

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 ² , 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
V7,5	300	-	300	-	-	-
V10	300	400	300	400	400	300
V12,5	300	400	300	400	400	300; 500
V15	400	300; 500	400	300; 500	400	300; 500
V20	400	300; 500	400	300; 500	400	300; 500
V22,5	400	500	400	500	500	400
V25	400	500	400	500	500	400
V30	500	400; 550	500	400; 550	500	400; 550
V35	500	550	500	550	500	550
V40	500	550	500	550	550	-
V45	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:

$$C_{w,28} = \frac{R_{pr} \cdot K_{pr}}{f_{cm,28} \cdot K_{tr}} \quad (1)$$

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

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

K_{tr} - 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 C/B и активности цемента при пропаривании

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

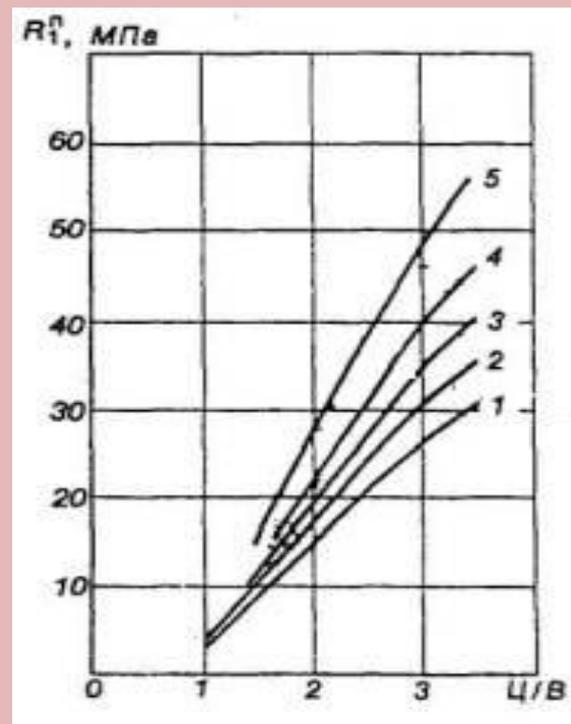
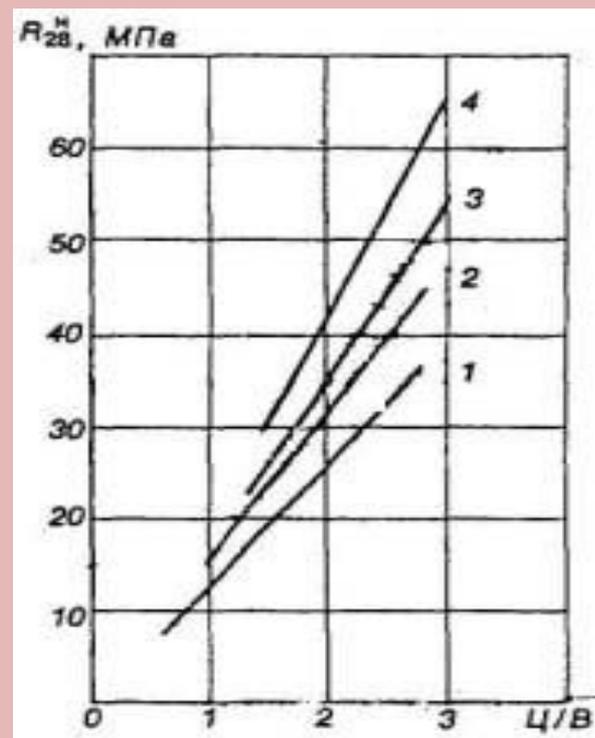


Рис. 2 Зависимость прочности бетона в возрасте 28 сут от отношения C/V и марки цемента

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 ³ 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 м³ 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 ³	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 ± 1 см, а жесткость - не более ± 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.