

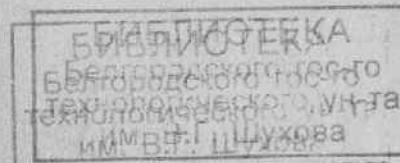
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова
Кафедра строительного материаловедения, изделий и конструкций

1041

Утверждено
научно-методическим советом
университета

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 290300 – Промышленное и гражданское
строительство, 290500 – Городское строительство и хозяйство,
290600 – Производство строительных материалов, изделий и
конструкций, 290700 – Теплогазоснабжение и вентиляция,
072000 – Стандартизация и сертификация, 291400 – Проектирование
зданий и сооружений



Белгород 2003

УДК 620.22(075)
ББК 30.3
М 54

Составители: Толстой А.Д., канд. техн. наук, доц.
Хархардин А.Н., д-р техн. наук, проф.

Рецензент Коломацкий А.С., д-р техн. наук, проф.

Материаловедение: Методические указания. – Белгород: Изд-во
М 54 БГТУ им. В.Г.Шухова, 2003. – 42 с.

В данном издании представлены методики выполнения лабораторных работ по дисциплине "Материаловедение". Каждая лабораторная работа содержит четыре варианта заданий и предполагает использование стандартных и нестандартных способов проведения работ.

Методические указания предназначены для студентов специальностей 290300, 290500, 290600, 290700, 072000, 291400.

УДК 620.22 (075)
ББК 30.3

ОБелгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г.Шухова, 2003

3

СОДЕРЖАНИЕ

Принципы проектирования составов и получения композиционных материалов.....	3
Лабораторная работа № 1. Проектирование состава и изготовление образцов высокоплотного материала.....	4
Лабораторная работа № 2. Проектирование состава и изготовление композиционного материала по раздельной технологии.....	13
Лабораторная работа № 3. Проектирование состава и изготовление образцов высокопористого материала.....	19
Лабораторная работа № 4. Комплексная количественная оценка качества материалов.....	25
Лабораторная работа № 5. Изучение деструктивных процессов в композиционных материалах.....	35
Библиографический список	41

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Главным требованием при подборе состава композиционного материала является обеспечение оптимального соотношения конструкционных фаз, которое достигается введением исходных компонентов; при этом должно обязательно выполняться требование заданных характеристик.

Существует несколько форм выражения состава композиционного материала. Обычно указывается численное значение расхода компонентов в весовом или объемном виде, приходящееся на единицу объема, веса или площади готового изделия. Состав может быть представлен в виде соотношения между составными частями как отношение простых или дробных чисел, где обязательно присутствует единица, выражаяющая количество основного компонента.

Различают номинальный и рабочий составы композиционных материалов. *Номинальный* (расчетный) состав – это численные значения количества основных компонентов, полученные в результате расчета с использованием эмпирических формул, когда исходные компоненты считаются абсолютно сухими. *Рабочий* состав – это количество исходных компонентов композиционного материала, полученное путем введения поправок в номинальный состав с учетом механических или химически связанный воды, загрязненности и других факторов, которые могут иметь место в производственных условиях.

Для определения состава необходимо знать характеристики всех составляющих компонентов и требования к их качеству, изложенные в соответствующих нормативных документах.

Существуют стандартные методы оценки качества исходных материалов, которые позволяют получить общие характеристики свойств материалов и их пригодности к работе. При этом обязательным является учет технологичности данных материалов.

Современные технологии позволяют получать самые разнообразные композиционные материалы. Однако нет необходимости при этом создавать для каждого случая свой метод подбора состава. Поэтому подбор составов близких по свойствам материалов выполняется по единому методу. Специфические требования к материалам учитываются введением соответствующих корректировок.

Проверка правильности подбора состава композиционного материала производится экспериментальным путем с изготовлением опытных или опытно-промышленных образцов при соблюдении норм и требований действующих нормативно-технических документов (инструкций, руководств, государственных стандартов).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОПЛОТНОГО МАТЕРИАЛА

Основные понятия

Высокоплотные материалы – это материалы, полученные способом плотнейшей упаковки и соединения между собой входящих в них частиц по регулярному или случайному закону. Частицы рассматриваются здесь в форме, близкой к шарообразной. Такой плотнейшей упаковкой является гексагональная укладка частиц (зерен), когда в первом слое зерна соприкасаются поверхностями с максимально возможным числом соседей, а зерна очередных верхних слоев располагаются в лунках или ложбинах между смежными зернами в ряду. Если начать разъединять параллельные, а затем и перпендикулярные к ним ряды, то можно установить, что величины этих разъединений определяются устойчивыми расстояниями между центрами противоположных частиц в пространственных решетках: $\sqrt{2}d$, $\sqrt{6}d/2$, $2d/\sqrt{3}$, где d – диаметр зерен. При этом плотные регулярные укладки зерен в пространстве образуют пять повторяющихся упаковок при 12-ти неповторяющихся способах с коэффициентами упаковки η и частотой появления k соответственно равными 0,5296-3; 0,6046-3, 0,6802-1; 0,6981-2; 0,7405-3.

Случайная упаковка частиц в объеме характеризуется наличием локальных, переходящих из одного в другой, фрагментов регулярных укладок. Считая, что усредненный коэффициент регулярных укладок в объеме есть случайная величина, получим:

$$\bar{\eta} = \sum k\eta / \sum k = (3 \cdot 0,5236 + 3 \cdot 0,6046 + 0,6802 + 2 \cdot 0,6981 + 3 \cdot 0,7405) / 12 = 0,6402. \quad (1.1)$$

Рассчитанный таким образом усредненный коэффициент упаковки характеризует плотное состояние зерен в объеме, образующих случайную плотную упаковку. Размеры пустот в случайной упаковке определяются путем заполнения их зернами последовательно меньшего, но соответствующего размера. Наличие в случайной гексагональной упаковке фрагментов с кубической укладкой зерен (менее плотной) позволяет принять наименьшую прерывистость в их размерах. Модуль этой прерывистости определяется по формуле

$$M = d_1/d_2 = 1/(\sqrt{3}-1). \quad (1.2)$$

где $d_2 = (\sqrt{3}-1)$; $d_1 = 0,732$ – размер пустот между шарами в укладке.

Диаметры зерен других, более мелких фракций, рассчитывают по следующей формуле:

$$d_3 = d_2(\sqrt{3}-1) = d_1(\sqrt{3}-1)^2 = 0,527d_1; \quad (1.3)$$

$$d_4 = d_3(\sqrt{3}-1) = d_1(\sqrt{3}-1)^3 = 0,392d_1; \quad (1.4)$$

$$d_n = d_1(\sqrt{3}-1)^{n-1}. \quad (1.5)$$

Объемная доля шаров размером d_n , помещающихся в образуемых пустотах, находится при помощи формулы

$$V_n = m_n \eta_1 (d_n/d_1)^3, \quad (1.6)$$

где m_n – число пустот последовательно меньшего размера, приходящихся на одно зерно упаковки, подсчитывается обычным приемом, известным в кристаллохимии;

$$m_n = N_n/p, \quad (1.7)$$

где N_n – число зерен размером d_n , помещающихся в соответствующих пустотах упаковки; p – число наибольших одинаковых шаров в контейнере; η_1 – коэффициент случайной упаковки частиц.

Коэффициент случайной упаковки частиц η_1 определяют уплотнением навески зернистого материала утряской, вибрацией или центрифугированием в водном растворе суперпластификатора с разбавлением 3:1.

Результаты практических измерений дают среднюю величину коэффициента случайной упаковки частиц в контейнере $\eta_1 = 0,63716$.

Практическое значение имеет закон распределения частиц в высокоплотных составах зернистых материалов при заполнении ими пустот в образующихся случайных упаковках:

$$d_n/d_1 = (2,549/10 \cdot \eta_1)^{m/(k-1)/3} \Phi_{n-1}/\Phi_n, \quad (1.8)$$

где Φ_{n-1}/Φ_n – коэффициенты формы частиц очередного и последующего размеров (для частиц сферической формы $\Phi_n = 1$, для несферической формы $\Phi_n \geq 1$); m – степень распределения частиц ($m = 0-12$).

При непрерывной гранулометрии получают составы с $0 < m < 3$, при прерывистой – $3 \leq m < 6$.

Анализ этого закона позволяет получить важные критериальные значения η_1 , поскольку дает распределение пустот в упаковке при

различных допустимых размерах пустот между ними.

Коэффициент формы частиц зернистых материалов значительно влияет на точность результатов экспериментального определения плотности упаковки в искусственных каменных конгломератах, в особенности при наличии в них тонкодисперсных материалов. На практике форму частиц устанавливают под микроскопом и отождествляют с формой различных правильных геометрических тел (табл. 1.1), коэффициент формы которых рассчитывается в зависимости от состояния зернистого слоя. В расчетах используют коэффициент формы частиц, определяемый отношением объема шарообразной частицы материала к поверхности данного шара, либо обратную ей величину – фактор формы. В составе композиций чаще принимают коэффициент формы зернистого материала.

Таблица 1.1
Значения коэффициента формы частиц для геометрических тел
(a – длина, r – радиус, h – высота)

Форма частиц	Φ	Форма частиц	Φ
Шар	1,0	Цилиндр ($h=2r$)	1,1447
Куб	1,2407	« ($h=3r$)	1,1628
Призма ($adx2a$)	1,3038	Эллипсоид ($axah1,5a$)	1,1450
« ($ax2ax2a$)	1,3140	« ($axax2a$)	1,5200
« ($ax2ax3a$)	1,3793	Округлая	1,1600
Диск ($h=r$)	1,2114	Угловатая	1,5000

Цель работы – подбор состава и изготовление композиционного материала высокой плотности.

Аппаратура и материалы: весы технические; стандартный набор сит для рассева щебня и песка; открытая емкость для перемешивания формовочной массы; лопатки для перемешивания; стандартный конус СтройЦНИЛ; штыковка; мерные емкости; линейки; стальные формы размером 10 x 10 x 10 см; пресс гидравлический, развивающий усилие 50 т; портландцемент М 400; щебень гранитный, сланцевый, кварцитопесчаниковый; керамзитовый гравий; кварцевый песок; пластифицирующая добавка; вода.

Расчет состава плотного материала

Цель расчета состава высокоплотной смеси с переменным модулем прерывности гранулометрического состава m – подбор оптимального состава смеси частиц каменного материала по данным ситового анализа

продуктов дробления горных пород. Оптимальным составом считают тот, который можно получить при наименьших затратах с высокоплотной упаковкой частиц в смеси.

Исходные данные. Число фракций рассчитывать с использованием данных табл. 1.2.

Таблица 1.2

Класс системы m и диаметр d зерен фракций материала

Вариант	Класс системы (m)	Диаметр зерен фракции (d_i), мм
1	9	5–10
2	6	10–20
3	4	10–20
4	3	20–40

Вид зернистого материала принять по табл. 1.3.

Таблица 1.3

Вид зернистого материала

Вариант	1	2	3	4
Материал	Гранит	Керамзит	Сланцы	Кварцитопесчаник

Удобоукладываемость формовочной смеси принять по табл. 1.4.

Таблица 1.4

Удобоукладываемость формовочной смеси

Вариант	1	2	3	4
Подвижность, см	6–8	3–5	1–2	9–12

Ход работы

Вычислить насыщенную плотность каждой фракции в уплотненном состоянии по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = m/v, \quad (1.9)$$

где m – масса навески зернистого материала испытуемой фракции в уплотненном состоянии, г; v – объем, занимаемый навеской заполнителя в уплотненном состоянии, см^3 .

Рассчитать истинную плотность частиц заполнителя по формуле

$$\rho_{\text{ис}} = m'/v', \quad (1.10)$$

где m' и v' – масса и объем навески материала в абсолютном плотном состоянии (без учета пор и пустот) соответственно.

$\rho_{\text{нас}}$ и $\rho_{\text{ис}}$ определяются по методике, известной из курса "Строительные материалы".

Определить коэффициент упаковки η_1 для каждой отдельной фракции:

$$\eta_1 = \rho_{\text{нас}}/\rho_{\text{ис}}. \quad (1.11)$$

Определить число фракций n , необходимых для приготовления высокоплотных составов в соответствии с заданным классом распределения частиц. Число фракций находят исходя из граничного значения наименьшего диаметра частиц. После чего число фракций с большими размерами частиц принимается исходя из стандартных размеров сит (указываются преподавателем):

$$d_{\min} = d_{1\text{ep}} [0,255/\eta_1]^{n/(n-1)^{1/3}} \quad (1.12)$$

Количество фракций определяется исходя из последовательности определений диаметров, пока d_{\min} приблизится к значению 0,14 мм, и будет выполняться условие $d_{\min} \geq 0,14 \text{ мм}$ ($n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, 12$).

Вычислить массу каждой фракции, придав количество первой наиболее крупной фракции (основы) $G_1=1(\text{кт.})$:

$$G_n = (1-\delta_{n-1})\beta_{n-1}(n/\delta_{n-1})\sum G_{n-1}, \quad (1.13)$$

где β_n – коэффициент раздвижки зерен; $\beta_{n-1} = (\delta_n/\eta_n)^{1/n}$; δ_{n-1} – коэффициент упаковки смеси фракций, состоящей из двух, трех, четырех и более фракций;

$$\delta_n = \delta_{n-1} + [(1-\delta_{n-1})\beta_{n-1}]X_n, \quad (1.14)$$

где X_n – степень заполнения свободного объема в смеси с очередной фракцией;

$$X_n = \phi_n/[n/2(n-1)], \quad (1.15)$$

где ϕ_n – степень приращения плотности упаковки при добавлении в смесь n -й фракции (принимается по табл. 1.5 в зависимости от значения m).

* При расчете коэффициента упаковки, состоящей из смеси первых двух фракций, принять $\delta_1 = \eta_1$.

Таблица 1.5

Значение коэффициента ϕ в зависимости от класса системы m

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ϕ_m	0,033	0,052	0,080	0,123	0,189	0,227	0,290	0,350	0,422	0,54	0,60	0,70

Схематично распределение частиц по относительным размерам можно представить следующим образом (рис.1.1):

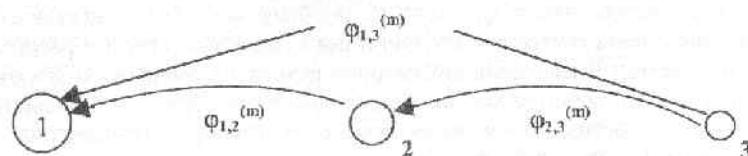


Рис.1.1. Распределение частиц в пустотах между более крупными частицами в соответствии с их размерами

Вычислить необходимое количество вяжущего – наиболее мелкого компонента плотнейшего состава.

В общем случае композиционный материал состоит из наполнителя и вяжущего вещества (вязующего). Частицы цемента или полимерного связующего заполняют свободный объем между более крупными зернами наполнителя и склеивают их тонкой прослойкой при полном смачивании их поверхности:

$$M_u = 1000[1 - \{\delta_u / (1 - 0,33 \cdot S \cdot \rho_{us}^{(m)})\}], \quad (1.16)$$

где $\delta_u^{(m)}$ – коэффициент упаковки смеси фракций заполнителя; $\rho_{us}^{(m)}$ – истинная плотность заполнителя, $\text{г}/\text{см}^3$; a – толщина оболочки цементного теста на поверхности частицы заполнителя, см (определяется по табл. 1.7); S – удельная поверхность частиц смеси фракций, $\text{см}^2/\text{г}$;

$$S = \sum S_n = 6\Phi / (d_{cp} \rho_{us}^{(m)}), \quad (1.17)$$

где Φ – коэффициент формы частиц (определяется по табл. 1.6).

Таблица 1.6

Толщина оболочки цементного теста a на поверхности частицы

Показатель	Вариант			
	1	2	3	4
a	0,01	0,015	0,020	0,024

Как видно из приведенных уравнений, определяющим фактором степени плотности получаемого состава композиционных материалов является коэффициент разъединения частиц либо толщина вяжущего (вязующего) на их поверхности. Этими параметрами определяются не только прочность композиционных материалов, но и реологические свойства.

Объем воды, необходимой для получения формовочной смеси заданной удобоукладываемости, определяется по табл. 1.7.

Таблица 1.7
Расход воды для приготовления формовочной смеси

Подвижность, см	Расход воды, $\text{л}/\text{м}^3$, при наибольшей крупности зерен, мм					
	Гравий			Шебень		
	10	20	40	10	20	40
9-12	215	200	185	230	215	200
6-8	205	190	175	220	205	190
3-5	195	180	165	210	195	180
1-2	185	170	155	200	185	170

Изготовление опытных образцов материала высокоплотного состава

Рассчитать количество исходных материалов на 8 л бетонной смеси по следующим формулам:

$$\Sigma M_{\text{зап}} = \Sigma M_{\text{изп}} \cdot 0,008; \quad (1.18)$$

$$M_8^u = M_u \cdot 0,008; \quad (1.19)$$

$$B_8 = B \cdot 0,008. \quad (1.20)$$

Предварительно все компоненты состава должны быть высушены до постоянной массы при температуре не выше 80 °C и охлаждены до комнатной температуры.

Отвесить необходимое количество (в соответствии с расчетом) зернистого материала всех фракций вяжущего и отмерить необходимое количество воды. Дозирование производится с точностью до 1 %.

Приготовить формовочную смесь. Для этого нужно:

1) отмеренное количество зернистого материала каждой фракции смешать с отмеренным количеством цемента всухую до получения массы однородного цвета (примерно 1 минуту);

2) в середине сухой смеси сделать воронку, куда влить половину отмеренной воды, осторожно перемешивать смесь до

впитывания прилитой воды, и затем, добавляя оставшуюся воду, перемешивать до достижения полной однородности смеси; продолжительность перемешивания должна составлять не менее 5 мин.

Для снижения водопотребности и улучшения удобоукладываемости формовочной смеси ввести пластифицирующую добавку (С-3, ННК и др.) в количестве, определившем по табл. 1.8.

Таблица 1.8
Количество суперпластификатора для приготовления
формовочной смеси

Вариант	1	2	3	4
Дозировка пластифицирующей добавки (С-3, ННК и др.), %	0,50	0,65	0,80	1,0

По окончании перемешивания проверить подвижность полученной смеси с помощью стандартного конуса СтройЦНИИЛ. Это выполняют в несколько этапов:

1. Форму-конус, предварительно смоченную водой, устанавливают на горизонтальную поверхность и производят ее наполнение смесью тремя равными слоями с уплотнением каждого слоя 25-кратным штыкованием металлическим стержнем (штыковкой).

2. После укладки и штыковки последнего слоя излишек бетонной смеси срезают лопаткой ровень с краями конуса, после чего форму-конус снимают вертикально вверх с образовавшегося бетонного конуса.

3. Освобожденная от формы бетонная смесь под действием собственного веса начинает оседать. После окончания осадки снятую форму-конус устанавливают рядом с осевшим бетоном.

4. На верхнее основание формы-конуса укладывают линейку, от нижнего ребра которой измеряют осадку бетонной смеси с точностью до 1 см. Измерение проводят дважды во взаимно перпендикулярных направлениях и находят среднее арифметическое.

Если осадка конуса получилась меньше заданной, то для увеличения подвижности в смесь добавляют 3–5 % (от расчетного количества) цемента и воды, сохранив В/Ц постоянным. После введения дополнительных количеств зернистого материала бетонную смесь тщательно перемешивают и вновь определяют подвижность. Так производят корректировку состава до тех пор, пока величина подвижности достигнет заданной.

После корректировки обязательно производят пересчет действительного расхода компонентов на 1 м³ бетонной смеси и, вычисляют

теоретическую среднюю плотность полученной формовочной смеси:

$$\rho^{\text{теп}} = M_{\text{ц}} + M_{\text{в}} + B. \quad (1.21)$$

Из бетонной смеси заданной подвижности формуют контрольные образцы-кубы размером 10 × 10 × 10 см в количестве 3 шт. Для этого предварительно смазанную форму заполняют бетонной смесью с избытком, устанавливают на лабораторную виброплощадку и вибрируют до тех пор, пока смесь не выровняется и на ее поверхности не появится тонкий слой цементного молока.

Свежесформованные образцы хранят в формах сутки, после чего вынимают из формы, маркируют, помешают в камеру нормального твердения (при температуре 20±2 °C, относительной влажности воздуха 95–100 %), где выдерживают до момента испытаний 28 сут.

Испытание контрольных образцов на прочность при сжатии производят на гидравлическом прессе.

Перед испытанием определяют среднюю плотность, водопоглощение, пористость, коэффициент размягчения, сколько образцов оставляют для проведения сравнительных испытаний.

Результаты работы по подбору состава высокоплотного материала представляют в виде табл. 1.9.

Таблица 1.9
Итоговая таблица результатов работы

В/Ц	Удобо- уклады- ваемость	Расход компонентов, кг/м ³						Средняя плотность, кг/м ³		Прелеп прочноси- ти при сжатии	Ведо пог- лощ., %	Коэф. размяг- чения	Порис- тость, %
		3 ₁	3 ₂	3 ₃	Ц	В	Д	сме- си	кам- ни				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы получения материалов высокоплотного строения?
2. Как достичь максимальной плотности состава зернистых композиционных материалов?
3. Какой максимально плотной упаковкой можно уложить шарообразные частицы и почему?
4. Что называется случайной и регулярной упаковкой?
5. Как влияет форма частиц на степень их упаковки?

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО РАЗДЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Основные понятия

Тщательный подход к расчету и подбору составов зерновых смесей предусматривает переход к раздельной технологии изготовления композиционных материалов. Раздельная технология заключается не только в разделении твердых компонентов по крупности частиц, но и в получении высокоплотных зерновых составов, оптимальном наполнении цементом и макронаполнителем межзернового пространства, а также в разработке эффективных способов создания плотного монолита.

Искусственные каменные материалы каркасной структуры обладают высокой прочностью при изгибе, низкой усадкой, пониженным содержанием вяжущего, повышенной трещиностойкостью.

Сущность одной из существующих раздельных технологий заключается в получении каркасного материала путем первоначального формования прочной макроструктурной матрицы с последующим заполнением больших пор высокопластичной смесью и объединением их в единый композиционный монолит. Сначала зерна крупного материала склеиваются по форме изделия в каркас, а затем пустоты каркаса заполняются мелкозернистым раствором.

Главной сложностью здесь является операция эффективного заполнения всех пор пластичной смесью.

Раздельной технологией предусматривается:

- разделение заполнителя на крупный (щебень) и мелкий (песок), фракционированных в соответствии с расчетом;
- предварительное опудривание цементом щебня и песка, смоченных водным раствором ПАВ, отдельно для получения цементной корки на поверхности минимальной толщины;
- отдельное приготовление из оставшейся доли цемента (принятого по расчету) цементного теста вместе с макронаполнителем и суперпластификатором;
- формование высокопористого каркаса из крупной части зернистого материала с последующим его затвердеванием;
- заполнение прочного высокопористого материала пластичной матрицей, также с последующим затвердеванием композиции.

Соотношение средних размеров частиц цемента и зерен наиболее мелкой фракции заполнителя (макронаполнителя) должно быть таким,

чтобы в порах между ними размещалось по крайней мере по одной частице цемента при условии, что поверхность их будет покрыта слоем цементного теста минимальной толщины.

Так, если цемент марки М 400 содержит в наибольшем количестве частицы размером 60–40 мкм, то размер частиц мелкой фракции заполнителя должен удовлетворять уравнению

$$d_s \geq (6,5-7,3)d_n. \quad (2.1)$$

В противном случае необходимо увеличивать марку цемента.

Одним из резервов снижения расхода цемента является введение в формовочную смесь активных макронаполнителей – тонкоизмельченного кварцевого песка, мела, глины, талька, пылевидных отходов промышленности из фильтронакопителей.

При смешивании макронаполнителей и цемента важным и необходимым условием является соблюдение геометрического структурного фактора плотного зернистого слоя цемента при отсутствии агрегирования микрочастиц наполнителя. Для этого необходимо в процессе перемешивания обеспечить в жидкой фазе смеси рассредоточение его частиц в пустотах упаковки частиц цемента.

Таким образом, оптимальное количество макронаполнителя, которое необходимо вводить в цемент с целью снижения его расхода и повышения плотности упаковки в цементном камне, находится в пределах 10–25 мас.%.

Цель работы – расчет состава и изготовление композиционного материала каркасной структуры по раздельной технологии.

Аппаратура и материалы: весы технические; стандартный набор сит для рассева щебня и песка; открытая емкость для перемешивания формовочной массы; лопатки для перемешивания; штыковка; мерные емкости; стальная форма со специальной насадкой размером 10 × 10 × 10 см; притул массой 1–2 кг; лабораторная виброплощадка; пресс гидравлический, развивающий усилие 50 т; портландцемент М 400; щебень гранитный, сланцевый; керамзитовый гравий; галька; кварцевый песок, пластифицирующая добавка; вода.

Расчет состава крупнозернистого каркаса

Целью расчета состава является определение количества крупного зернистого материала, которое необходимо для получения высокопористого прочного каркаса композиционного материала.

Исходные данные. Вид крупного зернистого материала (щебня или гравия) принять по табл. 2.1.

Таблица 2.1
Вид крупного зернистого материала

Вариант	1	2	3	4
Вид крупнозернистого материала	Гранитный щебень	Керамзитовый гравий	Гравий	Сланцевый щебень
Насыпная плотность, кг/м ³	1450	550	1480	1420

Фракцию крупного зернистого материала принять по табл. 2.2.

Таблица 2.2
Фракционный состав крупного зернистого материала

Вариант	1	2	3	4
Фракция крупнозернистого материала	20–40	10–20	40–60	20–40

Истинную плотность крупнозернистых материалов условно принять одинаковую и равную 2680 кг/м³.

Ход работы

Вычислить насыпную и среднюю плотность крупного зернистого материала по формулам (1.9) и (1.10).

Определить массу крупного зернистого материала:

$$M_k = \mu_k / (1 + 1/3S \cdot a \cdot \rho_{ic}), \quad (2.1)$$

где μ_k – коэффициент упаковки частиц крупного зернистого материала ($\mu_k = 0,64$); S – удельная поверхность частиц крупного зернистого материала, см²/г;

$$S = 6\Phi / (d_{cp} \cdot \rho_{ic}), \quad (2.2)$$

где Φ – коэффициент формы, определяемый по табл. 1.2; d_{cp} – средний размер частиц крупного зернистого материала, см; a – половина среднего расстояния между смежными частицами, равная толщине слоя вяжущего на их поверхности (принимается по табл. 1.6); ρ_{ic} – истинная плотность крупнозернистого материала, г/см³.

Формование прочного каркаса

Раздельная технология изготовления композиционных материалов предполагает первоначальное формование прочного остова (каркаса) изделия на основе цементного вяжущего. Каркас может формироваться несколькими способами. Один из них предполагает опудривание

цементом зерен крупнокускового материала, смоченных водным раствором ПАВ. Такой способ позволяет получить склеивающий слой из влажного цемента необходимой толщины на поверхности каждой частицы. Последующая укладка в формы опудренных увлажненным цементом зерен дает прочный высокопористый каркас после затвердевания.

Расчет количества цемента

Необходимое количество цемента для изготовления образца каркасного материала полностью рассчитываем по формуле

$$M_u = \mu_u / [1 + 1/3(6/d_{cp}^u \cdot \rho_{ic}^u)] a \rho_{ic}^u, \quad (2.3)$$

где μ_u – коэффициент упаковки частиц цемента ($\mu_u = 0,66$); d_{cp}^u – средний размер частиц цемента ($d_{cp}^u = 0,03$ см); ρ_{ic}^u – истинная плотность цемента ($\rho_{ic}^u = 3,11$ г/см³).

Технология изготовления прочного каркаса

Расчетное количество крупнозернистого материала помещают в емкость с водным раствором ЦАВ (1–2 %) и выдерживают 1 час.

После выдержки раствор ПАВ сливают, а материал выкладывают на горизонтальную поверхность с матерчатой прокладкой. Таким образом зерна промокают, после чего зернистый материал погружают в емкость с расчетным количеством цемента, и сразу же отряхивают, высывав его на поддон. При этом следят, чтобы на поверхности каждого зерна осталось некоторое количество увлажненного вяжущего.

Крупнозернистый материал, опудренный вяжущим веществом, укладывают в форму размером 10 × 10 × 10 см и уплотняют встряхиванием с пригрузом.

Образцы в формах выдерживают 1 сутки. Затем формы распалубливают и образцы хранят в нормальных условиях 7 суток.

Приготовление и укладка цементно-песчаного раствора в поры крупнозернистого каркаса

Из оставшегося после опудривания цемента готовят монтажный раствор. Для этого:

- взвешивают оставшееся количество цемента с точностью до 0,1 г;
- из расчета Ц:З = 1:3 отвешивают необходимое количество мелкозернистого материала, предварительно просеянного через сито 1,25 мм;
- смешивают компоненты в сферической чаше с водой до получения однородной смеси (В/Ц = 0,85).

Укладку высокопластичной растворной смеси в пустоты каркаса

осуществляют в форме со специальной насадкой под давлением. Для этого:

- форму размером 10 x 10x 10 см заполняют на1/3 высокопластичной растворной смесью;
- кубический образец затвердевшего каркасного материала помещают в форму на поверхность растворной смеси;
- на борта формы сверху устанавливают специальную насадку;
- насадку заполняют на 1/2 объема растворной смесью;
- устанавливают на поверхность растворной смеси пригруз массой 1,5–2 кг в насадке;
- форму со специальной насадкой, растворной смесью, образцом и пригрузом устанавливают на лабораторную виброплощадку и вибрируют 10–15 с. до полного заполнения пор и пустот между зернами в каркасном образце; если необходимо, вибрование повторяют несколько раз.

Свежесформованные образцы хранят в формах сутки, после чего вынимают из формы, маркируют, помещают в камеру нормального твердения (при температуре 20±2 °C, относительной влажности воздуха 95–100 %), где выдерживают до момента испытаний 28 сут.

Опытные образцы испытывают на прочность при сжатии, а также определяют среднюю плотность, водопоглощение, пористость, коэффициент размягчения, несколько образцов оставляют для проведения сравнительных испытаний.

Результаты испытаний представляют в виде табл. 2.3.

Таблица 2.3
Итоговая таблица результатов работы

Расход компонентов, кг/м ³				Средняя плотность, кг/м ³		Предел прочности при сжатии, кг/см ²	Водопоглощение, %	Коэффициент размягчения, К _р	Пористость, %		
Крупный	Мелкий	Цемент	Вода	Добавка	каркаса				каркаса	материала	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Контрольные вопросы

1. Сущность раздельной технологии изготовления композиционных материалов.
2. Какие материалы можно получать по раздельной технологии?
3. Из каких исходных компонентов возможно получение композиционных материалов по раздельной технологии?
4. Чем характеризуется материал с жестким каркасом?
5. Каковы преимущества и недостатки раздельной технологии?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

Основные понятия

Облегченные материалы имеют очень важное значение как в строительстве, так в технике, производстве и быту, где необходимы тепло- и звукоизоляция. Легкие материалы имеют в своей толще большое количество защемленного воздуха в порах, пустотах, капиллярах и капернах. Чем большее количество воздуха – самого эффективного изолатора – заключено в материале, тем более качественным является поризованный материал. Жесткие требования к прочности высокопористых материалов обычно не предъявляются – она должна быть такой, чтобы обеспечить целостность изделия при хранении, транспортировке и монтаже.

Способы создания высокопористого строения материала следующие:

– введение в состав композиционного материала компонента, присутствие которого снижает среднюю плотность после затвердевания изделия;

– способ высокого водозатворения формовочной смеси, заключающийся в добавлении большого количества воды, которая испаряясь при твердении изделия, обеспечивает высокую пористость;

– введение в формовочную массу выгорающих добавок (древесных опилок, порошкообразного угля, торфа), которые применяются в высокотемпературных технологиях;

– вспучивание системы способом газовыделения или пенообразования;

– создание пористости путем образования волокнистого каркаса.

Высокопористое строение закрепляется главным образом тепловой обработкой изделий, которая осуществляется различными способами: пропариванием, автоклавированием, сушкой или обжигом.

Наиболее качественным считается материал, содержащий равномерно распределенные мелкие закрытые поры. В замкнутых порах воздух находится в спокойном состоянии и поэтому лучше выполняет роль изолатора. В замкнутые поры не попадает вода, что очень важно для сохранения стабильных физико-механических свойств и долговечности изделия.

Цель работы – получение материала поризованной структуры способом создания высокопористого каркаса с высокими тепло- и звуко-

изоляционными характеристиками на основе древесного заполнителя.

Аппаратура и материалы: весы технические; сите с диаметром отверстий 10 и 20 мм для рассева древесной щепы (дробленки); открытая емкость для перемешивания формовочной массы; лопатки для перемешивания; штыковка; мерные емкости; формы размером 10 × 10 × 10 см; пригруз массой 1–2 кг; лабораторная виброплощадка; пресс гидравлический, развивающий усилие 50 т; портландцемент М 400; древесная щепа (дробленка); фиксирующая химическая добавка (хлорид натрия, сульфат кальция, жидкое стекло, железный купорос); вода.

Подбор состава арболита (древобетона)

Арболит – разновидность легкого бетона, изготавливаемого из смеси органического целлюлозосодержащего заполнителя растительного происхождения (дробленой древесины, костры конопли, льна, сечки стеблей хлопчатника, камыша и др.), минерального вяжущего (обычно портландцемента), химических добавок (хлорида кальция, купороса, жидкого стекла и др.) и воды. Производство арболита – один из наиболее эффективных и рентабельных способов утилизации древесных отходов, не требующий применения сложных технологических схем и больших капиталовложений.

Производят конструкционный арболит ($\rho_{cp}=850\text{--}1200 \text{ кг}/\text{м}^3$), предназначенный для строительства несущих конструкций малоэтажных сельскохозяйственных, промышленных, жилых и культурно-бытовых зданий и сооружений, и конструкционно-теплоизоляционный арболит ($\rho_{cp}=450\text{--}850 \text{ кг}/\text{м}^3$), предназначенный для изготовления самонесущих элементов с повышенными теплоизоляционными свойствами. Иногда арболит поризуют способом газо- или пенообразования.

Изготавливают из арболита мелкоштучные блоки и плиты, многослойные армированные плиты покрытий, перекрытий и перегородок.

При определении состава арболита основными требованиями являются получение заданных значений предела прочности при сжатии (класса по прочности) и средней плотности (марки по плотности) при минимальном расходе цемента. В отдельных случаях предъявляют специальные требования по теплопроводности, морозостойкости, воздухостойкости и др.

Целью расчета состава является определение количества крупного древесного заполнителя, цемента, добавки и воды на 1 м^3 смеси.

Исходные данные. Для изготовления формовочной смеси необходимо использовать портландцемент М 400.

Проектную марку арболита, его среднюю плотность и вид органического заполнителя принять по табл. 3.1.

Таблица 3.1
Проектная марка арболита, его средняя плотность и вид органического заполнителя

Показатель	Вариант			
	1	2	3	4
Вид и наименование плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ (при влажности 15 %), органического заполнителя	Древесная щепа 160	Древесная щепа 150	Стакнина стружка 90	Олика 110
Марка по прочности при сжатии, МПа	3	10	15	25
Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	500	550	650	750

Вид химической добавки и ее расход при изготовлении арболита принять по табл. 3.2.

Таблица 3.2
Вид химической добавки и ее расход

Показатель	Вариант			
	1	2	3	4
Химическая добавка и ее дозировка, $\text{кг}/\text{м}^3$	Хлористый кальций технический 8	Жидкое стекло натриевое 8	Железный купорос 20	Комплексная добавка: -жел купорос-20 -известь-пуд-25

Определение расхода основных компонентов арболитовой формовочной смеси

Первый исходный состав формовочной смеси назначается с использованием таблиц "Руководство по проектированию и изготовлению изделий из арболита" [7].

Ориентировочный расход портландцемента М 400 на 1 м^3 арболита принять по табл. 3.3.

Таблица 3.3
Ориентировочный расход цемента М 400 на 1 м^3 арболита

Вид заполнителя	Максимальный расход вяжущего, кг, в зависимости от марки арболита по прочности, МПа			
	3	10	15	25
1	2	3	4	5
Древесная щепа	310	330	350	380
«дробленка»	290	310	330	360

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
Станочная стружка	320	350	380	400
Опилки	340	360	390	410

Ориентировочный расход сухого органического заполнителя на 1 м³ арболита принять по табл. 3.4.

Таблица 3.4

Ориентировочный расход органического заполнителя

Вид заполнителя	Расход сухого органического заполнителя, кг, в зависимости от марки арболита по прочности, МПа			
	5	10	15	25
Древесная щепа	180	200	220	240
« дробленка	160	180	200	220
Станочная стружка	190	200	220	250
Опилки	220	240	260	280

Ориентировочный расход воды на 1 м³ арболитовой формовочной смеси (при сухих органических заполнителях) принять по табл. 3.5.

Таблица 3.5

Ориентировочный расход воды

Вид заполнителя	Расход воды, л, в зависимости от марки арболита по прочности, МПа			
	5	10	15	25
Древесная щепа	340	370	400	430
« дробленка	330	360	390	420
Станочная стружка	350	380	410	440
Опилки	360	390	420	450

Изготовление образцов высокопористого материала (арболита)

Для проверки заданных характеристик арболита изготавливают три образца-куба размером 10 × 10 × 10 см. Для этого:

1. Рассчитывают количество материалов на 3 л бетонной смеси:

$$\Pi_0 = \Pi \cdot 0,003; \quad (3.1)$$

$$Z_0 = Z \cdot 0,003; \quad (3.2)$$

$$B_0 = B \cdot 0,003. \quad (3.3)$$

2. Определяют влажность органического заполнителя ω , для чего отвешивают 0,5 кг заполнителя, помещают в сушильный шкаф с температурой не выше 80 °C, высушивают до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры и затем снова взвешивают. Влажность определяется по формуле

$$\omega = (m_b - m_d)/m_c. \quad (3.4)$$

3. Вводят поправку на влажность в принятное количество органического заполнителя по формуле

$$Z_0' = Z_0 \cdot (1 + \omega). \quad (3.5)$$

4. Отдозировывают на весах цемент и химическую добавку, отмеривают необходимое количество воды с точностью до 2 %.

5. Смешивают химическую добавку с 0,5 % количества воды.

Из подготовленных материалов делают формовочную смесь. Для этого:

а) отмеренное количество органического заполнителя помещают в сферическую чашу, туда же добавляют водный раствор химической добавки, после чего перемешивают смесь в течение 2–3 мин.;

б) после перемешивания всыпают требуемое количество цемента, вливают остальное количество воды и перемешивают еще в течение 1–2 мин. до достижения полной однородности.

Вычислить теоретическую среднюю плотность полученной формовочной смеси можно по формуле

$$\rho^{\text{teor}} = \Pi + Z + B. \quad (3.6)$$

Из приготовленной смеси формуют контрольные образцы. Для этого предварительно смазанную форму заполняют смесью с избытком, устанавливают на лабораторную виброплощадку, придавливают пригрузом и вибрируют до тех пор, пока смесь не выровняется и на ее поверхности не появится тонкий слой цементного молока.

Свежесформованные образцы хранят в формах 1 сутки, после чего вынимают из формы, маркируют, помещают в камеру нормального твердения с температурой 18–25 °C и относительной влажностью воздуха 60–80 %, где выдерживают до момента испытаний 28 сут.

Испытание контрольных образцов на прочность при сжатии производят на гидравлическом прессе.

Перед испытанием определяют среднюю плотность, водопоглощение, пористость, несколько образцов оставляют для проведения сравнительных испытаний.

Результаты работы по подбору состава высокоплотного материала представляют в виде табл. 3.6.

Итоговая таблица результатов работы

Расход компонентов, кг/м ³					Средняя плотность, кг/м ³		Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Пористость, %
Ц	З	З	Д	В	смеси	камня			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы получения материалов высокопористого строения?
2. Как достичь максимальной пористости состава зернистых композиционных материалов?
3. Какая пористость характерна для материалов каркасного строения?
4. Какие свойства имеют материалы высокопористого строения?
5. Каковы достоинства и недостатки полученного композиционного материала с органическим заполнителем?

Таблица 3.6

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**КОМПЛЕКСНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ****Основные понятия**

Одной из важных сторон инженерных знаний является способность специалиста рационально и наиболее точно применять различные материалы по назначению в соответствии с их свойствами. Вместе с тем дифференциальная оценка и ограниченно число показателей основных свойств материалов, указанных в ГОСТах и ТУ, не всегда позволяют произвести их объективный выбор по совокупности свойств. Кроме того, в настоящее время существует множество материалов одного и того же назначения с большим числом полезных свойств. Поэтому специалист-материаловед должен владеть статистическими методами комплексной оценки качества материалов. Одним из таких методов является *метод квадиметрического анализа свойств материала*.

Квадиметрический метод анализа – это интегральный метод оценки, основанный на создании условной картины качества материала (дерева свойств) с использованием определенных балльных коэффициентов, присваиваемых каждому свойству.

Основные принципы квадиметрии:

1. Оценка качества материала зависит от того, для какой цели и для каких условий делается эта оценка, поэтому один и тот же материал может иметь несколько различных оценок качества. Прежде чем приступить к оценке качества, необходимо установить все необходимые условия и цели оценки.

2. Качество следует рассматривать как иерархическую совокупность свойств материала, расположенных на разных уровнях. Каждое свойство одного уровня зависит от ряда других свойств более низкого уровня.

3. Оценка качества материала зависит от определенных показателей и от принятой системы базовых показателей, определяющих качество эталона.

4. Оценки свойств материала, определяющих качество на любом уровне, имеют неодинаковую весомость, которая зависит от требований, предъявляемых к соответствующим свойствам предыдущего уровня.

Проведение квадиметрического анализа предполагает выполнение пяти основных этапов:

1-й – построение дерева свойств;

2-й – определение коэффициента весомости (важности) свойств M_i , т.е. количественная оценка значимости данного свойства;

3-й – определение абсолютного (P_i), браковочного ($P_{i\text{бр}}$) и эталонного ($P_{i\text{ст}}$) показателей свойств, т.е. количественная оценка простого свойства данного материала, нахождение минимального или максимального его значения, при котором применение данного материала уже недопустимо, и установление наиболее приемлемого значения показателя данного свойства из полученных в ходе эксперимента;

4-й – определение относительного показателя свойств (K_i), т.е. количественная оценка, определяющая степень проявления P_i по отношению к $P_{i\text{ст}}$ выражаемая в безразмерной и одинаковой по масштабу для всех свойств шкале (от 0 до 1 или от 0 до 100 %);

5-й – определение показателя качества (в том числе и интегрального – K_2).

Применение квалиметрического анализа позволяет оценить в совокупности свойства нескольких материалов, в том числе и те, которые не имеют числового показателя.

Указанные этапы выполняются при строгом соблюдении определенных правил и характерной последовательности выполнения операций.

Абсолютные, браковочные и эталонные показатели качества определяются для каждого i -го материала, для каждого i -го простого свойства, после чего вычисляют относительный показатель свойств данного материала, который при условной линейной зависимости между свойствами определяется по формуле

$$K_i = (P_i - P_{i\text{бр}})/(P_{i\text{ст}} - P_{i\text{бр}}). \quad (4.1)$$

Итоговые показатели качества материала (ПК) вычисляют путем умножения относительных показателей свойств (K_i) на коэффициенты весомости (M_i):

$$\text{ПК} = K_i \cdot M_i. \quad (4.2)$$

Количественная оценка качества сравниваемых материалов может быть получена как средняя арифметическая из относительных оценок свойств с учетом их весомости. В результате суммирования произведенных коэффициентов относительных оценок свойств и их весомости получают полную интегральную оценку качества материала (K_2):

$$K_2 = \sum K_i \cdot M_i = \sum K_i \quad (4.3)$$

Использование принципов квалиметрии возможно для решения задач стандартизации и аттестации промышленной продукции, анализа вариантов проектных решений с применением различных конструкцион-

ных и отделочных материалов, формулировки требований к заказывающей промышленности перспективной продукции.

Цель работы – изучение основ упрощенного квалиметрического метода анализа свойств материалов и практическая оценка качества опытных образцов материалов для покрытия полов, предлагаемых для применения в номере гостиницы.

Исходные данные. Вид исследуемого материала принять по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Вид исследуемого материала

Вариант	1	2	3	4
Материал	Многослойный линолеум ПВХ Ворсово-противоскользящий ковер	Дубовый паркет Сосновая доска	ДСП ДВП	Плитка ПВХ <i>Редисовый ковер Керам. плитка</i>

Для практической оценки качества и пригодности в табл. 4.1 представлены по два отделочных материала с приблизительно одинаковыми характеристиками. Выбор пары исследуемых материалов производится в соответствии с вариантом и номером бригады. В общем смысле с использованием данного метода можно осуществить предварительную оценку качества и пригодности по назначению наиболее подходящего вида материала из нескольких десятков и сотен, находящихся на складе. Поэтому данный способ количественной оценки качества является эффективным экспресс-методом предварительного отбора конкретного строительного материала из большой группы, имеющейся в наличии, со сходными свойствами поставляемых промышленностью материалов.

Ход работы

Графическое изображение дерева свойств. При проведении комплексной количественной оценки качества материалов этот этап является наиболее ответственным. От правильности построения дерева свойств в большой мере зависит точность конечного результата. Используются следующие понятия.

Свойством в материаловедении называют характеристику материала, проявляющуюся при его производстве, монтаже и эксплуатации.

Простое свойство – это свойство, которое не может быть разделено на другие, более мелкие свойства (например, массу нельзя подразделить на какие-либо другие свойства).

Сложное свойство – свойство, которое может быть разделено на два и более сложных или простых свойства (например, декоративность

может быть разделена на цвет, фактуру др.).

Качество – сложное свойство, определяемое совокупностью всех функциональных характеристик, обуславливающих способность материала удовлетворять определенным потребностям в соответствии с его назначением.

Под деревом *свойства* понимается совокупность взаимосвязанных сложных свойств материала в виде многоуровневой структуры.

В рамках упрощенного квадратичного метода дерево свойств изображается на основе условных данных о сложных и простых свойствах материалов № 1 и № 2, начиная с 0-го уровня по б-й.

Составной реестр сложных свойств исследуемых материалов

Критериальной основой является интегральное качество материала (K_I) – 0-й уровень дерева свойств.

Интегральное качество (K_I) подразделяется на два менее сложных свойства: качество и экономичность – 1-й уровень.

Свойство "экономичность" на 1-м и на последующих уровнях принято неделимым на другие менее сложные свойства. Однако это не означает, что оно не может изменяться на каждом из последующих уровнях дерева свойств, хотя и определяется по простой расчетной формуле. В квадратичии подобные допущения по упрощению свойств называются *каузиростями*.

Качество (K) делится на два менее сложных свойства: функциональность и декоративность – 2-й уровень.

Функциональность – технологичность, эксплуатационные свойства и долговечность – 3-й уровень.

Декоративность – художественно-эстетические свойства и сочетаемость (совместимость) с окружающей средой – 3-й уровень.

Технологичность – сложность производства и удобство монтажа – 4-й уровень.

Эксплуатационные свойства – стойкость к внешним воздействиям, удобство в эксплуатации и гигиеничность – 4-й уровень.

Долговечность – сохранность внешнего вида, постоянство физико-механических свойств и коррозионностойкость – 4-й уровень.

Художественно-эстетические свойства – форма, цвет, фактура (характер поверхности), рисунок (текстура) и комфортность – 4-й уровень.

Сочетаемость (совместимость) с окружающей средой – цветовая сочетаемость с другими материалами и незагрязненность среды – 4-й уровень.

Сложность производства – труднодоступность сырья и сложность технологического процесса – 5-й уровень.

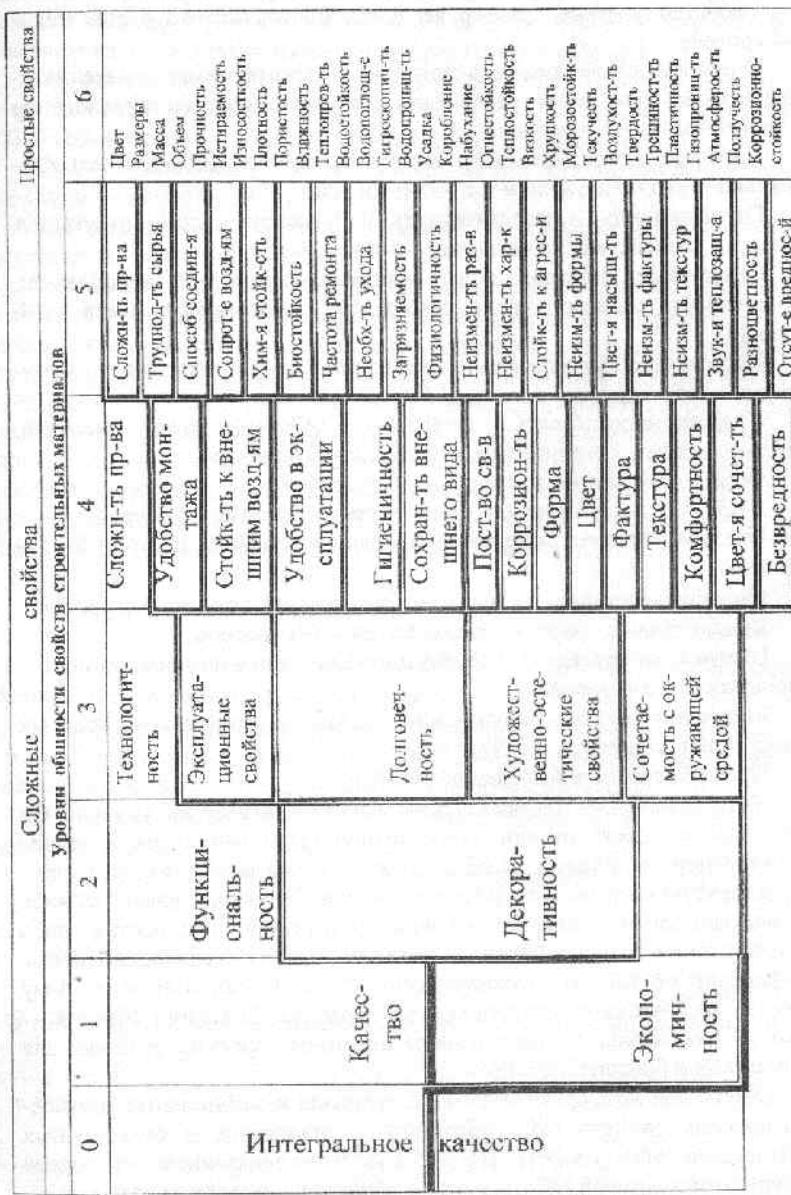


Рис. 4.1. Дерево свойств строительных материалов

Удобство монтажа – размер, вес и способ соединения с основой – 5-й уровень.

Стойкость к внешним воздействиям – сопротивляемость механическим воздействиям, сопротивляемость физико-химическим воздействиям и биостойкость – 5-й уровень.

Удобство в эксплуатации – частота ремонта и необходимость специального ухода (натирки и т.п.) – 5-й уровень.

Гигиеничность – загрязняемость и физиологичность (отсутствие вредного воздействия на человека) – 5-й уровень.

Сохранность внешнего вида – неизменность формы (коробление), неизменность размера (усадка, разбухание), неизменность цвета – 5-й уровень.

Постоянство физико-механических свойств – неизменность прочностных характеристик и массы – 5-й уровень.

Коррозионностойкость – стойкость к действию кислот, щелочей, растворов солей, органических жидкостей – 5-й уровень.

Форма – геометрия, пропорции – 5-й уровень.

Цвет – тон, насыщенность, приятность восприятия – 5-й уровень.

Фактура (характер поверхности) – наличие рельефа, отверстий – 5-й уровень.

Рисунок (текстура) – наличие рисунка, его отсутствие – 5-й уровень.

Комфортность – звуко- и теплозащита – 5-й уровень.

Цветовая сочетаемость с другими материалами – разноцветность, соцветность – 5-й уровень.

Безвредность для окружающей среды – отсутствие вредных выделений в атмосферу – 5-й уровень.

Пример дерева свойства дан на рис. 4.1.

Особое место на графике дерева свойств занимает 6-й уровень. Он представлен простыми или относительно простыми с точки зрения квалиметрии свойствами. К абсолютно простым можно отнести лишь характеристики массы и линейных размеров. Остальные являются либо производными от каких-то величин (плотность, прочность), либо находящимися в зависимости от каких-то свойств (теплопроводность, гигроскопичность). Многочисленность свойств, отнесенных к 6-му уровню, не позволяет привести все их на графике. Поэтому в области 6-го уровня (рис. 4.1) перечислены некоторые простые свойства для упрощения и большей наглядности.

Общие для всех сравниваемых материалов коэффициенты весомости простых свойств (M_i), абсолютных, эталонных и браковочных показателей этих свойств (P_i , P_i^{av} , P_i^{br}), определенные на основе результатов условной работы группы экспертов, приведены в табл. 4.3.

Коэффициенты весомости простых свойств (M_i), абсолютных, эта-

лонных и браковочных показателей этих свойств (P_i , P_i^{av} , P_i^{br}), определенные на основе результатов условной работы группы экспертов для каждого из исследуемых материалов, приведены в табл. 4.4.

Расчет относительных показателей свойств (K_i) сравниваемых материалов производится по формуле (4.1). Расчет показателей качества (ПК) сравниваемых материалов производится по формуле (4.2).

Полную интегральную оценку сравниваемых материалов дают с использованием формулы (4.3).

Индивидуальные показатели свойств и качества сравниваемых материалов сводят в табл. 4.2.

Численные значения показателей, следящих в данную таблицу, говорят о пригодности определенного материала для применения по конкретному назначению. Этот вывод делается следующим образом: сравнивая значения коэффициента интегральной оценки (K_i) различных материалов, предназначенных для применения в одном направлении, выбирают тот материал, у которого данный коэффициент имеет наибольшее значение по абсолютной величине. Этот материал считают наиболее пригодным по данному назначению. Таким образом, по результатам выполненной работы осуществляется оценка качества и пригодности материала при производстве строительных работ.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность квалиметрического метода комплексной количественной оценки качества материалов?
2. Что понимается под деревом свойств строительных материалов?
3. Перечислите основные термины, используемые при проведении квалиметрического метода оценки и дайте их определение.
4. На какие более простые свойства подразделяются такие свойства, как функциональность и эстетичность?
5. Каковы достоинства и недостатки квалиметрического метода?

*Таблица 4.2
Индивидуальные показатели качества сравниваемых материалов*

Номер свойств по табл. 4.3 и 4.4	Наименование материала № 1		Наименование материала № 2			
	K	ПК	K _i	K	ПК	K _i

Таблица 4.3

Общие показатели и коэффициенты для всех сравниваемых материалов

№ пп	Наименование простого свойства	P _i	P _{i^{nr}}	P _{i^{sp}}	M _i
1	2	3	4	5	6
1	Сопротивление истиранию	98	100	0	0,1183
2	Сопротивление удару	99	100	0	0,0061
3	Сопротивление продавливанию	87	100	0	0,0170
4	Водостойкость	100	100	42,6	0,0064
5	Темпостойкость	105	120	82,5	0,0059
6	Огнестойкость	100	100	0	0,0349
7	Стойкость к действию химических веществ	96	100	0	0,0051
8	Звукоглощение	20,9	21,5	4,3	0,0129
9	Светостойкость	91	100	0	0,0086
10	Светоотражающая способность	100	98,2	20,6	0,0021
11	Усадка в процессе эксплуатации	-0,2	0	5,1	0,0099
12	Сохранность внешнего вида при действии внешних факторов	90	100	0	0,0465
13	Электростатичность	97	100	0	0,0053
14	Нескользкость (коэффициент трения)	0,71	0,72	0,18	0,0076
15	Цвет (соответствие эталону)	99	100	0	0,204
16	Фактура (соответствие эталону)	98	100	0	0,0160
17	Текстура (соответствие эталону)	97	100	0	0,0048
18	Разнообразие по цвету	100	100	0	0,0077
19	« по фактуре	99	100	0	0,0005
20	« по текстуре	99	100	0	0,0057
21	Загрязняемость поверхности нылью	104	100	0	0,0277
22	То же, бытовыми жидкостями	105	100	0	0,0066
23	Выраженность швов	120	100	20,80	0,0900
24	Легкость очистки от пыли	102	100	0	0,265
25	« от пятен	100	100	0	0,0169
26	Возможность чистки химическими средствами	100	100	0	0,0217
27	Необходимая частота ремонта	100	100	0	0,0185
28	Простота и удобство ремонта	98	100	0	0,0201
29	Необходимость специального ухода	100	100	0	0,136
30	Экономичность	0,75	0,75	3,12	0,4550

Таблица 4.4

Основные показатели для каждого из сравниваемых материалов

№ пп	Наименование простого свойства	P _i	P _{i^{nr}}	P _{i^{sp}}	M _i
1	2	3	4	5	6
Многослойный линолеум ПВХ					
31	Сложность технологии изготовления	96	100	3,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	95	100	2,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	0	0	0	0
34	Средняя плотность (удельная масса)	100	100	1,6	0,0710
35	Размеры	98	100	0	0,0111
36	Форма	95	100	0	0,0111
37	Пористость	100	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	96	100	0,8	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	99	100	0,4	0,0863
40	Удобство монтажа	95	100	0	0,0224
Ворсово-прошивной ковер					
31	Сложность технологии изготовления	96	100	3,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	95	100	2,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	0	0	0	0
34	Средняя плотность (удельная масса)	100	100	1,6	0,0710
35	Размеры	98	100	0	0,0111
36	Форма	98	100	0	0,0111
37	Пористость	100	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	96	100	0,8	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	99	100	0,4	0,0863
40	Удобство монтажа	98	100	0	0,0224
Дубовый паркет					
31	Сложность технологии изготовления	97	100	1,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	98	100	0,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	100	100	0	0,0018
34	Средняя плотность (удельная масса)	100	100	0,6	0,0710
35	Размеры	98	100	0	0,0111
36	Форма	98	100	0	0,0111
37	Пористость	100	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	100	100	0	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	98	100	0,4	0,0863
40	Удобство монтажа	94	100	0	0,0224
Сосновая доска					
31	Сложность технологии изготовления	92	100	1,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	90	100	0,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	100	100	0	0,0018
34	Средняя плотность (удельная масса)	100	100	0,6	0,0710
35	Размеры	99	100	0	0,0111
36	Форма	99	100	0	0,0111
37	Пористость	100	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	100	100	0	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	98	100	0,4	0,0863
40	Удобство монтажа	100	100	0	0,0224

Окончание табл. 4.4

1	2	3	4	5	6
ДСП					
31	Сложность технологии изготовления	96	100	2,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	91	100	4,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	96	100	0	0,0018
34	Средняя плотность (удельная масса)	99	100	3,6	0,0710
35	Размеры	97	100	0	0,0111
36	Форма	99	100	0	0,0111
37	Пористость	100	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	100	100	0	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	98	100	0,4	0,0863
40	Удобство монтажа	100	100	0	0,0224
ДВП					
31	Сложность технологии изготовления	96	100	2,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	90	100	4,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	96	100	0	0,0018
34	Средняя плотность (удельная масса)	99	100	3,6	0,0710
35	Размеры	97	100	0	0,0111
36	Форма	99	100	0	0,0111
37	Пористость	100	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	99	100	0	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	98	100	0,4	0,0863
40	Удобство монтажа	100	100	0	0,0224
Плитка ПВХ					
31	Сложность технологии изготовления	96	100	4,5	0,0110
32	Труднодоступность сырья	90	100	3,5	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	95	100	0	0,0018
34	Средняя плотность (удельная масса)	97	100	3,6	0,0710
35	Размеры	96	100	1,9	0,0111
36	Форма	98	100	1,8	0,0111
37	Пористость	99	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	98	100	0,4	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	100	100	0	0,0863
40	Удобство монтажа	102	100	0	0,0224
Керамическая плитка					
31	Сложность технологии изготовления	95	100	1,8	0,0110
32	Труднодоступность сырья	90	100	3,7	0,0124
33	Прочность при сжатии (марка)	99	100	0	0,0018
34	Средняя плотность (удельная масса)	94	100	4,6	0,0710
35	Размеры	96	100	1,8	0,0111
36	Форма	97	100	2,2	0,0111
37	Пористость	98	100	0	0,0087
38	Теплопроводность	89	100	1,4	0,0950
39	Коррозионно-стойкость	100	100	0	0,0863
40	Удобство монтажа	90	100	0	0,0224

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ
В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Основные понятия

Основной характеристикой композиционных материалов является прочность. Прочность – это способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, вызванных внешними факторами (механическая нагрузка, неравномерный нагрев, высушивание и увлажнение и др.). Величина прочности обусловлена главным образом фазовым составом и структурой.

Для изучения прочностных свойств материалов существует много различных способов искусственного разрушения и неразрушения образца или конструкции. Наиболее объективно прочность можно оценить только доведя опытный образец до полного разрушения. Для этого в лабораторных условиях готовят стандартные образцы исследуемого материала способом формирования из пластичной смеси исходных компонентов, выдерживают определенное время до затвердевания и испытывают на прочность сжатием до разрушения. Необходимые количества исходных компонентов определяются расчетом состава в виде их соотношения в единице объема. Такой состав называется расчетным или рабочим составом композиционного материала.

Композиционный материал, как правило, состоит из зернистой части и скрепляющей ее кампеподобной матрицы. Зернистая часть (или зерновой компонент) может быть представлена частицами различного рода: различного происхождения, размера и формы. Часто крупнозернистую составляющую называют заполнителем, мелкозернистую (порошкообразную) – наполнителем. Скрепляющая кампеподобная матрица образуется путем затвердевания главного компонента всех пластичных формировочных смесей композиционных материалов – вяжущего или связующего вещества.

Тщательный подход к расчету и подбор составов зерновых смесей, а также их испытание, предусматривает соблюдение многочисленных правил и норм, изложенных в инструкциях.

При испытании опытных образцов необходимо учитывать некоторые нюансы поведения материала в условиях осевого сжатия.

Так, с увеличением линейных размеров опытных образцов прочность уменьшается в связи с увеличением дефектов в поверхностном слое. С уменьшением высоты образцов прочность возрастает.

При разрушении происходит скальвание образца по боковым граням и ребрам, которое увеличивается к середине образца, образуя форму двух проникающих усеченных пирамид (рис. 5.1, а). Такой характер разрушения объясняется сильным трением между поверхностями траверс пресса и примыкающих к ним граней куба образцов. Это явление получило название «эффекта обоймы». При слабом трении между указанными поверхностями (что достигается смазыванием различными антифрикционными материалами) разрушение образцов происходит вдоль направления приложения нагрузки по искривленным плоскостям (рис. 5.1, б). Характер разрушения образцов композиционного материала с проявлением «эффекта обоймы» объясняется увеличением растягивающих деформаций от граней образца, прилегающих к поверхности траверс-пресса, к середине их высоты. Разрушение при сжатии образцов призм вдоль наибольшего линейного размера чаще всего происходит со сколом части образца под определенным углом (рис. 5.1, в).

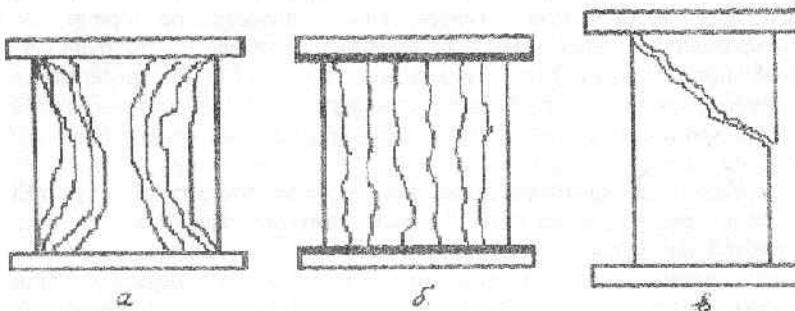


Рис. 5.1 Схемы разрушения композиционного материала. кубов: а – при сильном трении между плоскостями траверс пресса и граней образцов («эффект обоймы»); б – то же, при слабом трении; в – образцов призм

Цель работы – установить характер разрушения образцов плотного композиционного материала и дать ему объяснение.

Аппаратура и материалы. Весы технические; стандартный набор сит для рассева щебня и песка; открытая емкость для перемешивания формовочной массы; лопатки для перемешивания; штыковка; мерные емкости; стальные формы размером 10 × 10 × 10 см; пресс гидравлический, разрывающий усилие 50 т; портландцемент;

крупный заполнитель: щебень гранитный, сланцевый; керамзитовый гравий; галька с размером частиц 20–40 мм; кварцевый песок, вода.

Исходные данные. Соотношение компонентов растворной части для всех составов принять Ц:Н = 1:3.

Марку (предел прочности при сжатии в 28-суточном возрасте) принять 100.

Водоцементное отношение (В/Ц) принять равным 0,4.

Вид крупного зернистого материала (щебня или гравия) принять по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Вид крупного зернистого материала

Вариант	1	2	3	4
Вид крупнозернистого материала	Гранитный щебень	Керамзитовый гравий	Гравий	Сланцевый щебень
Насыпная плотность, кг/м ³	1450	550	1480	1420

Истинную плотность крупнозернистых материалов условно принять одинаковую и равную 2680 кг/м³.

Соотношение объема зерна-заполнителя и объема формы φ принять по табл. 5.2.

Таблица 5.2

Объемная доля крупного зернистого материала φ

Вариант	1	2	3	4
φ	0,1	0,15	0,2	0,25

Ход работы

Расчет состава цементно-песчаного раствора

Целью расчета состава растворной части композиционного материала является подбор оптимального соотношения частиц мелкого заполнителя и вяжущего вещества в смеси, обеспечивающего получение искусственного камня с заданными свойствами. Количество цемента на 1 м³ песка определить по формуле

$$Q_n = (1000 * R_p) / (0,7 * R_b), \text{ кг}, \quad (5.1)$$

где R_p – марка растворного камня, кг/см²; R_b – активность цемента, кг/см².

Исходя из соотношения "цемент : песок и В/Г", определяют расход песка и воды.

Изготовление образцов композитного материала с растворной частью

Рассчитать количество исходных материалов на 3 л (на три образца размером 10 × 10 × 10 см) растворной смеси по следующим формулам:

$$\begin{aligned} U_{21} &= U^* 0,03; \\ P_{21} &= P^* 0,03; \\ B_{21} &= B^* 0,03. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Предварительно все компоненты состава должны быть высушены до постоянной массы при температуре не выше 80° С и охлаждены до комнатной температуры.

Отвесить необходимое количество (в соответствии с расчетом) песка, засыпавшего и отмерить необходимое количество воды. Дозирование производится с точностью до 1%.

Приготовить формовочную смесь. Для этого:

1. Отмеренное количество песка смешивают с отдозированным количеством цемента всухую до получения массы однородного цвета (примерно 1 минуту).

2. В середине сухой смеси делают воронку, куда вливают половину отмеренной воды, осторожно перемешивают смесь до впитывания прилитой воды, и затем, добавляя оставшуюся воду, перемешивают до достижения полной однородной смеси. Продолжительность перемешивания должна составлять не менее 5 минут.

Из приготовленной смеси делают контрольные образцы размером 10 × 10 × 10 см, таким образом:

- * из половины смеси формуют 3 образца "чистого" состава, для чего предварительно смазанную форму заполняют смесью с избытком и уплотняют стягиванием до тех пор, пока смесь не выровняется и на ее поверхности не появится тонкий слой цементного молока (см. рис. 5.1).

- * из второй половины смеси готовят три опытных образца; вначале укладывают смесь в формы, как и для "чистого" состава, вдавливают в смесь с поверхности до середины размера формы одно зерно заполнителя размером 20 мм, после чего смесь выравнивают и уплотняют (рис. 5.2).

После этого изготавливают по три образца еще пять составов, вдавливая в смесь по два или четыре зерна щебня или гравия (согласно схеме, рис. 5.2, б, в, г).

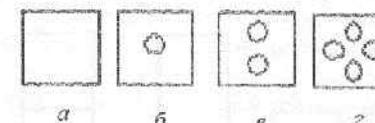


Рис. 5.2. Схемы расположения зерен заполнителя в формах, вид сверху: а – "чистый" образец; б – центральное; в, г – симметричное

Свежеформованные образцы хранят в формах 1 сутки, после чего вынимают из формы, маркируют, помещают в камеру нормального твердения с температурой 18...25° С и относительной влажностью воздуха 60...80%, где выжидают до момента испытаний 28 суток.

Испытание контрольных образцов на прочность при сжатии производят на гидравлическом прессе. Скорость нагружения не должна превышать 20 кг/с.

Перед испытанием определяют среднюю плотность образцов.

В процессе испытания каждого образца на сжатие наблюдают за характером его разрушения. И сразу после разрушения замеряют размеры сколов для определения угла скальвания и зарисовывают схему разрушения.

Результаты работы сводят в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Ц	П	В	Расход компонентов, кг/м ³	Средняя плотность камня, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа		
			1	2	3	4	5

По результатам работы строят график зависимости $R_{\text{сж}} = f(\phi)$ и делают вывод о зависимости прочности материала от схемы расположения в его структуре зерен крупного зернистого материала и его объемной доле.

Решение третьей краевой задачи

Приготавливают строительный цементно-песчаный раствор вышеуказанного состава или бетон расчетного состава и заполняют им

формы размером $7 \times 7 \times 7$ см. на шесть образцов, $7 \times 7 \times 5$ см. на два образца, $7 \times 7 \times 3,5$ см. на два образца и $7 \times 7 \times 14$ см. на два образца. После 28 суток выдержки их в теплоизложных условиях производят испытание на прочность при сжатии на гидравлическом прессе согласно нижеприведенной схеме.

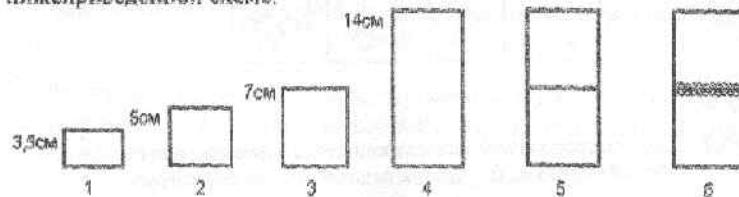


Рис. 5.3. Схема сжатия опытных образцов

Выполняют испытание образцов высотой 3,5 см., 5 см., 7 см. и 14 см. на прочность при сжатии, а по схеме 5 и 6 – сдвоенных образцов. В схеме б сдвоенные образцы скрепляют строительным раствором, прочность которого больше прочности образцов. По результатам испытаний строят график зависимости $R_{ск} = f(h)$, где h – высота образцов, и делают выводы в работе по характеру разрушения и прочности образцов. Сравнивают результаты прочности образцов, испытываемых по схеме 5 и 6, а затем повторяют испытания строенных образцов, скрепленных цементным раствором. По результатам этих испытаний делают вывод о проектной марке кирпича в стеновой конструкции.

Контрольные вопросы

1. Как подобрать состав композиционного материала?
2. Как влияет структура материала на его прочность?
3. какое влияние оказывает присутствие крупных включений на прочностные свойства композиционного материала?
4. Как влияет объемная доля крупных включений на прочность композиционного материала?
5. Каков характер разрушения материала и его зависимость от взаимного расположения крупных частиц в его структуре?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение: Учебник для вузов/ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Наназашвили И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: Справочник/ И.Х. Наназашвили. – М.: Высшая школа, 1990. – 495 с.
3. Айрапетов Д.П. Материал и архитектура/ Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1978. – 270 с.
4. Соломатов В.И. Расчет состава каркасного композита: Тез. докл. IX академ. чтений РААСН/ В.И. Соломатов. – Пенза, 1998. – Ч. 1. – С.27–28.
5. Байер В.Е. Лабораторные работы по курсу «Архитектурное материаловедение»/ В.Е. Байер. – М.: Высшая школа, 1987. – 128 с.
6. Вознесенский В.А. Современные методы оптимизации композиционных материалов/ В.А. Вознесенский. – Киев: Будівельник, 1983. – 744 с.
7. Руководство по проектированию и изготовлению изделий из арболита. – М.: Стройиздат, 1974. – 72 с.
8. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита. – М.: Стройиздат, 1983. – 45 с.
9. СН-277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 47 с.
10. Райхель В. Бетон. Ч. 1: Свойства. Проектирование. Испытание/ Пер. с нем.; Под ред. В.Б. Ратинова/ В. Райхель, Д. Копрад. – М.: Стройиздат, 1979. – 111 с.
11. Справочник по производству сборных железобетонных изделий/ Под. ред. И.Х Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.

Учебное издание

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 290300 – Промышленное и гражданское
строительство, 290500 – Городское строительство и хозяйство,
290600 – Производство строительных материалов, изделий и
конструкций, 290700 – Теплогазоснабжение и вентиляция,
072000 – Стандартизация и сертификация, 291400 – Проектирование
зданий и сооружений

Составители: Толстой Александр Дмитриевич
Хархардин Анатолий Николаевич

Редактор В.А. Дегтярева

Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова



4 80001 380691

00434 от 10.11.99.

0х84/16. Усл.печл. 2,5. Уч.-изд.л. 2,7.

аказ/52 Цена 17р.70к.

венном технологическом университете

Г.Шухова

д. ул. Костюкова, 46.