

**КАЗАХСКАЯ ГОЛОВНАЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**

**Дисциплина «Технология бетона – 1»**

**Лекция 11 ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА**

**Акад.проф. Колесникова И.В.**

**Подбор состава бетона производят с целью получения бетона в конструкциях с прочностью и другими показателями качества, установленными государственными стандартами, техническими условиями и проектной документацией на эти конструкции при минимально возможном расходе цемента**

**Для подбора состава тяжелого бетона используют:**

- Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (Москва, ЦИТП, 1990);
- Правила подбора состава тяжелого бетона( НИИЖБ, 2014);
- Известные методы подбора состава тяжелого бетона, детально учитывающие специфику отдельных технологий и условий их применения
- Для построения технологических (базовых) зависимостей, особенно при подборе составов бетона с комплексными химическими, минеральными добавками и (или) с использованием многофракционных заполнителей, применяются в том числе **методы подбора состава бетона с применением математического планирования эксперимента.**

- - ❑ Рабочие составы бетона назначают по предварительно построенным базовым зависимостям с проверкой в лабораторных или производственных условиях.
  - ❑ Корректировку рабочих составов производят по таблицам (алгоритмам) или построенным в ходе подбора номинальных составов базовым зависимостям, связывающим показатели качества бетонной смеси и бетона с качеством и расходом основных компонентов.
  - ❑ Основными варьируемыми технологическими параметрами при подборе номинального состава тяжелого бетона должны быть: цементно-водное отношение, доля песка в смеси заполнителей и расход добавки.
  - ❑ При подборе составов бетонов, к которым кроме прочности предъявляются дополнительные требования (морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость и т. д.) следует учитывать известные зависимости, связывающие качество материалов для бетона и технологию его приготовления со свойствами бетонов, которые необходимо обеспечить

## ЗАДАНИЕ НА ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА

- ❖ Задание на подбор состава бетона должно быть составлено для конструкций конкретной номенклатуры, изготавливаемых из бетона одного вида и качества по определенной технологии.
- ❖ Если по одной технологии изготавливают конструкции (изделия) из бетонов одного или разных, но близких классов по прочности, то для них можно составить одно общее задание.
- ❖ Задание на подбор состава разрабатывает технологическая служба предприятия-изготовителя бетонной смеси на основе проектной документации, действующих нормативных документов и конкретных условий производства на предприятии или стройплощадке.

**Задание должно содержать:**

- ✓ **нормируемые показатели качества бетона** в соответствии с техническими требованиями стандартов, технических условий или проектной документации на конструкции конкретных видов, для которых предназначен бетон;
- ✓ **показатели качества бетонной смеси**, длительность и режимы твердения бетона и другие условия производства, принимаемые по технологической документации, разработанной в соответствии с действующими стандартами, нормами и правилами;
- ✓ **показатели однородности прочности бетона** всех видов, а также соответствующий им средний уровень прочности и плотности, планируемые на предстоящий период;
- ✓ **ограничения по составу бетона** и применению материалов для его приготовления, установленные нормативно-технической и технологической документацией.

**1. Все нормируемые показатели качества бетона назначают в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и проектной документацией на конструкции, для которых предназначен бетон, в том числе:**

- класс (марку) бетона по прочности на сжатие;
- отпускную прочность бетона сборных конструкций, % класса (марки);
- передаточную прочность преднапряженных конструкций, % класса (марки);
- класс (марки) бетона по прочности на растяжение, по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и другим показателям качества, если они предусмотрены в нормативно-технической документации;
- показатели однородности прочности и соответствующие им средние уровни прочности, согласно которым необходимо подбирать состав бетона.
- Состав бетона следует подбирать исходя из среднего уровня прочности
- Значения среднего уровня прочности и плотности для подбора состава бетона принимают по ГОСТ 18105 и ГОСТ 27005 с учетом фактической однородности бетона и планируемых мероприятий по ее повышению.
- Для случаев, когда отсутствуют данные о фактической однородности бетона, средний уровень прочности при подборе его состава принимают равным требуемой прочности по ГОСТ 18105 для бетона данного класса или марки при коэффициенте вариации, равном 13,5 % , 17% - для бетона массивных гидротехнических конструкций.  
Средний уровень плотности в этих случаях принимают равным марке бетона по плотности.

## Характеристики прочности бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	Средняя прочность бетона данного класса, кгс/см <sup>2</sup> , при коэффициенте вариации 13,5 %	Ближайшая марка бетона по прочности	Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса, %
B2	26,2	M25	-4,6
B2,5	32,7	M35	+7,0
B3,5	45,8	M50	+9,1
B5	65,5	M75	+14,5
B7,5	98,2	M100	+1,8
B10	131,0	M150	+14,5
B12,5	163,7	M150	- 8,4
B15	196,5	M200	+1,8
B20	261,9	M250	-4,5
B22,5	294,4	M300	+1,9
B25	327,4	M350	+6,9
B30	392,9	M400	+1,8
B35	458,4	M450	-1,8
B40	523,9	M500	- 4,8
B45	589,4	M600	+1,8
B50	654,8	M700	+ 6,9
B55	720,3	M700	-2,8
B60	785,8	M800	+ 1,8

**2. Требуемые показатели качества бетонной смеси назначают в соответствии с требованиями СНиП (положение о производственном нормировании расхода материалов в строительстве, типовые нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных, железобетонных изделий и конструкций и др. ), в том числе:**

- удобоукладываемость бетонной смеси, место и время ее определения, сохраняемость (см. приложение);
- расслаиваемость, воздухоудерживание и другие показатели, предусмотренные в технической документации.

**3. Технологические условия производства определяют в соответствии с действующими нормативно-техническими документами (технологические карты, проект организации работ и т. д.) и фактически имеющиеся на предприятии, в том числе:**

- сроки и условия твердения бетона до достижения им нормируемых показателей качества, включая режим ускоренного твердения;
- способы и режимы приготовления бетонной смеси (например, отдельное приготовление с использованием скоростных активаторов);
- особенности технологического процесса (немедленная распалубка, двухстадийное твердение, дополнительная отделка и т. д.);
- способы и режимы уплотнения бетонной смеси в конструкциях.

**5. Характеристики всех материалов, используемых для приготовления бетонов, в том числе:**

- виды цемента, их марки и активность при пропаривании;
- виды и фракции заполнителей;
- виды и характеристики добавок.



## ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА

- ✓ Определяются характеристики всех материалов, используемых для приготовления бетонов, в том числе:
  - виды цемента, их марки и активность при пропаривании;
  - виды и фракции заполнителей;
  - виды и характеристики добавок.
- ✓ Материалы для приготовления бетона должны отвечать требованиям государственных и отраслевых стандартов и технических условий на эти материалы.
- ✓ Для бетонов, подвергаемых тепловой обработке, следует применять **цементы** I и II группы эффективности при пропаривании
- ✓ Мелкие **пески** с модулем крупности от 1,5 до 2 допускается применять в бетонах класса до B15 (M200) включ. Использование этих песков в бетонах класса выше B15 (M200) допускается при проведении испытаний этих песков в бетоне и марок нецелесообразно, так как приводит к значительному повышению расхода цемента

## Рациональные марки цемента для бетона различных марок

Проектный класс бетона по прочности на сжатие	Рекомендуемые и допускаемые марки цемента для тяжелого бетона при твердении в условиях					
	естественных		тепловой обработки при отпускной прочности бетона, % проектной			
	рекомендуемые,	допускаемые	70 и менее		80 и более	
			рекомендуемые	допускаемые	рекомендуемые	допускаемые
B7,5	300	-	300	-	-	-
B10	300	400	300	400	400	300
B12,5	300	400	300	400	400	300; 500
B15	400	300; 500	400	300; 500	400	300; 500
B20	400	300; 500	400	300; 500	400	300; 500
B22,5	400	500	400	500	500	400
B25	400	500	400	500	500	400
B30	500	400; 550	500	400; 550	500	400; 550
B35	500	550	500	550	500	550
B40	500	550	500	550	550	-
B45	550	-	550	-	-	-

## ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

- **Подбор номинального состава**
- **Определение производственного состава**
- **Оптимизация состава по критерию минимального расхода цемента**

### 1. ПОДБОР НОМИНАЛЬНОГО СОСТАВА БЕТОНА

Подбор номинального состава бетона производят по следующим этапам:

- ✓ выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;
- ✓ расчет начального состава;
- ✓ расчет дополнительных составов бетона с параметрами составов, отличающихся от принятых в начальном составе в большую и меньшую сторону;
- ✓ изготовление пробных замесов начального и дополнительных составов, отбор проб, испытание бетонной смеси, изготовление образцов и их испытание по всем нормируемым показателям качества;
- ✓ обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона и предназначенных для назначения номинального, а также назначения и корректировки рабочих составов бетона;

### **Подбор номинального состава производят:**

- для вяжущего каждого вида и марки каждого предприятия-изготовителя;
- для крупного заполнителя каждого карьера с одинаковой максимальной крупностью;
- для крупного пористого заполнителя каждой марки по насыпной плотности и прочности каждого предприятия-изготовителя;
- для песков каждого карьера;
- для химических добавок каждого вида.

## ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, ТВЕРДЕЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

1. По формуле (1) или черт.1,2 определяют Ц/В отношение, обеспечивающее заданный уровень прочности пропаренного бетона в проектном возрасте:

$$C_{28} = \frac{R_{пр}}{A \cdot B} \quad (1)$$

где  $C_{28}$  - цементно-водное отношение, обеспечивающее проектную прочность бетона после тепловой обработки;

$R_{пр}$  - прочность бетона в возрасте 28 сут после тепловой обработки, МПа;

$A$  - активность цемента после тепловой обработки в возрасте 28 сут., МПа.

Активность цемента после тепловой обработки определяют по результатам испытания образцов, пропаренных по методике испытанных в возрасте 28 сут, или принимают равной гарантированной марке цемента.

Рис. 1 Зависимость прочности бетона после тепловой обработки от отношения Ц/В и активности цемента при пропаривании

1-5 - активность цемента при пропаривании, соответственно равная 15, 20, 25, 30, 40 МПа

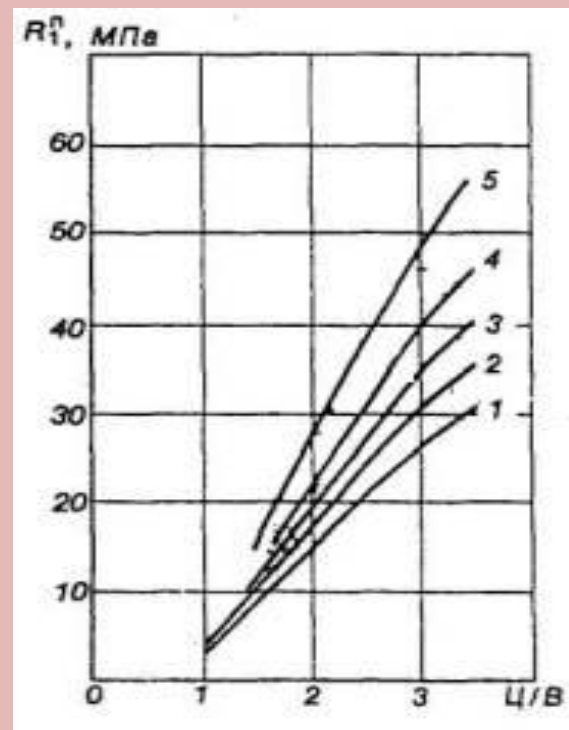
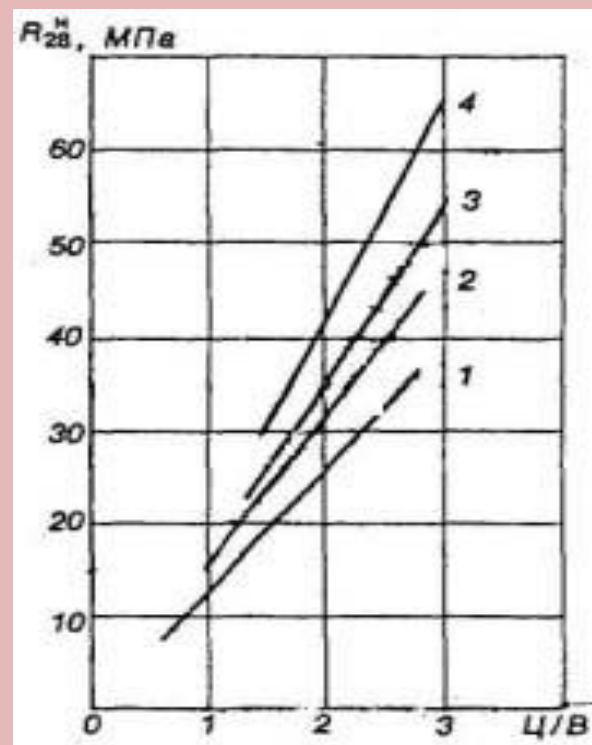


Рис. 2 Зависимость прочности бетона в возрасте 28 сут от отношения  $C/V$  и марки цемента

1-4-марка цемента соответственно 300, 400, 500, 600

Для промежуточных значений активности цемента по черт. 1 и 2 значения отношения  $C/V$  принимают по линейной интерполяции.



**2. Расход воды для начального состава бетона** принимают по табл.1 в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, вида и максимальной крупности заполнителя.

Таблица 1 Определение расхода воды

Удобоукладываемость по показателям		Расход воды на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, л, при максимальной крупности заполнителя, мм						
подвижности	жесткост	щебня			гравия			
, ОК, см	и, Ж, с	10	20	40	10	20	40	
5-9	-	215	205	190	200	185	170	
1-4	-	200	185	175	190	175	160	
-	5-10	180	170	155	170	155	140	
-	11-20	165	155	140	155	140	125	

Примечания: 1. Расход воды в таблице приведен для Ц/В = 1,25-2,5, при Ц/В < 1,25 и Ц/В > 2,5 расход воды соответственно уменьшают или увеличивают.

2. Расход воды в таблице приведен для цементов с нормальной густотой (НГ), равной 25-30 %. При увеличении или уменьшении нормальной густоты на 1 % объем воды увеличивают или уменьшают на 2 %.

3. При увеличении подвижности бетонной смеси (ОК ≥ 10 см) следует применять пластифицирующие добавки (разд. 8) .



3. **Расход цемента Ц, кг, на 1 м<sup>3</sup> в начальном составе бетона** рассчитывают по формуле:

$$Ц = Ц/B \cdot B \quad (2)$$

где  $Ц/B$  - цементно-водное отношение, определенное по п. 1;  
 $B$  - расход воды, л, принятый по п. 2.

4. **Абсолютный объем заполнителей,  $V_з$ , л,** рассчитывается по формуле:

$$V_з = 1000 - B/\rho_в - Ц/\rho_ц \quad (3)$$

где  $\rho_ц$  - плотность цемента, кг/л;  
 $\rho_в$  - плотность 1 кг/л воды.

5. **Количество мелкого заполнителя (песка)** рассчитывают по формуле

$$P = \frac{V_{\text{песка}} \cdot \rho_{\text{песка}}}{r} \quad (4)$$

где:

$P$  - расход песка в бетоне, кг;

$r$  - доля песка в смеси заполнителей по абсолютному объему, равная

$$r = \frac{V_{\text{песка}} \cdot \rho_{\text{песка}}}{V_{\text{песка}} \cdot \rho_{\text{песка}} + V_{\text{щебня}} \cdot \rho_{\text{щебня}}} \quad (5)$$

где  $\rho_{\text{песка}}$  - плотность зерен песка, кг/л;  
 $\rho_{\text{щебня}}$  - плотность зерен щебня, кг/л.

**Долю песка в начальном составе** в зависимости от расхода цемента и наибольшей крупности заполнителя принимают по табл.2 с учетом удобоукладываемости бетонной смеси и крупности песка.

Таблица 4

Определение доли песка в смеси заполнителей на 1 м бетонной смеси (при удобоукладываемости бетонной смеси от  $Ж = 20$  с до  $ОК = 10$  см)

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Наибольшая крупность щебня, мм		
	10	20	40
200	0,45	0,42	0,39
300	0,42	0,39	0,36
400	0,39	0,36	0,33
500	0,36	0,33	0,30
600	0,33	0,30	0,27

- Примечания: 1. Табл. 4 составлена для песка  $M_k = 2$  и щебня. При увеличении или уменьшении  $M_k$  на  $\pm 0,5$  доля песка  $r$  увеличивается или уменьшается на 0,03.
2. При использовании гравия доля песка  $r$  уменьшается на 0,05.
3. Для жестких бетонных смесей  $Ж > 20$  с доля песка уменьшается на 0,04; при подвижных бетонных смесях с  $ОК \geq 10$  см доля песка увеличивается на 0,04.

6. **Количество крупного заполнителя** рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{круп}} = \frac{V_{\text{бет}} \cdot \rho_{\text{бет}}}{\rho_{\text{круп}}} \cdot K_{\text{круп}}$$

(6)

где  $Q_{\text{круп}}$  - расход крупного заполнителя, кг.

При изменениях режимов тепловой обработки бетонов, времени определения отпускной и проектной прочности бетона, методики определения активности цемента при пропаривании начальный состав бетона следует уточнять по базовым зависимостям "прочность бетона - Ц/В отношение", построенным на основании анализа статистических данных прочности бетона, изготовленного на конкретных материалах и по режимам, принятым на данном производстве.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО СОСТАВА

2.1 Начальный состав бетона ( $C, B, П, Ш$ ), проверяют на опытном замесе с целью уточнения удобоукладываемости бетонной смеси.

Для этого изготавливают замес и определяют удобоукладываемость. Если удобоукладываемость опытного замеса не соответствует заданной, то производят корректировку начального состава бетона.

При этом повышение осадки конуса или снижение жесткости бетонной смеси достигают за счет добавления в пробный замес воды и цемента (в заданном соотношении, равном принятому  $C/B$ ), а снижение осадки конуса или повышение жесткости достигают за счет добавления в пробный замес заполнителей (в данном соотношении, равном  $r$ ).

Удобоукладываемость бетонной смеси соответствует заданной, если осадка конуса имеет отклонение не более  $\pm 1$  см, а жесткость - не более  $\pm 3$  с.

2.2 В подобранном по удобоукладываемости начальном составе бетона фиксируют фактический расход материалов на замес ( $G_{факт}$ ) и их общую сумму ( $G_{сум}$ ) и определяют плотность бетонной смеси  $\rho_{см}$ .

**Фактический расход материалов** в подобранном начальном составе бетонной смеси определяют по формулам (7):

$$C_1 = \frac{\rho_{см}}{\sum g} g_c, \quad Ш_1 = \frac{\rho_{см}}{\sum g} g_{ш}, \quad П_1 = \frac{\rho_{см}}{\sum g} g_p, \quad B_1 = \frac{\rho_{см}}{\sum g} g_b.$$

### 3. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ЦЕМЕНТА

- Производят определение водопотребности бетонной смеси заданной удобоукладываемости при различных значениях  $r$ .
- Значение  $r$ , принятое по табл. 1, изменяют на  $\pm(0,03 - 0,05)$ .
- Значения  $C_1$  и  $B_1$  принимают по изложенной методике, затем по формулам (изложенной методики рассчитывают два вспомогательных состава бетона  $r_1 = r + (0,03 - 0,05)$  и  $r_2 = r - (0,03 - 0,05)$ ).
- Составы проверяют по удобоукладываемости. Если удобоукладываемость уменьшается, то из этой бетонной смеси не изготавливают контрольные образцы, а если удобоукладываемость увеличивается и отсутствует заметное водоотделение, то корректируют состав бетона по принятому  $r$ , доводя до заданной подвижности, и по формуле (7) определяют фактический расход цемента.
- Сравнением расхода цемента в начальном и вспомогательном составах устанавливают оптимальное значение доли песка, соответствующее минимальному расходу цемента, необходимого для получения бетонной смеси заданной удобоукладываемости на данных материалах, при требуемом значении  $C/V$ . При необходимости число вспомогательных составов может быть увеличено до четырех.

- Из выбранного оптимального начального состава с минимальным расходом цемента и заданной удобоукладываемостью бетонной смеси изготавливают контрольные образцы для определения прочности бетона после его тепловой обработки по принятому режиму и в проектном возрасте.
- Дополнительные составы бетона рассчитывают, изменяя значение  $C/V$ , принятое в начальном составе [ на  $\pm(0,3 - 0,5)$ ], и принимая значение  $V$  и  $Щ$  по оптимальному составу, значение  $П$  увеличивают или уменьшают на величину уменьшения или увеличения значения  $C$ . В двух дополнительных составах определяют удобоукладываемость, плотность, фактические расходы материалов и изготавливают из них контрольные образцы.
- По результатам определения прочности бетона в начальном и дополнительном составах строят базовые зависимости прочности бетона после тепловой обработки и в проектном возрасте в зависимости от отношения  $C/V$ . По этим зависимостям определяют значение  $C/V$ , обеспечивающее получение бетона с заданной отпускной и проектной прочностью.
- На основании определенного  $C/V$  отношения, средней фактической плотности бетонных смесей, расхода воды и крупного заполнителя рассчитывают количество цемента и мелкого заполнителя для номинального состава бетона.