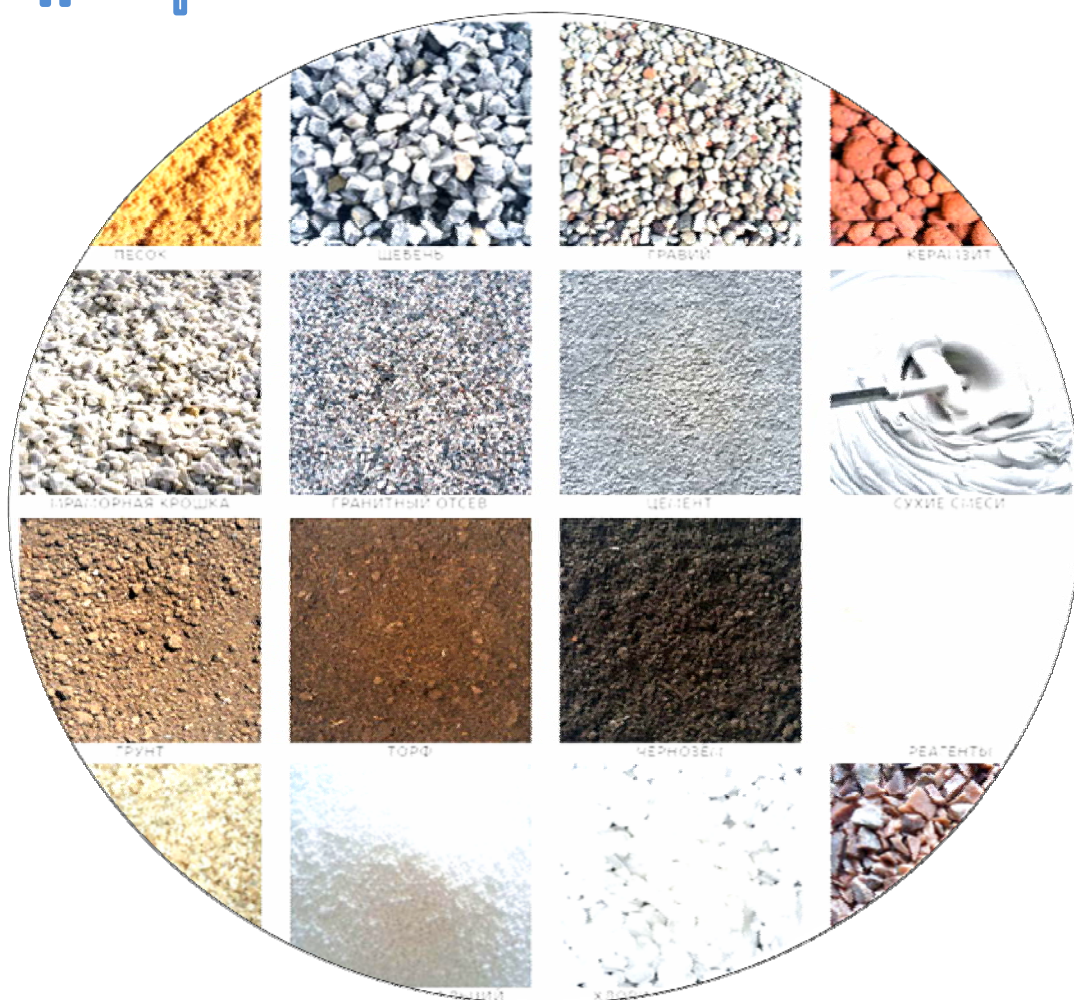


МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическому занятию по дисциплине
«Научные основы технологии производства цементных бетонов и изделий из них» для студентов направления подготовки 08.04.01
«Строительство», профиль «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов»

Влияние дисперсности на механические свойства бетона



Казань
2018

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА**

Методические указания к практическому занятию по дисциплине
«Научные основы технологии производства цементных бетонов
и изделий из них» для студентов направления подготовки 08.04.01
«Строительство», профиль «Инновационные технологии
высокопрочных и высокофункциональных бетонов»

Казань
2018

УДК 693.54
ББК 38.33
М80

М80 Влияние дисперсности на механические свойства бетона: Методические указания к практическому занятию по дисциплине «Научные основы технологии производства цементных бетонов и изделий из них» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство», профиль «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов» /Сост.: Н.Н. Морозова, Г.В. Кузнецова.– Казань, Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та , 2018.– 12 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях согласно учебной программе приведены основные характеристики, используемые для описания дисперсных материалов, их расчетные формулы. Описывается методика определения дисперсности сыпучих материалов и подбор плотной упаковки мелкого заполнителя для получения высокопрочных и высокофункциональных бетонов.

Ил. 2 , табл. 6 , формул 12, библиогр. 7 наимен.

Рецензент

Начальник лаборатории ООО «Казанский ДСК»

Э.В. Ерусланова

УДК 693.54
ББК 38.33

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2018

© Морозова Н.Н., Кузнецова Г.В.,
2018

Введение

Физико-механические свойства материала характеризуются способностью сопротивляться различным внешним механическим воздействиям. Механическая прочность материала характеризуется пределами прочности: 1) при сжатии; 2) при растяжении; 3) при изгибе и 4) прочностью на истирание.

Как известно, бетонная смесь по своему составу – многокомпонентная полидисперсная система. Она состоит из неоднородных по свойствам и размерам частиц твердой фазы – цемента, мелкого и крупного заполнителя и других твердых включений или добавок, жидкой фазы – воды затворения и газообразной фазы – вовлеченного и заземленного воздуха. Эта сложная по составу система имеет многообразие структурообразующих и деструктивных свойств, определяющих долговечность строительного объекта.

1. Основные характеристики дисперсных материалов

Основное механическое свойство твердых тел – их прочность. Количественной характеристикой прочности материалов служит предельное напряжение (p_c , Н/м²), при котором происходит разрыв образца (стержня) при одноосном растяжении.

Предельное напряжение определяется уравнением:

$$p_c = f_c / A , \quad (1)$$

где f_c – растягивающая сила, вызывающая разрыв;

A – площадь поперечного сечения образца.

Для образцов с достаточно большим поперечным сечением (диаметр $d > 0,1$ мм) прочность зависит только от химической природы вещества. Однако для тонких образцов, диаметр которых соответствует размеру дисперсных частиц, показан явный размерный эффект. Он заключается в том, что предельное напряжение увеличивается по мере уменьшения диаметра (d) стержней, волокон, частиц и т.д. Этот масштабный эффект иллюстрирует зависимость прочности (p_c) стеклянных нитей от их диаметра (d) (табл. 1).

Изменение предельного напряжения стеклянных нитей от их диаметра

d, мкм	22,0	16,0	12,5	8,0	2,5
p_c , Н/м ²	220	1070	1460	2070	5600

Приведенные данные показывают, что прочность тонких нитей резко возрастает по мере уменьшения их диаметра.

Поскольку создание искусственных строительных материалов проходит при различных химических реакциях, в которых имеется граница раздела фаз, то все химические реакции подразделяются на гомогенные и гетерогенные (химическая реакция, протекающая в пределах одной фазы, называется гомогенной химической реакцией, а гетерогенные реакции протекают на поверхности раздела фаз). Количественной оценкой в этих системах (структурах) является дисперсность материала.

Дисперсность – физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в дисперсных системах. Это величина, показывающая какое число частиц можно уложить вплотную в одном кубическом метре. Чем меньше размер частиц, тем больше дисперсность.

Основные характеристики, используемые для описания дисперсных систем:

а) характеристический размер частиц – a ; (м); для сферических частиц – это диаметр сферы d , для кубических – ребро куба l ;

б) дисперсность (раздробленность) D – это величина, обратная наименьшему размеру частиц:

$$D = \frac{1}{a}, (\text{м}^{-1}), \quad (2)$$

в) удельная поверхность $S_{уд}$ – это межфазная поверхность ($S_{1,2}$), приходящаяся на единицу объема дисперсной фазы (V) или ее массы (m):

$$S_{уд}^V = \frac{S_{1,2}}{V}, \left(\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} = \frac{1}{\text{м}} \right); \quad S_{уд}^m = \frac{S_{1,2}}{m}, \left(\frac{\text{м}^2}{\text{кг}} \right). \quad (3)$$

Для кубических частиц:

$$S_{уд}^V = \frac{6l^2}{l^3} = \frac{6}{l} = 6D. \quad (4)$$

Для сферы:

$$S_{уд}^V = \frac{\pi d^2}{1/6\pi d^3} = \frac{6}{d} = 6D. \quad (5)$$

В общем виде:

$$S_{уд}^V = \frac{k}{d} = kD, \quad (6)$$

где k – коэффициент формы, тогда

$$S_{уд}^V = \frac{k}{d\rho} = \frac{kD}{\rho}. \quad (7)$$

Коэффициенты формы для сферических, кубических частиц $k = 6$, для пленок $k = 2$, для волокон $k = 4$. С увеличением дисперсности или уменьшением размера частиц возрастает удельная поверхность.

2. Основные характеристики сыпучих материалов

С изменением влажности песка изменяется его объем. Максимальный объем песок занимает при влажности 5–7%, что необходимо учитывать при расчете вместимости складов.

Молекулярная влагоемкость (количество воды, удерживаемой за счет молекулярного взаимодействия на поверхности зерен минералов) зависит от характеристики смачиваемости поверхности зерен и степени их дисперсности.

Таблица 2

Максимальная влагоемкость материала

Наименование материала	Максимальная молекулярная влагоемкость, % по объему
Крупный песок	1,57
Средний песок	1,6
Мелкий песок	2,73
Очень мелкий песок	4,75
Суглинки	8-12
Лёссы	20-23
Глины	40-45

Капиллярная влагоемкость соответствует количеству воды, удерживаемой в пустотах породы за счет действия капиллярных сил. Ее величина возрастает с уменьшением среднего размера пустот, главным образом поровых каналов и для песков составляет несколько процентов, для глин — от 18 до 50%.

Важная характеристика – удельная поверхность зерен песка, которая обратно пропорциональна диаметру зерен песка.

Удельную поверхность зерен песка (S) определяют по формуле А.С. Ладинского:

$$S = BK(a+2b+4c+8d+16e+36f)/1000, \quad (8)$$

где B – коэффициент, равный 16,5 при определении удельной поверхности песка в м²/л, и равный 6,35 при определении удельной поверхности песка в м²/кг;

K – коэффициент, учитывающий форму поверхности и шероховатость поверхности зерен песка, равен 2,1 для горного песка, K = 1,7 для морских и речных средних песков и K = 1,3 для мелких песков; a, b, c, d, e – частные остатки на стандартных ситах (от 2,5 до 0,16); f – проход через сито 0,16.

Критерием качества песка служит так называемый модуль эффективности M_{эфф}, который показывает расход цементного теста, необходимого для заполнения пустот в 1кг песка и для обмазки поверхности его зерен. Для подсчета модуля эффективности песка толщина пленки цементного теста на поверхности песчинок принимается равной 0,013мм.

Модуль эффективности песка равен:

$$M_{эфф} = V_{мп}/P_n + 0,013S, \quad (9)$$

где S – удельная поверхность песка в м²/кг, V_{мп} – объем межзерновых пустот в долях единицы; P_n – плотность насыпная в кг/л.

Одной из простейших упаковок является **кубическая упаковка** монодисперсных сферических частиц (рис. 1а). В данном типе упаковки каждая сфера имеет контакт с 6 окружающими ее сферами. Плотность кубической упаковки составляет 52,36 % или $\pi/6$, а зазор между частицами, в

который возможно проникновение других (более мелких) частиц, составляет $d(\sqrt{2}-1)\approx 0,4142d$.

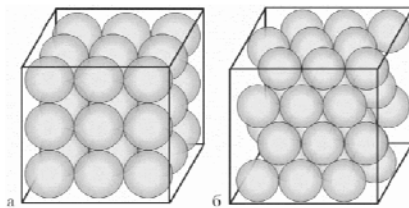


Рис. 1. Вид кубической (а) и гексагональной (б) упаковок монодисперсных сфер

Наиболее плотной является *гексагональная упаковка* монодисперсных сферических частиц (рис. 1б). В этой упаковке каждая сфера имеет контакт с 12 окружающими ее сферами. Плотность гексагональной упаковки составляет 74,05 % или $\pi/3\sqrt{2}$.

Наиболее плотной из возможных упорядоченных упаковок зерен одного размера является плотнейшая гексагонально кубическая, с пустотностью, равной 26% [1].

Межзерновая пустотность ($V_{мп}$) для зернистых и порошкообразных материалов рассчитывается по формуле:

$$V_{мп} = [1 - (\rho_n / \rho_m)] 100\%, \quad (10)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, г/см³; ρ_m – средняя плотность материала, г/см³.

Для определения влияния мелкого заполнителя песка на свойства бетона определяется водопотребность песка V_p и коэффициент прочности песка A_p :

$$V_p = 100(V/C_1 - V/C_2)/2, \% , \quad (11)$$

$$A_p = R_p / ((R_c(C/V))^p - 0,51). \quad (12)$$

V/C_1 – водоцементное отношение растворной смеси состава 1:2 заданного распыла конуса; V/C_2 – водоцементное отношение цементного теста заданного распыла конуса; R_p – прочность при сжатии раствора в марочном возрасте; R_c – активность цемента.

Согласно [2–7], зерновой состав мелкого заполнителя зависит от требований к бетону на его основе. Так, например, по ГОСТ 26633 зерновой состав мелкого заполнителя должен соответствовать графику (рис. 2).

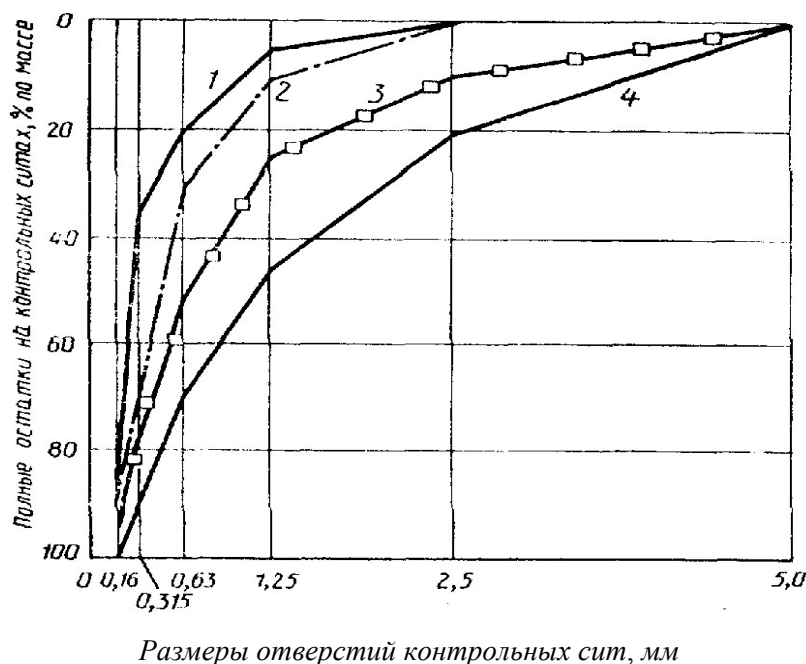


Рис. 2. График зернового состава мелкого заполнителя:

1 - нижняя граница крупности песка (модуль крупности 1,5); 2 - нижняя граница крупности песка (модуль крупности 2,0) для бетонов класса В15 и выше; 3 - нижняя граница крупности песка (модуль крупности 2,5) для бетонов класса В25 и выше; 4 - верхняя граница крупности песков (модуль крупности 3,25)

При этом учитывают только зерна, проходящие через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм. При несоответствии зернового состава природных песков требованиям графика следует применять укрупняющую добавку к мелким и очень мелким пескам – песок из отсевов дробления или крупный песок, а к крупному песку – добавку, понижающую модуль крупности, – мелкий или очень мелкий песок.

Подбор состава плотной упаковки песка из нескольких песков разной крупности заключается в получении такого зернового состава, когда кривая просеивания этого песка вписывается в область допустимых значений графика (рис. 2) или табл. 3.

Результаты просева, например, двух песков разной крупности заносят в табл. 5, и производят расчет путем подбора процентного содержания каждого песка, например, вариант по табл. 4.

Таблица 3

Технические требования к пескам по гранулометрии ГОСТ 26633

Наименование	Размер отверстий контрольных сит, мм					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Полный остаток на ситах, % (мас)	0-0	0-20	5-48	20-70	35-90	85-100

Таблица 4

Варианты составного песка

№ состава	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Состав смеси из песков по Мкр 2,54+1,12,%	10+90	20+80	30+70	40+60	50+50	40+60	30+70	20+80	10+90

Для расчета составного песка принимаем за k_1 процентное содержание в долях единицы первого вида песка (Π_1) и аналогично k_2 – для песка Π_2 , т.е. для состава составного песка из крупного (Π_1) и мелкого (Π_2) при соотношении 20%+80%, соответственно, значения k будут : $k_1=0,2$ и $k_2=0,8$. Сумма значений k_i всегда равна 1. Расчет ведут в табличной форме (табл. 4).

Таблица 5

Результаты подбора зернового состава составного песка

Размер сита	Песок № 1			Песок № 2			Полный остаток составного песка $(\Pi_1 \times k_1) + (\Pi_2 \times k_2)$
	полный остаток, $(\Pi_1) \%$	k_1	$\Pi_1 \times k_1$	полный остаток, $(\Pi_2) \%$	k_2	$\Pi_2 \times k_2$	
2,5							
1,25							
0,63							
0,315							
0,16							
Менее 0,16							

Расчет производим для всех вариантов (табл. 4). По полученным результатам полного остатка составного песка (табл. 5) строим график, аналогичный рис. 2. Из всех полученных кривых выбираем те, которые оказались внутри допустимой области, или которые вписываются в технические требования к пескам по гранулометрическому составу (табл. 3).

В случае необходимости применения заполнителей с показателями качества, отличающимися от требований ГОСТ 8736, ГОСТ 5578, ГОСТ 26633 и других подобных, предварительно должно быть проведено их исследование в бетонах для подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения бетонов с нормируемыми показателями качества. Так, в бетонах класса по прочности до В30 или $V_{tb}4,0$ включительно допускается использование очень мелких песков с модулем крупности от 1,0 до 1,5 с содержанием зерен менее 0,16 мм до 20 % по массе и пылевидных и глинистых частиц не более 3 % по массе.

3. Цель и задачи работы

Целью данной работы является установление влияния фракционного состава мелкого заполнителя на технологические свойства бетонной смеси и прочность бетона.

Задачи исследования :

- оптимизация фракционного состава по кривой отсева и расчет модуля эффективности песка;
- определение водопотребности песка от модуля крупности песка;
- влияние модуля крупности В/Ц смеси, подвижность и плотность;
- влияние модуля крупности на прочность при изгибе и сжатие.

4. Порядок проведения работы

Работа выполняется бригадами по 3–5 человек. Каждая бригада работает с одним видом песка и выполняет последовательно все три задания. Каждая бригада получает результаты других, и по результатам работы делает вывод о влиянии дисперсного состава на физические показатели и физико-механические свойства бетона.

Задание 1. Произвести рассев трех видов песка на фракции и рассчитать их удельную поверхность. Рассчитать модуль эффективности песка. Построить кривую просеивания песков и сопоставить с требованиями рис. 2 (ГОСТ 26633-

91) и произвести подбор оптимального фракционного состава песка расчетным способом. Пример табл.4 . Результат оформить по табл.5.

Задание 2. Определить водопотребность песка (трех видов) и рассчитать оптимальный состав. Определить коэффициент прочности бетона с тремя видами песков (различные модули крупности) и на оптимальном его составе.

Задание 3. Подготовить три фракций песков: 5-1,25; 1,25- 0,315 и 0,315 -0,16 и два варианта составных песков для приготовления мелкозернистого бетона и оценки его прочности при изгибе и на сжатие (табл. 6).

Таблица 6

Влияние фракционного состава песка на свойства бетона

№	Фракции песка, %			Свойства смеси	Свойства бетона
	5-1,25;	1,25- 0,315	0,315 -0,16		
1	не фракционированный			В/Ц, подвижность, плотность	Прочности при изгибе и сжатие.
2	60	30	10		
3	60	10	30		
4	70	10	20		
5	70	20	10		
6	Составной песок по результатам расчета из двух видов				
7	Составной песок по результатам расчета из трех видов				

Список использованных источников

1. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е., Хохлова Ю.В. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет.– Иваново: 2008.– 116 с.

2. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник для студ. вузов.– 4-е изд.– М.: АСВ, 2007.– 528 с.

3. Панченко А.И., Харченко И.Я. Мелкозернистый бетон в монолитном строительстве: проблемы, теория и технология эффективного использования. Часть 1 // Технологии бетонов, 2011, № 5–6. С. 42–44.

4. Морозова Н.Н., Матеюнас А.И., Морозов Н.М. Строительно-технические свойства монолитного бетона на ОПГС// Известия Казанского

государственного архитектурно-строительного университета. 2006. № 1 (5). С. 36–38.

5. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Шемелова Т.А. Влияние гранулометрии природных песков на технологию силикатного кирпича// В сборнике: Инновационное развитие современной науки: материалы Международной научно-практической конференции, 2015. С. 43–45.

6. Соколова Е.Ю., Матвеева О.И. Влияние тонкодисперсных компонентов на реологические и технические свойства цементных бетонов и растворов. // Евразийский союз ученых, 2015. № 6–2 (15). С. 160–164.

7. Морозов Н.М., Боровских И.В., Галеев А.Ф. Влияние вида песка на свойства мелкозернистого бетона. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2016. № 4 (38). С. 370–375.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

Методические указания к практическому занятию по дисциплине
«Научные основы технологии производства цементных бетонов
и изделий из них» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство»,
профиль «Инновационные технологии
высокопрочных и высокофункциональных бетонов»

Составители: Морозова Нина Николаевна
Кузнецова Галина Васильевна