочности.
- Согласно **ГОСТ 10060.0-95** различают 11 марок бетона, имеющих градацию от F50 до F1000.
- **Теплопроводность** бетона. Изменяется от 1,3-1,7 Вт/м⁰С для тяжелых бетонов, 0,2- 0,7 Вт/м⁰С для легких бетонов.
- **Коэффициент линейного термического расширения** (КЛТР) тяжелого бетона (10-12) 10⁻⁶ °С близок к КЛТР стали, что обеспечивает совместимость термических деформаций бетона и арматуры.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Состав бетона

В результате взаимодействия вяжущего вещества и наполнителей с водой образуется цементный камень, содержащий в себе разнообразные химические соединения, состав которых зависит от вида вяжущего (цемента).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Химический состав бетона

-
- Если вспомнить состав цемента, то он состоит из связанных в различные минералы оксидов $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$.
- При взаимодействии с водой, оксиды цемента и мелкий заполнитель песок (SiO_2) образуют кристаллогидраты различного состава (приведены на следующем слайде).
- В бетоне также появляется наиболее активная его составляющая: Ca(OH)_2 – гашеная известь



Составляющие цементного камня (кристаллогидраты)

Ca(OH)_2 – гидроксид кальция (фаза C-H)

$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$ - гидросиликат кальция-1 (фаза C-S-H(1))

$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,17\text{H}_2\text{O}$ - гидросиликат кальция-2 (фаза C-S-H(2))

$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ - гидроалюминат кальция (фаза C-A-H)

$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1,17\text{H}_2\text{O}$ - гидроферрит кальция (фаза C-F-H)

$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ гидросульфоалюминат кальция
(фаза C-A-Cs-H)(эттрингит)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

рН поровой воды внутри бетона

- Цементный камень бетона и железобетона при любой технологии получения всегда имеет **поры**, в которые в процессе эксплуатации попадает вода.
- В поровой воде растворяются составляющие цементного камня и прежде всего известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
- Известь и другие фазы находясь в равновесии с водой в порах бетона, обеспечивают её рН в пределах **12-12,5**. При таком рН внутри бетона устойчивы, как все его составляющие, так и арматура железобетона.