

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ (ТУ))**

Кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры

В.А. Некрасов

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические указания к контрольным работам

**Санкт-Петербург
2015**

УДК 666.9

Некрасов, В.А. Строительные материалы / методические указания к контрольным работам / В.А. Некрасов – СПбГТИ (ТУ), 2015. – 85 с.

Методические указания содержат краткие теоретические сведения для решения задач, связанных с оценкой свойств, технологией и применением основных строительных материалов и изделий, а также примеры их решения.

Методические указания предназначены для бакалавров 2 и 3 курсов дневной и заочной формы подготовки по направлению: 08.03.01 Строительство (270800.62 Профиль подготовки № 8 Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций) при изучении дисциплины «Строительные материалы».

Ил. 10, табл. 9, библиогр. 14 назв.

Методические указания способствуют формированию

ОК: 5, 13, 14, 15;

ПК: 4, 5, 6

Рецензенты:

СПбГТИ(ТУ), канд. техн. наук, доц. кафедры ОРПП

Т.М. Лебедева

Утверждено на заседании учебно-методической комиссии механического факультета 20 января 2015 г.

Рекомендовано к изданию РИСо СПбГТИ(ТУ)

© Некрасов В.А.

Введение

Изучение дисциплины «Строительные материалы» наиболее эффективно достигается путем самостоятельного решения задач. Методические указания к контрольным работам предназначены для бакалавров 2 и 3 курсов дневной и заочной формы подготовки по направлению: 08.03.01 Строительство (270800.62 Профиль подготовки № 8 Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций). Программа дисциплины предполагает выполнение трех контрольных работ. Каждая из них состоит из двух задач и четырех теоретических вопросов.

Для бакалавров заочной формы обучения предусматривается возможность самостоятельного выбора одной задачи в каждой контрольной работе.

Выполнение контрольных работ производится письменно в соответствии с вариантом, номер которого определяется по следующей формуле:

$$N = A - B \cdot k,$$

где A – число состоящее из двух последних цифр номера зачетной книжки студента;

B – число вариантов в контрольной работе;

k – коэффициент равный 0, 1, 2, 3 или 4 при котором число N будет меньше B .

При решении задачи следует последовательно излагать ход ее решения, а в заключении сформулировать выводы. Ответы на вопросы должны быть четкими и конкретными.

Тематика первой контрольной работы связана с номенклатурой строительных материалов и их свойствами. Тематика второй – с материальным балансом различных технологий производства строительных материалов, третья – с производством бетона.

Контрольные работы бакалавров заочной формы обучения должны быть сброшюрованы и подписаны. Рекомендуются оставлять поля для замечания рецензента и исправлений.

Выполненные контрольные работы сдаются на проверку до сессии (за неделю до срока сдачи зачета).

Получив работы после рецензии, необходимо внести изменения и сдать на повторную проверку.

1 Общие свойства строительных материалов [1 – 4]

1.1 Физические свойства

1 – Плотность ρ или иначе удельная концентрация массы в единице объема. Согласно определению

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}. \quad (1.1)$$

Это параметр состояния. В связи с этим различают:

истинную плотность или плотность вещества i – ой фазы (компонента) в смеси (масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии без пор и пустот)

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i}; \quad (1.2)$$

кажущуюся плотность, или иначе **приведенную, среднюю, насыпную плотность** или **объемную массу** материала, т.е. это масса единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами). Если материал представляет собой многокомпонентную систему, состоящую к тому же из нескольких фаз, например бетонная смесь, то

$$\rho_i^0 = \rho_i \varepsilon_i, \quad (1.3)$$

где ε_i – объемная доля i – ой фазы или компонента; пористость или пустотность Π , определяемая как

$$\varepsilon_i = \frac{V_i}{V}, \quad (1.4)$$

где V – общий объем смеси;

относительную плотность, т.е. плотность материала по отношению к плотности воды при 4°C,

$$\tilde{\rho}_i = \frac{\rho_i^0}{\rho_{H_2O}}; \quad (1.5)$$

плотность во влажном состоянии

$$\rho_w = \rho^0 (1 + u), \quad (1.6)$$

где $u = m_1/m_2$ – **абсолютная влажность** или **влагосодержание** w_m в долях от массы сухого вещества, кг/кг.

2 – Пористость, порозность ε , пустотность Π . Это геометрическая характеристика, определяющая степень заполнения объема материала порами. Отметим, что пустотность Π – это доля межзерновых пустот в насыпном объеме материала.

В общем случае

$$\sum_i \varepsilon_i = 1. \quad (1.7)$$

Для двухфазной среды будем соответственно иметь

$$\varepsilon_1 = \varepsilon = \frac{V_1}{V} = \frac{V_{\text{п}}}{V} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\Sigma}} = 1 - \frac{\rho^0}{\rho}; \quad (1.8)$$

$$\varepsilon_2 = k_{\varepsilon} = \frac{V_2}{V} = \frac{V_{\text{т}}}{V_{\Sigma}} = \frac{\rho^0}{\rho} = \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{т}}}, \quad (1.9)$$

где индексы «1» и «2» относятся соответственно к сплошной и дисперсной фазам; k_{ε} – коэффициент плотности материала.

В свою очередь общая пористость материала включает в себя

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{откр}} + \varepsilon_{\text{закр}}, \quad (1.10)$$

где $\varepsilon_{\text{откр}}$ – *открытая (кажущаяся или интегральная) пористость*; $\varepsilon_{\text{закр}}$ – *закрытая (замкнутая) пористость*.

Причем, открытая пористость $\varepsilon_{\text{откр}}$ определяется как

$$\varepsilon_{\text{откр}} = \frac{m - m_{\text{сух}}}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}. \quad (1.11)$$

Форма пор (*ячеистая, замкнутая, волокнистая*) и характер пор (*открытые, замкнутые, сообщающиеся*) являются структурной характеристикой.

Все свойства материала определяются его составом и строением и, прежде всего, величиной и характером пористости (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика свойств строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность ρ , г/см ³	Средняя плотность ρ^0 , г/см ³	Пористость ε	Теплопроводность λ , Вт/(м·°C)
1	2	3	4	5
Бетон:				
тяжелый (обычный)	2,6	2,4	0,1	1,16
легкий	2,6	1	0,615	0,35
ячеистый	2,6	0,5	0,81	0,2
Кирпич:				
обыкновенный	2,65	1,8	0,32	0,8
пустотелый	2,65	1,3	0,51	0,55
Природный камень:				
гранит	2,7	2,67	0,014	2,8
вулканический туф	2,7	1,4	0,52	0,5
Стекло:				
оконное	2,65	2,65	0	0,58
пеностекло	2,65	0,3	0,88	0,11

1	2	3	4	5
Полимерные материалы: стеклопластик мипора (вспененный полимер)	2 1,2	2 0,015	0 0,98	0,5 0,03
Древесные материалы: сосновые доски древесно-волокнистая плита	1,53 1,5	0,5 0,2	0,67 0,86	0,17 0,06

Открытые поры увеличивают водопоглощение и водопроницаемость материала и ухудшает его морозостойкость. Увеличение пористости за счет открытой увеличивает долговечность материала, снижает теплопроводность.

К геометрической характеристике также относят размер пор и их общую удельную поверхность.

Наиболее стройной и общей для различных видов материалов является классификация по размеру пор:

- макропоры > 10 мкм (по Дубинину); $> 0,5$ мкм (по Ф.М. Иванову);
- капиллярные поры > 1 мкм (по Г.И Горчакову);
- контракционные – $1 \cdot 10^{-2}$ мкм (по Горчакову);
- поры геля – $10^{-2} \cdot 10^{-4}$ мкм (по Горчакову).

Макропоры и капиллярные поры относятся к элементам макроструктуры. Более мелкие поры – к элементам микроструктуры.

3 – Удельная поверхность S_0 характеризует степень дисперсности частиц и представляет собой отношение поверхности частиц к их объему. Для шарообразных частиц, диаметром δ имеем

$$S_0 = \frac{\pi \delta^2}{\pi \delta^3 / 6} = \frac{6}{\delta}. \quad (1.12)$$

Удельная поверхность определяет интенсивность обменных процессов, таких как адсорбция, экстракция, растворение, происходящих на поверхности дисперсной фазы.

Если пористое тело состоит из частиц с удельной поверхностью S_0 , то поверхность пустот (внутренняя поверхность), отнесенную к единице объема S_V или массы S_M называют удельной поверхностью пустот. При этом величины S_V и S_M связаны с S_0 следующими очевидными соотношениями

$$S_V = S \frac{V(1-\varepsilon)}{V} = S_0(1-\varepsilon); \quad S_M = S_0 \frac{V(1-\varepsilon)}{\rho V} = \frac{S_0(1-\varepsilon)}{\rho}. \quad (1.13)$$

4 – Влажность – содержание влаги в материале в данный момент, отнесенное либо к массе влажного w , либо сухого материала u

$$w = \frac{m_1}{m_\Sigma}; \quad u = \frac{m_1}{m_2}. \quad (1.14)$$

При этом имеют место

$$u = \frac{w}{1-w}; \quad w = \frac{u}{1+u}. \quad (1.15)$$

Если $m_1=u$, то количество влаги W теряемой, например, в результате сушки

$$W = m_2 (u_{\text{н}} - u_{\text{к}}). \quad (1.16)$$

5 – Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать влагу. Водопоглощение выражают или степенью заполнения объема материала водой (водопоглощение по объему w_V), или отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (водопоглощение по массе w_m):

$$w_V = \frac{m - m_2}{V_{\Sigma}} \frac{1}{\rho_{H_2O}} \leq \varepsilon_{\text{откр}}; \quad (1.17)$$

$$w_m = \frac{m - m_2}{m_2} = u; \quad (1.18)$$

$$w_V = \tilde{\rho} w_m; \quad (1.19)$$

$$k_{\text{н}} = \frac{w_V}{\varepsilon}, \quad (1.20)$$

где $k_{\text{н}} = 0 \div 1$ – коэффициент насыщения пор водой. Характеризует морозостойкость материала;

6 – Водостойкость – способность материала сохранять механические свойства при насыщении водой характеризуется коэффициентом размягчения

$$k_{\text{разм}} = \frac{R_w}{R}, \quad (1.21)$$

где $k_{\text{разм}} = 0 \div 1$ – коэффициент размягчения, характеризующий водостойкость материала; R_w – прочность во влажном состоянии; R – прочность в нормальном состоянии, МПа (кгс/см²). У глины $k_{\text{разм}} = 0$, у металлов, стекла, фарфора $k_{\text{разм}} = 1$.

При проектировании фундаментов, опор мостов, гидротехнических и других сооружений, в которых строительные материалы подвергаются воздействию воды, предусматривается применение водостойких материалов с $k_{\text{разм}} \geq 0,8$.

7 – Водопроницаемость – свойство пористой структуры пропускать воду под давлением и характеризуется *коэффициентом фильтрации* k_{Φ} (м²/(Па·с)), который в соответствии с *законом Дарси* определяется следующим образом

$$k_{\Phi} = \frac{Vh}{\Delta p S \tau} \quad (1.22)$$

где V – объем жидкости, м^3 ; h – толщина стенки, м ; Δp – разность давлений, Па ; S – площадь поверхности, м^2 ; τ – время, с . Если в (1.22) выразить Δp в м вод. ст., а τ в ч, то k_ϕ будет иметь размерность скорости, т.е. м/ч .

В свою очередь

$$k_\phi = k_{\text{пр}} / \mu, \quad (1.23)$$

где $k_{\text{пр}}$ – **коэффициент проницаемости**, м^2 ; μ – коэффициент динамической вязкости сплошной среды, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Если пористая среда представима в виде пучка параллельно взаимодействующих капиллярных каналов, то согласно **модели Козени-Кармана**

$$k_{\text{пр}} = \frac{\varepsilon^3}{2\zeta^2 S_0^2 (1-\varepsilon)^2}, \quad (1.24)$$

где ζ – коэффициент извилистости.

Свойство, обратное водопроницаемости, – **водонепроницаемость**. Характеризует структуру плотных материалов, работающих в условиях непосредственного контакта с водой (например, гидротехнический бетон). Такие материалы подразделяются на классы по водонепроницаемости (W2, W4, W6, W8, W12). Цифра показывает величину давления воды в кгс/см^2 , при котором образец – цилиндр высотой 15 см не пропускает воду.

8 – Газопроницаемость – свойство, аналогичное водопроницаемости. При небольших перепадах давлений (когда можно пренебречь изменением плотности газа) для определения коэффициента газопроницаемости k_r можно воспользоваться уравнением (1.22). Однако при этом следует иметь в виду, что объем проходящего газа приводят к нормальным условиям.

Для одной и той же структуры значение газопроницаемости значительно выше водопроницаемости.

Газопроницаемость существенно зависит от размеров и вида пор, поэтому этот показатель часто используют при оценке равномерности структуры.

Для оценки проницаемости структуры используется коэффициент удельного сопротивления $r_0 = 1/k_{\text{пр}}$.

Паропроницаемость является разновидностью газопроницаемости с той лишь особенностью, что пар способен в зависимости от условий изменять свое агрегатное состояние, т.е. конденсироваться, вытесняя газовую фазу, и значительно изменять свойства структуры.

9 – Теплємкость C является мерой энергии, необходимой для повышения температуры материала. Это термодинамический параметр, используемый для определения энтропии, энтальпии и других величин.

Величина C характеризуется отношением количества теплоты сообщенного телу (системе) в каком-либо процессе, к соответствующему изменению его температуры dT , т.е. $C = Q/dT$.

Отношение теплоемкости к массе тела m называют удельной теплоемкостью c_m , а отношение теплоемкости к количеству вещества M в молях называют молярной теплоемкостью — c_M :

$c_m = C/m$ [Дж/(кг·К)] – удельная теплоемкость;

$c_M = C/M$ [Дж/(моль·К)] – молярная теплоемкость.

Обычно различают теплоемкость при постоянном давлении c_p (изобарический процесс) и при постоянном объеме c_v (изохорический процесс).

Удельная теплоемкость влажных материалов определяется по правилу аддитивности

$$c_u = (c_m + c_v u) / (1 + u), \quad (1.25)$$

где c_u , c_m , c_v – теплоемкости влажного, сухого материала и воды соответственно, Дж/(кг·К)

10 – Теплопроводность является физическим свойством материалов, связанным с переносом в них тепловой энергии за счет взаимодействия их мельчайших частиц (атомов, ионов, электронов, молекул).

Перенос тепловой энергии осуществляется непосредственно от частиц, обладающих большей энергией, к частицам с меньшей энергией и приводит к выравниванию температуры тела. Взаимодействие частиц происходит в результате непосредственного их столкновения, при перемещении или колебании.

Если такие условия переноса тепловой энергии выполняются, и такой вид переноса является доминирующим, то соблюдается **закон Фурье**, согласно которому вектор плотности теплового потока $\vec{q}$ пропорционален и противоположен по направлению градиенту температуры t (grad t), т.е.:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad } t, \quad (1.26)$$

где λ – **коэффициент теплопроводности** (теплопроводность), который не зависит от grad t , а зависит от агрегатного состояния вещества, его атомно-молекулярного строения, состава, температуры и давления.

Из (1.26) следует

$$\lambda = -\frac{|\vec{q}|}{\text{grad } t} = \frac{Q}{S \tau \Delta t / \delta}, \quad (1.27)$$

где Q – количество теплоты, Дж; S – площадь поверхности, м²; τ – время, с; Δt – разность температур, К; δ – толщина, м.

Таким образом, теплопроводность – это способность материала передавать через свою толщу тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на поверхностях, ограничивающих материал.

Для каменных материалов λ определяется по формуле В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22 \tilde{\rho}^2} - 0,16. \quad (1.28)$$

Для учета влияния влажности на теплопроводность можно воспользоваться формулой [9]

$$\lambda_w = \lambda + \Delta\lambda w_v, \quad (1.29)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала в сухом состоянии; $\Delta\lambda$ – приращение теплопроводности на 1% объемного водопоглощения (для неорганических материалов при $t > 0$ $\Delta\lambda = 0,0023$, при $t < 0$ $\Delta\lambda = 0,0046$; для органических – соответственно 0,0035 и 0,0046); w_v – объемное водопоглощение в %.

Для плохо проводящих материалов при $t = -100 \dots 800$ °C зависимость λ от температуры описывается уравнением [8]

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + \beta t_{cp}), \quad (1.30)$$

где λ_t , λ_0 – коэффициенты теплопроводности соответственно при t_{cp} и 0 °C при нулевой температуре; β – приращение теплопроводности; t_{cp} – средняя температура материала

Наряду с коэффициентом теплопроводности λ широко используется такой параметр, как *термическое сопротивление*, которое, например, для ограждающей многослойной конструкции определяется формулой

$$R = \sum_i r_i = \sum_i \delta_i / \lambda_i, \quad (1.31)$$

где r_i – сопротивление i -го слоя, м²·К/Вт.

11 – Тепловое расширение материалов характеризуется *коэффициентом линейного температурного расширения (КЛТР)*, представляющим собой относительную величину (долю) увеличения длины изделия при нагревании на 1 °C, (°C)⁻¹.

1.2 Механические свойства

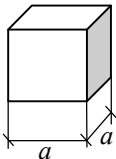
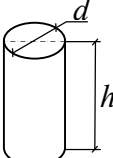
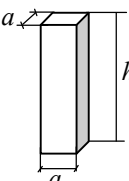
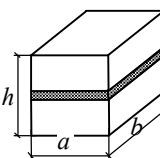
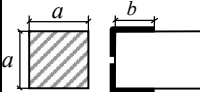
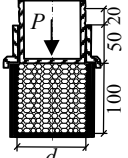
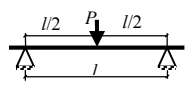
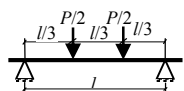
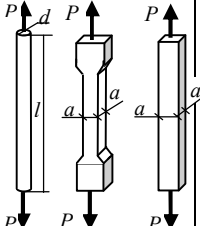
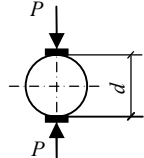
12 – Прочность – свойство материала сопротивляться, не разрушаясь, внутренним напряжениям и деформациям, которые возникают под действием внешних факторов (силовых, тепловых и т.д.). На практике предел прочности определяют путем разрушения стандартных образцов при сжатии $R_{сж}$, изгибе $R_{и}$ или растяжении R_p в МПа

$$R_{сж} = F/S; R_p = F/S_0; R_{и} = M/W, \quad (1.32)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; S – площадь сечения образца, м²; S_0 – то же в исходном состоянии, м²; M – изгибающий момент, Н·м; W – момент сопротивления, м³.

Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии, изгибе и растяжении представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии, изгибе и растяжении

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размеры стандартного образца, см
1	2	3	4	5
Куб		$R = \frac{P}{a^2}$	бетон	15×15×15
			раствор	7,07×7,07×7,07
			природный камень	5×5×5; 15×15×15 и др.
Цилиндр		$R = \frac{4P}{\pi d^2}$	бетон	$d = 15; h = 30$
			природный камень	$d = h = 5; 7; 10; 15$
Призма		$R = \frac{P}{a^2}$	бетон	$a = 10; 15; 20;$ $h = 40; 60; 80$
			древесина	$a = 2; h = 3.$
Составной		$R = \frac{P}{ab}$	кирпич	$a = 12; b = 12;$ $h = 14$
Половина призмы		$R = \frac{P}{ab}$	цемент	$a = 4; b = 6,25;$ $S = 25 \text{ см}^2$
Проба щебня		$R_{\text{сд.з}} = \frac{P}{S}$	крупный заполнитель бетона	$d = 15;$ $S = 177 \text{ см}^2$
Призма, кирпич		$R_{\text{н}} = \frac{M_{\text{н}}}{W}; W = \frac{1}{6}bh^2.$	цемент	4×4×16
			кирпич	12×6,5×25
Призма		$R_{\text{н}} = \frac{M_{\text{н}}}{W}; W = \frac{1}{6}bh^2.$	бетон	15×15×60
			древесина	2×2×30
Стержень, «восьмерка», Призма (растяжение)		$R_{\text{п}} = \frac{4P}{\pi d^2}; R_{\text{п}} = \frac{P}{a^2}.$	бетон	5×5×50; 10×10×80
			сталь	$d = 1; l = 5;$ $l \geq 10d$
Цилиндр (растяжение при раскалывании)		$R_{\text{пп}} = \frac{2P}{\pi dl}; R_{\text{пп}} = \frac{0,52P}{a^2}.$	бетон	$d = 15$

12 – Коэффициент конструктивного качества

$$KKK = R_{\text{сж}} / \tilde{\rho} \quad (1.33)$$

В этой связи представляет интерес характеристика прочности на растяжение некоторых строительных материалов, представленная в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Сравнительная характеристика прочности на растяжение некоторых строительных материалов

Наименование материала	$\tilde{\rho}$	R_p , МПа	$R_p / \tilde{\rho}$, МПа
Сосна ($w = 0,12$)	0,53	115	217
сталь	7,85	2000	255
стеклопластик	2	400	200

13 – Истираемость I_m , г/см².

$$I_m = (m_1 - m_2) / S \quad (1.34)$$

14 – Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого тела (шарика, призмы, пирамиды).

Твердость по Бриннелю (рис. 1.1) определяют по величине отпечатка металлического шарика по формуле

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2}} = \frac{F}{D^2} \left[\frac{2/\pi}{1 - \sqrt{1 - (d/D)^2}} \right], \quad (1.35)$$

где HB – твердость, МПа; d – диаметр отпечатка, мм; D – диаметр шарика, мм; F – нагрузка, Н.

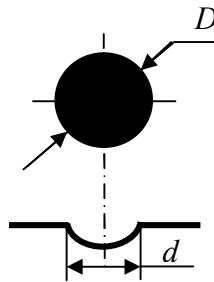


Рисунок 1.1 – Схема испытания на твердость

Стандартное значение диаметра шарика $D = 2,5$ мм. Величину F/D^2 обозначают K . В зависимости от вида материала K принимает значения 30, 10, 2,5. Признаком правильности выбора K служит отношение $0,2D < d < 0,6D$.

1.3 Некоторые особенности определения свойств древесины

15 – Средняя плотность

$$\rho_u = m_u / V_{\text{ест}} ; \quad (1.36)$$

$$\rho_{12} = \rho_u \left[1 + 0,01(1 - k_y)(12 - u \cdot 100\%) \right], \quad (1.37)$$

где ρ_{12} , ρ_u – средняя плотность древесины при стандартном влагосодержании и при влажности u , соответственно, кг/м³; k_y – коэффициент объемной усушки: для березы, бука, граба, лиственницы $k_y = 0,6$, для остальных пород $k_y = 0,5$.

В древесине различают гигроскопическую влагу, связанную в стенках клеток, и капиллярную влагу, которая свободно заполняет полости клеток и межклеточное пространство.

Предел гигроскопической влажности (в среднем он составляет около 30 %) соответствует полному насыщению стенок клеток древесины водой.

Равновесная влажность зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Равновесная влажность комнатно-сухой древесины составляет 8 – 12 %, воздушно-сухой после – продолжительной сушки на открытом воздухе 15 – 18 %.

16 – Прочность при статическом изгибе определяется путем испытания образцов, имеющих форму параллелепипеда и размеры, указанные на схеме, представленной на рис. 1.2

$$R_{\text{и}}^u = 3Pl / (2bh^2), \quad (1.38)$$

где l , b , h – расстояние между центрами опор; ширина и высота образца, соответственно.

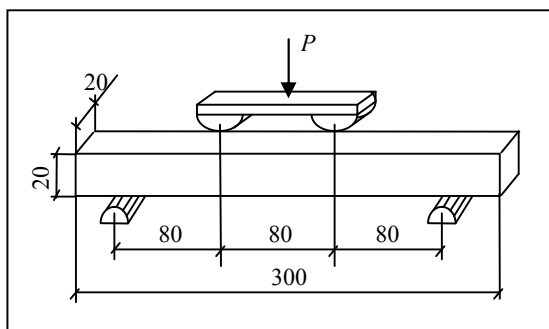


Рисунок 1.2 – Типичная схема испытаний на прочность при изгибе древесины

Показатели прочности должны быть пересчитаны на стандартную влажность $u = 0,12$

$$R_{\text{и}}^{12} = R_{\text{и}}^u \left[1 + \alpha(u \cdot 100 - 12) \right]. \quad (1.39)$$

где α – коэффициент, зависящий от вида древесины: для сосны, лиственницы, березы, бука и ясеня $\alpha = 0,05$, а для древесины других пород $\alpha = 0,04$.

17 – Прочность на сжатие определяется путем испытания образцов, имеющих форму параллелепипеда с основанием 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм.

$$R_{сж}^{12} = R_{сж}^u \left[1 + \alpha (u \cdot 100 - 12) \right], \quad (1.40)$$

где α – поправочный коэффициент, равный 0,03. Характер влияния влажности представлен на рис. 1.3.

Сравнительная характеристика различных пород древесины представлена в табл. 1.4

Таблица 1.4 – Характеристика различных пород древесины в условиях естественной влажности ($u = 0,12$)

Наименование материала	$\tilde{\rho}$	$R_{сж}$, МПа	$R_{из}$, МПа
Сосна	0,53	44	79
ель	0,46	42	77,5
кедр	0,44	35	64,5
пихта	0,39	33	58,5
дуб	0,72	52	94
бук	0,65	46	94
береза	0,64	45	100
липа	0,54	39	68
осина	0,5	37	77

18 – Условный предел прочности при местном смятии определяется по уравнению

$$R_{см}^u = P_{усл} / (b_{обр} b_{накл}) \quad (1.41)$$

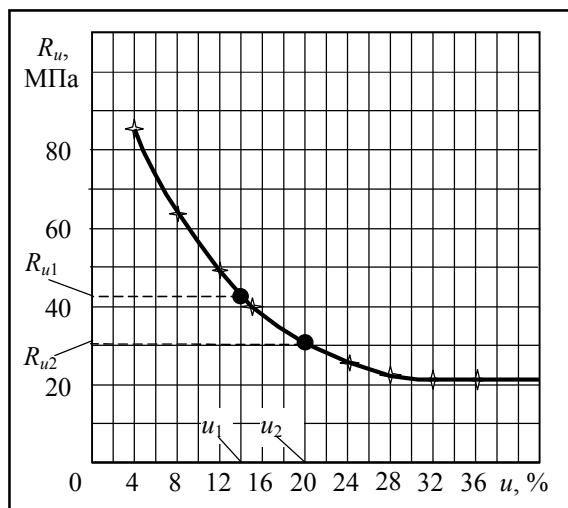


Рисунок 1.3 – Типичная характеристика влияния влажности древесины на прочность при сжатии вдоль волокон.

где $R_{см}^u$ – предел прочности при смятии поперек волокон; $b_{обр} = 20$ мм; $b_{накл} = 18$ мм – ширина образца и металлической накладки.

$$R_{\text{см}}^{12} = R_{\text{см}}^u \left[1 + \alpha (u \cdot 100 - 12) \right], \quad (1.42)$$

где α – поправочный коэффициент, равный для всех пород древесины 0,035.

19 – Статическую твердость определяют по величине нагрузки P при вдавливании полусферы, радиусом $r = 5,64$ мм

$$H_u = P / (\pi r^2) \quad (1.43)$$

$$H_{12} = H_u \left[1 + \alpha (u \cdot 100 - 12) \right] \quad (1.44)$$

где α – поправочный коэффициент, равный для всех пород древесины 0,03.

Отметим, что приведенные выше уравнения в пунктах 16 – 19 определяют прочностные показатели образцов с влажностью меньше предела гигроскопичности. Если же влажность образцов равна или больше предела гигроскопичности (30 %), то

$$R_{12} = R_u / k_{12}^{30}, \quad (1.45)$$

где R_{12} – показатель данного свойства при влажности 12%, МПа; R_u – показатель этого свойства при влажности в момент испытания, МПа; u – влажность древесины в момент определения, %; k_{12}^{30} – коэффициент пересчета при влажности 30%, равный: 0,4 – для березы и лиственницы; 0,445 – для ели, пихты, граба, груши, ивы, ореха, осины и тополя; 0,45 – для сосны и бука; 0,475 – для клена; 0,535 – для вяза и ясеня; 0,55 – для дуба, липы и ольхи.

20 – Коэффициент объемной усушки характеризует степень усушки древесины и определяется как

$$k_y = \frac{Y_{V \max}}{u_{\text{пг}}}, \quad (1.46)$$

где $Y_{V \max}$ – максимально возможная объемная усушка древесины (в %) с влажностью u , соответствующей пределу гигроскопичности древесины различных пород $u_{\text{пг}}$, среднее значение которого принимается равным 30%. В свою очередь объемную усушку Y_V определяют без учета продольной усушки по формуле

$$Y_V = \frac{ab - a_0 b_0}{ab} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{a_0 b_0}{ab} \right) \cdot 100\%, \quad (1.47)$$

где a и b – размеры поперечного сечения образца при данной начальной влажности; a_0 и b_0 – то же, в абсолютно сухом состоянии.

1.4 Примеры решения типовых задач

Пример 1.4.1

Определить относительный объем пор в кубе, заполненном шарообразными частицами диаметром δ в случае их кубической упаковки (см. рис. 1.4).

Решение:

Обозначив длину ребра куба L , будем иметь:

Объем куба $V=L^3$; число частиц в ряду $n=L/\delta$; число частиц в кубе $N=n^3$.

В свою очередь объем частицы $V_{\text{ч}}=\pi\delta^3/6$; общий объем, занимаемый частицами

$$V_2 = n^3 V_{\text{ч}} = \frac{\pi}{6} L^3.$$

Тогда относительный объем пор или иначе пористость составит

$$\varepsilon = \frac{V - V_2}{V} = \frac{L^3 (1 - \pi/6)}{L^3} = 0,476,$$

Упаковка в шахматном порядке дает $\varepsilon = 0,3$. Гексагональной упаковке соответствует $\varepsilon = 0,2595$.

Пример 1.4.2

Определить кажущуюся плотность камня неправильной формы, если его вес в воздушно-сухом состоянии $G_{\text{к в с}}=0,8$ Н. После покрытия его поверхности пленкой парафина вес камня в воде составил $G_{\text{к вод}}=0,37$ Н. При этом была израсходована $m_{\text{пар}}=7,5 \cdot 10^{-3}$ Н. Плотность парафина $\rho_{\text{пар}}=900$ кг/м³.

Дано: $G_{\text{к в с}}=0,8$ Н; $G_{\text{к вод}}=0,37$ Н; $m_{\text{пар}}=0,7645 \cdot 10^{-3}$ кг; $\rho_{\text{пар}}=900$ кг/м³.

Найти: $\rho_{\text{к}}^0$.

Решение:

Прежде всего, определим объем парафина

$$V_{\text{пар}} = \frac{m_{\text{пар}}}{\rho_{\text{пар}}} = \frac{0,7645 \cdot 10^{-3}}{900} = 0,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Исходя из баланса сил, действующих на камень в воде, найдем общий объем камня

$$V_{\text{к}} = \frac{G_{\text{к в с}} - G_{\text{к вод}}}{\rho_{\text{вод}} g} - V_{\text{пар}} = \frac{0,8 - 0,37}{1000 \cdot 9,81} - 0,85 \cdot 10^{-6} = 42,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Тогда

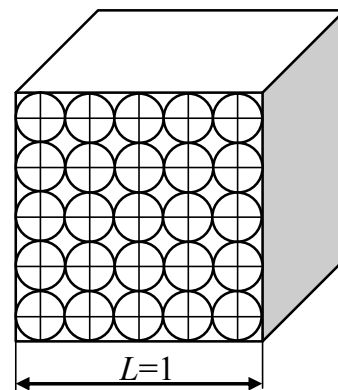


Рисунок 1.4 – Куб, заполненный шарообразными частицами

$$\rho_k^0 = \frac{G_{к\text{вс}}}{gV_k} = \frac{0,8}{9,8 \cdot 42,55 \cdot 10^{-6}} = 1915 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 1.4.3

Масса сухого известняка $m_c=0,3$ кг, а после насыщения водой $m=0,308$ кг. Плотность известняка в сухом состоянии $\rho_c=2400$ кг/м³. Определить w_V и w_m .

Дано: $m_c=0,3$ кг; $m=0,308$ кг; $\rho_c=2400$ кг/м³

Найти: w_V , w_m .

Решение:

Согласно (1.18) и (1.19) будем иметь

$$w_m = \frac{m - m_c}{m_c} = \frac{0,308 - 0,3}{0,3} = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ кг/кг}.$$

$$w_V = \frac{m - m_c}{m_c} \frac{\rho_c}{\rho_{H_2O}} = \frac{m - m_c}{m_c} \tilde{\rho}_c = \frac{0,308 - 0,3}{0,3} \frac{2400}{10^3} = 0,0064.$$

Пример 1.4.4

Масса сухого глиняного кирпича $m_c=3,42$ кг; масса кирпича после насыщения водой $m_w=3,98$ кг. Определить ρ_k ; ρ_k^0 ; w_V ; w_m ; ε_0 ; ε_3 , если его объем в абсолютно плотном состоянии $V_k=12,76 \cdot 10^{-4}$ м³.

Дано: $m_c=3,42$ кг; $m_w=3,98$ кг; $V_k=12,76 \cdot 10^{-4}$ м³

Найти: ρ_k ; ρ_k^0 ; w_V ; w_m ; ε_0 ; ε_3 .

Решение:

Поскольку стандартный кирпич имеет размеры $a \times b \times c = 0,25 \times 0,12 \times 0,065$ м, то объем, занимаемый кирпичом составит

$$V_k^0 = abc = 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 = 19,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Тогда согласно (1.1) – (1.3) будем иметь

$$\rho_k = \frac{m_c}{V_k} = \frac{3,42}{12,76 \cdot 10^{-4}} = 2680 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_k^0 = \frac{m_k}{V_k^0} = \frac{3,42}{19,5 \cdot 10^{-4}} = 1754 \text{ кг/м}^3.$$

Далее в соответствии с (1.18) и (1.19) определим водопоглощение кирпича по массе и объему

$$w_m = \frac{m_u - m_c}{m_c} = \frac{3,98 - 3,42}{3,42} = 0,164;$$

$$w_v = \frac{m_u - m_c}{0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065} \cdot \frac{1}{10^3} = 0,287.$$

Это позволяет найти общую, открытую (интегральную) и закрытую пористость кирпича. Согласно (1.7) – (1.10) получим

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_k^0}{\rho_k} = 1 - \frac{1750}{2680} = 0,35; \quad \varepsilon_0 = w_V = 0,287; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon - \varepsilon_0 = 0,063.$$

Пример 1.4.5

Определить пористость затвердевшего камня из глиноземистого цемента (ГЗЦ), если в тесте содержание воды составляет 40% от массы цемента; количество связанной воды 20% от массы цемента. Истинная плотность ГЗЦ $\rho_{\text{ГЗЦ}} = 3000 \text{ кг/м}^3$. Изменение объема цементного камня при твердении не учитывать.

Дано: $m_{\text{в.ц.т}} = 0,4m_{\text{ГЗЦ}}$; $m_{\text{св.в}} = 0,2m_{\text{ГЗЦ}}$; $\rho_{\text{ГЗЦ}} = 3000 \text{ кг/м}^3 = 3 \text{ кг/л}$

Найти: ε .

Решение:

Согласно определению можно записать

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{п.к}}}{V_{\text{к.ест.с}}} = \frac{V_{\text{к.ест.с}} - V_{\text{к.атс}}}{V_{\text{к.ест.с}}} = 1 - \frac{V_{\text{к.атс}}}{V_{\text{к.ест.с}}} = 1 - \frac{m_{\text{к}}/\rho_{\text{к.атс}}}{m_{\text{к}}/\rho_{\text{к.ест.с}}} = 1 - \frac{\rho_{\text{к.ест.с}}}{\rho_{\text{к.атс}}}, \quad a)$$

где $V_{\text{п.к}}$, $V_{\text{к.атс}}$, $V_{\text{к.ест.с}}$ – объемы соответственно: пор в камне, камня в абсолютно твердом и естественном состояниях;

$\rho_{\text{к.ест.с}}$, $\rho_{\text{к.атс}}$ – плотности камня в естественном и абсолютно твердом состояниях, кг/л;

$m_{\text{к}}$ – масса затвердевшего камня, кг.

Из анализа выражения *a)* вытекает два варианта решения задачи.

Первый вариант

Поскольку $m_{\text{к}} = m_{\text{ГЗЦ}} + m_{\text{св.в}} = 1,2m_{\text{ГЗЦ}}$, а $m_{\text{теста}} = m_{\text{ГЗЦ}} + m_{\text{в.ц.т}} = 1,4m_{\text{ГЗЦ}}$, то масса испарившейся воды составит

$$m_{\text{исп.в}} = m_{\text{теста}} - m_{\text{к}} = 1,4m_{\text{ГЗЦ}} - 1,2m_{\text{ГЗЦ}} = 0,2m_{\text{ГЗЦ}}. \quad б)$$

Учитывая, что $\rho_{\text{воды}} = 1 \text{ кг/л}$, определим объем пор в камне как

$$V_{\text{п.к}} = 0,2m_{\text{ГЗЦ}}.$$

Из физических соображений следует, что $V_{\text{к.ест.с}}$ равен объему теста $V_{\text{теста}}$. Т. е.

$$V_{\text{к.ест.с}} = V_{\text{теста}} \Rightarrow \frac{m_{\text{к}}}{\rho_{\text{к.ест.с}}} = \frac{m_{\text{теста}}}{\rho_{\text{теста}}} \Rightarrow \frac{\rho_{\text{к.ест.с}}}{\rho_{\text{теста}}} = \frac{1,2m_{\text{ГЗЦ}}}{1,4m_{\text{ГЗЦ}}} = 0,8571. \quad в)$$

Отсюда следует

$$\rho_{\text{к.ест.с}} = 0,8571\rho_{\text{теста}} \quad з)$$

С другой стороны, если принять $m_{\text{ГЗЦ}} = 1$ кг, то это позволяет ввести в рассмотрение удельные объемы и с учетом $\rho_{\text{воды}} = 1$ кг/л будем иметь

$$v_{\text{теста}} = v_{\text{ГЗЦ}} + v_{\text{воды}} = \frac{1}{\rho_{\text{ГЗЦ}}} + 0,4 = \frac{1}{3} + 0,4 = 0,7333;$$

$$v_{\text{п.к}} = 0,2.$$

Тогда объем пор составит

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{п.к}}}{V_{\text{к.ест.с}}} = \frac{0,2}{0,7333} = 0,2727.$$

Второй вариант

Из а) следует, что объем пор в камне ε можно найти, если известны $\rho_{\text{к.ест.с}}$ и $\rho_{\text{к.атс}}$. Согласно определению плотности, можно записать

$$\rho_{\text{к.ест.с}} = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к.ест.с}}}; \quad \rho_{\text{к.атс}} = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к.атс}}}. \quad \text{д)}$$

Отметим, что $m_{\text{к}}$ в естественном и абсолютно твердом состояниях одинакова и равна

$$m_{\text{к}} = m_{\text{ГЗЦ}} + m_{\text{св.в}} = 1,2m_{\text{ГЗЦ}}. \quad \text{е)}$$

Определим объемы камня в абсолютно твердом и естественном состояниях $V_{\text{к.ест.с}}$ с учетом б) и $\rho_{\text{воды}} = 1$ кг/л

$$V_{\text{к.атс}} = V_{\text{ГЗЦ}} + V_{\text{св.в}} = \frac{m_{\text{ГЗЦ}}}{\rho_{\text{ГЗЦ}}} + 0,2m_{\text{ГЗЦ}}; \quad \text{ж)}$$

$$V_{\text{к.ест.с}} = V_{\text{ГЗЦ}} + V_{\text{св.в}} + V_{\text{п.к}} = \frac{m_{\text{ГЗЦ}}}{\rho_{\text{ГЗЦ}}} + 0,4m_{\text{ГЗЦ}}. \quad \text{з)}$$

Подстановка ж) и з) в д) с учетом е) дает

$$\rho_{\text{к.атс}} = \frac{1,2m_{\text{ГЗЦ}}\rho_{\text{ГЗЦ}}}{m_{\text{ГЗЦ}}(1 + 0,2\rho_{\text{ГЗЦ}})} = \frac{1,2 \cdot 3}{1 + 0,2 \cdot 3} = 2,25 \text{ кг/л};$$

$$\rho_{\text{к.ест.с}} = \frac{1,2m_{\text{ГЗЦ}}\rho_{\text{ГЗЦ}}}{m_{\text{ГЗЦ}}(1 + 0,4\rho_{\text{ГЗЦ}})} = \frac{1,2 \cdot 3}{1 + 0,4 \cdot 3} = 1,6364 \text{ кг/л}.$$

Тогда из а) получим

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{к.ест.с}}}{\rho_{\text{к.атс}}} = 1 - \frac{1,6364}{2,25} = 0,2727.$$

В некоторых задачах требуется определить плотность теста, которая в данном случае по аналогии будет равна

$$\rho_{\text{теста}} = \frac{1,4\rho_{\text{гзц}}}{1 + 0,4\rho_{\text{гзц}}} = \frac{1,4 \cdot 3}{2,2} = 1,9091 \text{ кг/л};$$

Если воспользоваться выражением 2), то для плотности камня в естественном состоянии получим тот же результат

$$\rho_{\text{к ест. с}} = 0,8571\rho_{\text{теста}} = 0,8571 \cdot 1,9091 = 1,6364 \text{ кг/л}.$$

Данный вариант предпочтительней первого, поскольку дает больше информации.

2 Материальный баланс химико-технологических процессов в производстве вяжущих веществ [5 – 8]

Совокупность операций, позволяющих получить целевой продукт из исходного сырья, представляет собой химико-технологический процесс (ХТП). При разработке ХТП проводятся разнообразные расчеты для количественной оценки протекающих операций, способов производства одной и той же продукции, подбора реакционных и других аппаратов.

Материальные расчеты, наряду с тепловыми, являются основой технологических расчетов. Расчеты производственного оборудования, коммуникаций производятся после определения материальных потоков сырья и продуктов синтеза, представленных в виде материального баланса процесса.

Материальный баланс (МБ) – это вещественное выражение закона сохранения массы вещества. Широко используется в практике планирования и учета расхода минеральных ресурсов. МБ необходим для контроля удельных расходов исходных компонентов или удельного выхода продуктов процесса. Различают следующие его разновидности: МБ компонентов, МБ веществ, МБ химических элементов.

Обычно уравнения МБ составляются в кг (компонентов, веществ, элементов) на кг технологического продукта или сырья.

Расчет МБ основан на 2-х объективных законах:

1) Закон сохранения массы – общая масса всех исходных веществ (приход), вводимых в технологический процесс равна общей массе веществ, входящих в состав продуктов технологического процесса (расходу).

2) Закон стехиометрических соотношений, который, например, для реакции



с учетом стехиометрических коэффициентов a , b , r , s и молярных масс компонентов $M(A)$, $M(B)$, $M(R)$ и $M(S)$ можно представить в виде

$$\frac{m_A}{aM(A)} = \frac{m_B}{bM(B)} = \frac{m_R}{rM(R)} = \frac{m_S}{sM(S)}. \quad (2.2)$$

Тогда, если известна масса, хотя бы одного компонента реакции, можно определить массы всех остальных компонентов реакции.

Исходными предпосылками **теоретического МБ** процесса являются: полная конверсия (степень превращения или степень завершения реакции) реагентов, участвующих в этом процессе, и отсутствие примесей в них. Тогда на основе стехиометрического уравнения реакции (2.1) будем иметь

$$aM(A) + bM(B) = rM(R) + sM(S). \quad (2.3)$$

При составлении практического МБ учитывают состав исходного сырья и готовой продукции, степень превращения сырья, потери сырья и готового продукта и т. д. Поскольку при этом учитываются не все протекающие реакции и получаемые побочные продукты, а лишь те, которые имеют существенное значение, то материальный баланс носит приближенный характер.

Сырье, как правило, имеет примеси и поэтому называется техническим. В связи с этим в реакторе из исходного сырья образуется смесь целевого и побочного продуктов, а также в случае не полной конверсии сырья – непрореагировавшие (непревращенные) остатки сырья и его примеси. Отметим, что в случае экономической целесообразности процесс может быть реализован по циркуляционной схеме, т. е. с возвратом остатков сырья в реактор.

Для наглядности составляют схему материальных потоков, как, например, это показано на рис. 2.1 в случае неполной конверсии реагентов в химическом реакторе и отсутствии возврата остатков сырья в процесс.

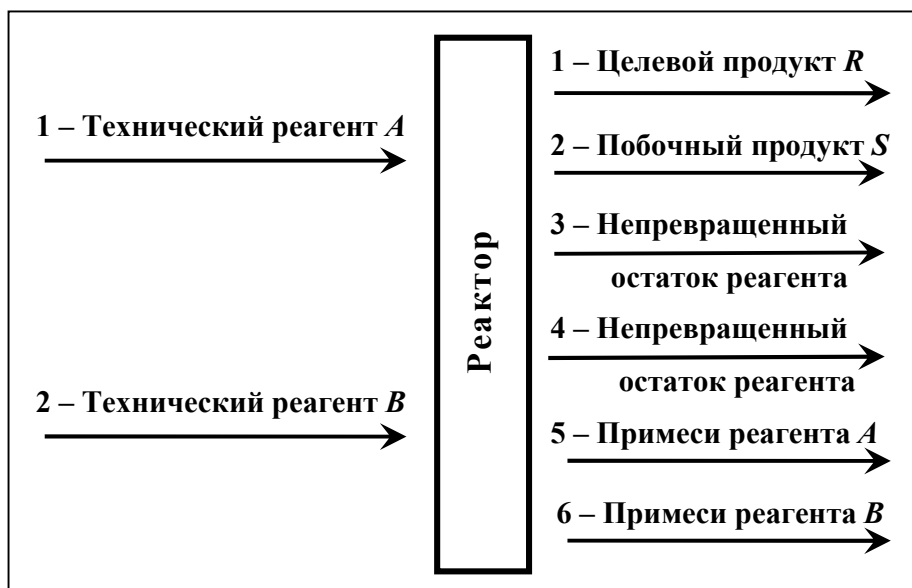


Рисунок 2.1 – Схема материальных потоков при неполной конверсии реагентов в химическом реакторе и отсутствии циркуляции

Результаты расчетов, как правило, представляют в виде таблицы, состоящей из двух частей. В левой части суммируются массы всех видов сырья и вспомогательных материалов, поступающих на переработку (приход), а в правой – массы потоков, прошедших переработку и разделение.

В заключении производят расчет основных технологических критериев эффективности. К ним относятся: конверсии исходных реагентов, полная се-

лективность, расходные коэффициенты по сырью, выход готового целевого продукта.

Конверсия (степень превращения или степень завершения реакции) исходного реагента характеризует полноту использования сырья в ХТП. Так, например, для реакции (2.1) степень превращения реагента A

$$\alpha_A = \frac{N_{A \text{ превр}}}{N_{A \text{ исх}}} = \frac{N_{A \text{ исх}} - N_{A \text{ непревр}}}{N_{A \text{ исх}}}, \quad (2.4)$$

где $N_{A \text{ исх}}$, $N_{A \text{ превр}}$, $N_{A \text{ непревр}}$ – соответственно количество исходного, превращенного и непревращенного реагента. При этом $N_{A \text{ превр}}$ включает в себя как целевой, так и побочные продукты. Эти величины можно задавать в единицах количества вещества n (моль, кмоль) или в единицах массы m (г, кг и др.).

Часто, особенно в непрерывных процессах, конверсию рассчитывают через концентрацию реагента в исходной и реакционной смеси

$$\alpha = \frac{c_{\text{исх}} - c_{\text{р см}}}{c_{\text{исх}}}. \quad (2.5)$$

Если известна конверсия одного из реагентов, например A , то в соответствии со стехиометрией реакции (2.1) можно выразить конверсию реагента следующим образом.

Согласно определению

$$\alpha_B = \frac{n_{B \text{ превр}}}{n_{B \text{ исх}}}. \quad (2.6)$$

В свою очередь

$$n_{B \text{ превр}} = \frac{b}{a} n_{A \text{ превр}}; \quad n_{A \text{ превр}} = \alpha_A n_{A \text{ исх}}. \quad (2.7)$$

Тогда

$$\alpha_B = \frac{n_{B \text{ превр}}}{n_{B \text{ исх}}} = \frac{bn_{A \text{ превр}}}{an_{B \text{ исх}}} = \frac{b\alpha_A n_{A \text{ исх}}}{an_{B \text{ исх}}} = \alpha_A \frac{n_{A \text{ исх}}/n_{B \text{ исх}}}{a/b}. \quad (2.8)$$

Из последнего уравнения следует:

а) если $n_{A \text{ исх}}/n_{B \text{ исх}} = a/b$, то реагенты взяты в стехиометрическом количестве, т. е. $\alpha_A = \alpha_B$;

б) если $n_{A \text{ исх}}/n_{B \text{ исх}} > a/b$, то реагент A взят в избытке $\alpha_A < \alpha_B$;

в) если $n_{A \text{ исх}}/n_{B \text{ исх}} < a/b$, то реагент B взят в избытке $\alpha_A > \alpha_B$.

Степень превращения α характеризует процесс не полностью: даже прореагировав целиком, реагент может послужить образованию как целевого, так и побочного продукта.

Эффективность целевой реакции по сравнению с побочными оценивается показателем селективности, определяемым через отношение количества

исходного реагента, расходуемого на целевую реакцию, к его общему количеству, необходимого для целевой и побочной реакции вместе. Например, для реакции (2.1) будем иметь

$$\varphi_A = \frac{m_{A \text{ цел}}}{m_{A \text{ цел}} + m_{A \text{ поб}}} . \quad (2.9)$$

Рассчитанную таким образом селективность называют **полной или интегральной**.

Максимальный (теоретический) выход продукта определяется на основе стехиометрического уравнения целевой реакции, исходя из допущения, что вся масса сырья (без примесей) расходуется на получение только целевого продукта, т.е. при полной конверсии сырья. Так, например, для реакции



можно записать

$$m_{R \text{ max}} = \frac{m_A r M(R)}{a M(A)} . \quad (2.11)$$

Практический выход равен отношению количества реально полученного целевого продукта к максимально возможному его количеству, которое могло быть получено при данных условиях

$$\mu_R = \frac{m_R}{m_{R \text{ max}}} , \quad (2.12)$$

где μ_R – выход целевого продукта; m_R , $m_{R \text{ max}}$ – количество реально полученного целевого продукта и максимально возможное его количество при полной конверсии сырья.

Расходные коэффициенты по сырью показывают количество каждого вида сырья, израсходованного на получение единицы продукта. Единица измерения величины расходного коэффициента: кг/кг; т/т, м³/т, м³/м³ и т.д.

Теоретические расходные коэффициенты по реагентам рассчитывают на основе стехиометрического уравнения целевой реакции, как отношение молярной массы реагента к молярной массе целевого продукта с учетом стехиометрических коэффициентов:

Так, например, для реакции (2.10) будем иметь

$$\gamma_A^r = \frac{a M(A)}{r M(R)} ; \quad \gamma_B^r = \frac{b M(B)}{r M(R)} . \quad (2.13)$$

Эти коэффициенты определяют расход чистого реагента при полной конверсии без протекания побочных реакций и без учета потерь на получение единицы продукции.

Фактические (практические) расходные коэффициенты определяются на основе практических данных материального баланса конкретного произ-

водства и показывают действительный расход сырья для получения единицы целевого продукта, т. е.

$$\gamma_A^\phi = \frac{m_A}{m_R}; \quad \gamma_B^\phi = \frac{m_B}{m_R}, \quad (2.14)$$

где m_A и m_B – количество израсходованного технического сырья.

Из сравнения γ^T и γ^ϕ можно сделать вывод о совершенстве данного процесса. Чем ближе значения этих величин, тем совершеннее производство.

Отметим, что отличие коэффициентов тем значительнее, чем ниже конверсия и селективность процесса, выше потери сырья и продуктов, меньше степень очистки сырья от примесей перед подачей в реактор.

Фактические расходные коэффициенты используют при расчете себестоимости продукта. Умножая γ^ϕ по каждому виду сырья на его стоимость, получают долю затрат на этот вид сырья в себестоимости продукта.

При этом учитываются потери по массе, которые, например, для процесса получения извести (процесса декарбонизации) обусловлены:

- газовыми отходами, определяемые степенью обжига (диссоциации) β или потерями при прокаливании $ППП^c$ (часть сырья в результате тепловой обработки переходит в газовое состояние)

$$\beta = \frac{m_{CO_2}^{в\ddot{y}д}}{m_{CO_2}^{исх}} = 1 - \frac{ППП}{ППП + ППП^c} \left(\frac{1 - ППП^c}{1 - ППП} \right) = \frac{ППП^c}{ППП + ППП^c (1 - ППП)}, \quad (2.15)$$

где $m_{CO_2}^{в\ddot{y}д}$ – масса CO_2 , выделившаяся в процессе обжига; $m_{CO_2}^{исх}$ – общая масса CO_2 , содержащаяся в единице исходного сырья; $ППП$, $ППП^c$ – массовая доля потерь при прокаливании готового продукта и сухого исходного сырья, соответственно;

- пылеуносом с печными газами или другими отходами твердого, определяемым как

$$m_{ун} = m_{сух} k_{ун}; \quad (2.16)$$

- естественной влажностью сырья, определяемой по отношению количества влаги к массе сырья во влажном состоянии, т.е. $w = W/m_{с. вл.}$. При этом масса сухого сырья

$$m_{сух} = m_{с. вл.} (1 - w). \quad (2.17)$$

В этом случае взаимосвязь между массами целевого продукта и исходного технического реагента с учетом $ППП^c$ и β можно выразить в виде

$$m_{цел. пр} = m_{с. вл.} (1 - w)(1 - k_{ун})(1 - \beta ППП^c). \quad (2.18)$$

Тогда

$$\mu = (1 - w)(1 - k_{ун})(1 - \beta ППП^c). \quad (2.19)$$

Производительностью называют массу готового продукта в единицу времени при заданных условиях процесса производства, т.е.

$$G = m_{\text{цел. пр.}}/\tau. \quad (2.20)$$

Под мощностью N понимают максимально возможную производительность при оптимальных условиях

$$N = G_{\text{max}}. \quad (2.21)$$

Интенсивностью процесса или аппарата называют производительность, отнесенную к единице полезного объема V или рабочей поверхности аппарата F

$$J = G/V; J = G/F. \quad (2.22)$$

В заключение данного раздела отметим некоторые особенности расчетов МБ ХТП.

- Существуют две характерные постановки задач материальных расчетов: при первой задан состав только исходных компонентов; при второй – и исходных компонентов, и продуктов процесса.
- В расчетах идеальных процессов полагается, что реагирующие вещества исходных компонентов поступают и расходуются в соотношениях, определяемых стехиометрией химических реакций, каждая из которых протекает необратимо до полного превращения исходных реагентов в продукты процесса. С учетом этих допущений для выполнения материального расчета идеального процесса помимо состава исходных компонентов необходимо знать лишь перечень химических реакций. Указанной информации достаточно для определения из стехиометрии удельных выходов продуктов процесса, их состава, а также удельных расходов исходных компонентов.
- При первой постановке задачи расчета неравновесных процессов необходима дополнительная информация о степени завершенности каждой из химических реакций и о соотношении расходов отдельных компонентов. Для не реагирующих веществ, которые переходят в продукты процесса, удобно принять, что они участвуют в реакции, степень завершения которой равна нулю. Искомые параметры те же, что и в предыдущем случае. При второй постановке задач материального расчета неравновесных процессов в качестве исходных данных используются состав исходных материалов и состав продуктов ХТП. Искомыми величинами являются удельные расходы отдельных компонентов исходных материалов и удельные выходы продуктов процесса.
- При формулировке задач материального расчета равновесных процессов исходят из допущения, что продукты процесса имеют равновесный состав. Помимо состава исходных материалов и перечня химических реакций задаются также термодинамические параметры: температура $T_{\text{тп}}$ и $p_{\text{тп}}$. Исходные величины здесь те же, что и в аналогичных задачах материального расчета неравновесных процессов.

В качестве примера приведем алгоритм расчета МБ для простой необратимой реакции (2.1), протекающей в химическом реакторе, без использования циркуляции при следующих исходных данных:

G_R – производительность реактора по целевому продукту R , кг/с;

x_A – концентрация чистого реагента A в техническом реагенте A , % масс. (или иначе массовая доля);

$x_{\text{пр. } B}$ – содержание примесей в B , % масс. (или иначе массовая доля);

α_A, α_B – конверсии реагентов A и B .

Алгоритм решения

1 – Воспользовавшись таблицей Менделеева определяют молярные массы всех участников реакции, умножая полученные значения на соответствующие стехиометрические коэффициенты, а далее осуществляют проверку правильности расчетов по уравнению (2.3)

$$aM(A) + bM(B) = rM(R) + sM(S).$$

2 – В соответствии с уравнением (2.2) находят стехиометрическое количество реагента A , необходимое для получения целевого продукта массой $m_R = G_R$ в единицу времени

$$m_A = \frac{aM(A)m_R}{rM(R)}. \quad a)$$

3 – Это позволяет из уравнения (2.4) найти массу чистого реагента A с учетом его конверсии (степени превращения), которая должна находиться в техническом реагенте

$$m'_A = \frac{m_A}{\alpha_A}. \quad б)$$

4 – Разность б) и а) определяет массу непревращенного остатка реагента A , т.е.

$$\Delta m'_A = m'_A - m_A.$$

5 – Поскольку содержание основного вещества в составе технического реагента A составляет x_A , то масса технического реагента и количество примесей в нем очевидно будут равны

$$m_A^{\text{т}} = \frac{m'_A}{x_A}; \quad \Delta m_{A \text{ пр}} = m_A^{\text{т}} - m'_A.$$

Выполненные аналогичным образом расчеты для реагента B и побочного продукта S позволяют составить МБ в целом для процесса, построить схему материальных потоков (см. рис. 2.1) и представить баланс в виде таблицы.

6 – Далее по уравнениям (2.11) – (2.12) определяют выход целевого продукта, а по уравнениям (2.13) – (2.14) – теоретические и практические расходные коэффициенты по сырью.

2.1 Основные понятия о вяжущих веществах

Вяжущими строительными веществами называют порошкообразные материалы, способные при смешивании с водой образовывать пластичную удобообрабатываемую массу, со временем затвердевающую в прочное, камневидное тело.

Вяжущие вещества (ВВ) по составу делят на две большие группы: *неорганические* и *органические*. *Неорганические ВВ* включают *воздушные, гидравлические* и *вяжущие автоклавного твердения*.

На основе вяжущих веществ создают искусственные материалы, применяемые в строительстве. В строительстве применяют различные смеси, которые в зависимости от состава называют:

цементное тесто – смесь вяжущего вещества и воды;

цементный камень – отвердевшее цементное тесто;

растворная смесь – смесь вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя (песка);

строительный раствор – отвердевшая растворная смесь;

бетонная смесь – смесь вяжущего вещества, воды, крупного и мелких заполнителей (песка и гравия или щебня);

бетон – отвердевшая бетонная смесь;

железобетон – бетон в сочетании со стальной арматурой.

2.2 Классификация вяжущих веществ

Минеральные вяжущие вещества (ВВ) классифицируются в зависимости от состава, условий твердения, основных свойств, области применения.

Наиболее обширную группу составляют гидравлические вяжущие вещества, которые после смешивания (затворения) с водой начинают твердеть на воздухе и продолжают набирать прочность под водой. Благодаря этой способности гидравлические вяжущие вещества применяют как в наземных, так и в подземных гидротехнических сооружениях, подверженных действию воды.

К гидравлическим вяжущим веществам относят следующие:

1 – Известковые: слабогидравлические, сильногидравлические;

2 – Романцемент (ВВ, получаемое тонким помолом обожженных не до спекания известняковых и магнезиальных мергелей, содержащих 25% глины и более);

3 – Портландцемент (ПЛЦ) и его разновидности (быстротвердеющий – БТЦ, пластифицированный – ПлПЛЦ, гидрофобный – ГфПЛЦ, сульфатостойкий, с умеренной экзотермией, декоративный и др.);

4 – Пуццолановые цементы (пуццолановый портландцемент, известково-пуццолановые цементы);

5 – Шлаковые цементы (шлакопортландцемент – ШПЛЦ, известково-шлаковые цементы);

- 6 – Глиноземистый цемент (ГЗЦ) и его разновидности (вяжущей основой являются алюминаты кальция);
- 7 – Специальные цементы (расширяющиеся и безусадочные, жароупорные, кислотостойкие цементы и др.).

Воздушные вяжущие материалы после смешивания с водой переходят в камневидное состояние, твердеют, повышая свою прочность только на воздухе. К воздушным вяжущим материалам относят:

- 1 – Известковые (негашеная молотая, гашеная (гидратная) известь, известковое тесто);
- 2 – Гипсовые (низкообжиговые: строительный, формовочный, высокопрочный гипс; высокообжиговые: ангидритовое вяжущее, эстрих-гипс);
- 3 – Магнезиальные (каустический магнезит, каустический доломит);
- 4 – Жидкое стекло.

Основные свойства гипсовых ВВ существенно зависят от водогипсового соотношения (см. рис. 2.2).

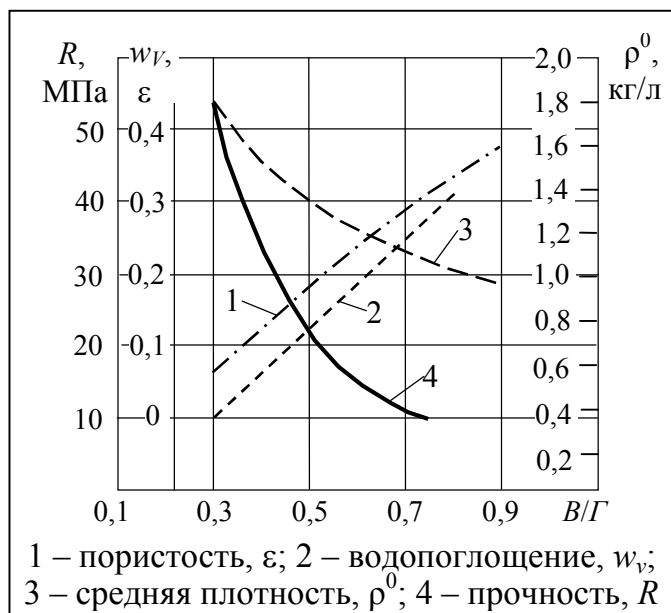
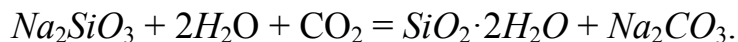


Рисунок 2.2 – Зависимость основных свойств гипсовых вяжущих от водогипсового отношения, B/G

Магнезиальные ВВ затворяют раствором $MgCl_2$, что ускоряет твердение и значительно увеличивает прочность. Хорошо сцепляется с деревом, поэтому применяют для производства фибролита, а также для изготовления магнезиально-опилочных полов – монолитных и плиточных.

Жидкое стекло представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия или силиката калия, имеющий плотность 1,3 – 1,5 кг/л при содержании воды 50 ÷ 70%. Применяют для изготовления кислотоупорных и жаропрочных бетонов, для уплотнения грунтов. Калиевое стекло, более дорогое, применяют преимущественно в силикатных красках. Твердеет на воздухе.



Выделяющийся гель кремневой кислоты $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладает вяжущими свойствами, а водный раствор имеет щелочную реакцию. Для ускорения твердения жидкого стекла к нему добавляют кремнефторид натрия Na_2SiF_6 , ускоряющий выпадение геля кремневой кислоты и гидролиз жидкого стекла.

Кислотоупорный кварцевый цемент – это порошкообразный материал, получаемый путем совместного помола кварцевого песка и Na_2SiF_6 . Затворяют водным раствором жидкого стекла. Применяют для изготовления кислотостойких растворов и бетонов, замазок. Из бетона изготавливают резервуары, башни, ванны в травильных цехах. В воде теряет свою прочность ($R = 50 \div 60$ МПа), а в едких щелочах разрушается.

К вяжущим автоклавного твердения относятся:

- силикатные на основе гашеной извести и кварцевого песка;
- шлаковые, изготавливаемые с использованием металлургических и топливных шлаков в качестве кремнеземистого компонента;
- зольные, приготовляемые с применением золы от сжигания угля, сланцев, торфа;
- вяжущие, изготавливаемые с использованием отходов химической (нефелиновый шлак) и горнодобывающей промышленности.

ВВ автоклавного твердения применяют для изготовления разнообразных материалов: пористые (газосиликат, пеносиликат) – для теплоизоляции элементов наружных стен и покрытий зданий; плотные – для конструктивных элементов.

2.3 Сырье для производства вяжущих материалов

Исходным материалом для производства вяжущих веществ являются различные горные породы и вторичное сырье. Из природных материалов используют: гипсовые – гипсовый камень, богатый двухводным сернокислым кальцием $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, или ангидрит, состоящий в основном из безводного сульфата кальция CaSO_4 ; карбонатные – известняк, мел CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$; глинистые – глины и мергели с небольшим количеством CaCO_3 и MgCO_3 . Сюда же относят боксит с содержанием до 70% и более оксида алюминия; кремнеземистые – кварцевый песок, диатомит, трепел и др., состоящие в основном из оксида кремния.

Сырье для производства вяжущих веществ измельчается в мельницах. Интенсификация помола осуществляется физико-химическими методами, в частности введением ПАВ (поверхностно-активных веществ), которые препятствуют слипанию частиц размалываемого материала и налипанию их на стенки мельниц.

Экономически целесообразно применение вторичного сырья. Вторичное сырье представляет собой побочные продукты некоторых отраслей промышленности (металлургической, энергетической, химической и др.).

К ним относят шлак, золу, активные кремнеземы и т. п. По составу они близки к вяжущим веществам и, по сравнению с природными, обладают большей химической активностью. Их химическая активность обусловлена термической обработкой, в результате которой промышленные отходы пере-

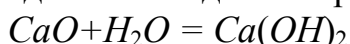
ходят в стеклообразное (аморфное) состояние и приобретают избыточную энергию.

2.4 Основные реакции твердения ВВ

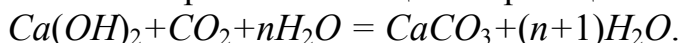
Гипс. Твердение гипса (гидратное) происходит в результате его растворения в воде, образования пересыщенного раствора гидратных соединений, что отвечает кристаллизационной теории Ле-Шателье



Известь. Твердение извести (гидратное) протекает в результате гидратации одновременно как через раствор (по Ле-Шателье), так и вследствие присоединения воды к твердой фазе (по Михаэлису и А.А. Байкову)



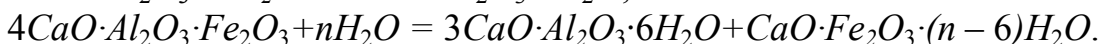
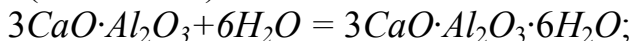
Карбонатное твердение обусловлено одновременным протеканием двух процессов: кристаллизации гидрата окиси кальция из насыщенного раствора и образования карбоната кальция по реакции



В условиях автоклавной обработки известь взаимодействует с кремнеземом, образуя гидросиликаты (гидросиликатное твердение).

Цемент. Основные минералы цемента: C_3S – трехкальциевый силикат ($3CaO \cdot SiO_2$) (алит); C_2S – двухкальциевый силикат ($2CaO \cdot SiO_2$) (белит); C_3A – трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$; C_4AF – четырехкальциевый алюмоферрит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Твердение цемента отвечает полиминеральной теории А.А. Байкова и характеризуется тремя периодами. В первый период ВВ растворяется в воде до образования насыщенного раствора. Во второй период происходит присоединение воды к твердой фазе ВВ с образованием гидратных соединений высокой коллоидной дисперсности. В третий период происходит перекристаллизация частичек новообразований коллоидных размеров в более крупные, что и вызывает твердение системы и увеличение ее прочности. При этом возможны следующие реакции:



2.5 Примеры решения типовых задач

Пример 2.5.1

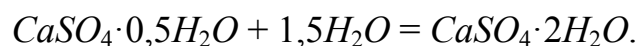
Определить объемы гипсового теста и камня $V_{г.т.}$, $V_{г.к.}$, коэффициент плотности гипсового камня k_{ε} , его пористость ε , а также плотность гипсового камня ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) – $\rho_{г.к.}$ и плотность гипсовых плит для перегородок с влажностью $u = 0,12$ после сушки – $\rho_{пл.у.}$, если: при затворении гипсового вяжущего ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$) водой соотношение по массе $T:B = 1:0,5$; в процессе твердения гипсового теста его объем увеличивается на 1%, плотность гипсового вяжущего ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$) $\rho_{г.в.} = 2600 \text{ кг/м}^3$.

Дано: $u_{\text{пл}} = 0,12$; $T:B=1:0,5$; $\rho_{\text{г. в}} = 2600 \text{ кг/м}^3$; $\Delta V = 0,01 V_{\text{г. т}}$

Найти: $V_{\text{г. т}}$; $V_{\text{г. к}}$; k_{ε} ; ε ; $\rho_{\text{г. к}}$; $\rho_{\text{г. пл}}$.

Решение:

Для определения физических характеристик гипсового камня, получаемого в результате процесса твердения гипсового вяжущего (гипса), следует воспользоваться стехиометрией реакции твердения



Определим молярные массы компонентов реакции:

$$M(\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}) = 145 \text{ кг/кмоль}; M(1,5\text{H}_2\text{O}) = 27 \text{ кг/кмоль};$$

$$M(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 172 \text{ кг/кмоль}.$$

Согласно стехиометрии реакции образования гипсового камня соотношение по массе между водой и гипсовым вяжущим должно быть

$$(B/\Gamma)_p = \frac{27}{145} = 0,186.$$

Согласно технологии $B/\Gamma = B/T = 0,5$.

Если обозначить массу гипсового вяжущего (гипса) $m_{\text{г. в}}$, то очевидно, что масса воды в гипсовом тесте будет равна $m_{\text{в г. т}} = m_{\text{г. в}} \cdot (B/\Gamma) = 0,5m_{\text{г. в}}$, а в гипсовом камне соответственно $m_{\text{в г. к}} = m_{\text{г. в}} \cdot (B/\Gamma)_p = 0,186m_{\text{г. в}}$. Тогда, определяя плотности веществ в кг/л и учитывая, что $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ кг/л}$, объемы, занимаемые гипсовым тестом и камнем в абсолютно плотном состоянии можно выразить следующим образом

$$V_{\text{г. т}} = \frac{m_{\text{г. в}}}{\rho_{\text{г. в}}} + \frac{m_{\text{в г. т}}}{\rho_{\text{в}}} = m_{\text{г. в}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{г. в}}} + 0,5 \right) \text{ л};$$

$$V_{\text{г. к}} = \frac{m_{\text{г. в}}}{\rho_{\text{г. в}}} + \frac{m_{\text{в г. к}}}{\rho_{\text{в}}} = m_{\text{г. в}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{г. в}}} + 0,186 \right) \text{ л}.$$

Если принять $m_{\text{г. в}} = 1 \text{ кг}$, то будем соответственно иметь

$$V_{\text{г. т}} = \frac{1}{\rho_{\text{г. в}}} + 0,5 = 0,8846 \text{ л}; \quad V_{\text{г. к}} = \frac{1}{\rho_{\text{г. в}}} + 0,186 = 0,5706 \text{ л}.$$

Согласно определению, коэффициент плотности гипсового камня, образующегося при условии $B/\Gamma = 0,5$, будет равен

$$k_{\varepsilon} = \varepsilon_2 = \frac{V_{\text{г. к}}}{V_{\text{г. т}}} = \frac{m_{\text{г. в}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{г. в}}} + 0,186 \right)}{m_{\text{г. в}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{г. в}}} + 0,5 \right)} = \frac{1 + 0,186\rho_{\text{г. в}}}{1 + 0,5\rho_{\text{г. в}}} = 0,645.$$

Тогда пористость гипсового камня, образующаяся в результате испарения избытка воды, составит

$$\varepsilon_1 = 1 - \varepsilon_2 = 1 - 0,645 = 0,355.$$

Истинная плотность гипсового камня составит

$$\rho_{г.к} = \frac{m_{г.к}}{V_{г.к}} = \frac{m_{г.в} (1 + 0,186)}{m_{г.в} \left(\frac{1}{\rho_{г.в}} + 0,186 \right)} = 2,0784 \text{ кг/л.}$$

Плотность гипсовой плиты, с учетом увеличения объема гипсового теста, при влажности $u=0,12$ очевидно будет равна

$$\rho_{г.пл. u} = \frac{m_{г.к}}{V_{г.т} + \Delta V} (1 + u) = \frac{1,186 m_{г.в}}{1,01 m_{г.в} \left(\frac{1}{\rho_{г.в}} + 0,5 \right)} (1 + u) = 1,4867 \text{ кг/л.}$$

Пример 2.5.2

При исследовании образца гранита установлен следующий состав в % по массе: 32% кварца (SiO_2); 58% полевого шпата (ортоклаза – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$); 10% слюды. Определить содержание кремнезема и глинозема в составе гранита, если в составе слюды имеется 50% кремнезема и 30% глинозема. Какое химическое соединение является преобладающим в граните? Примечание: молярная масса соединений – кварц, кремнезем $M(SiO_2) = 28 + 32 = 60$ кг/кмоль; – полевой шпат (ортоклаз) $M(K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2) = (2 \cdot 39,1 + 16) + (2 \cdot 27 + 48) + 6 \cdot (28 + 32) = 94,2 + 102 + 360 = 556,2$ кг/кмоль; – глинозем $M(Al_2O_3) = (2 \cdot 27 + 48) = 102$ кг/кмоль.

Дано:

Состав гранита в % по массе:

- кварц (SiO_2) → 32%;
- полевой шпат ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) → 58%;
- слюда 10%.

Состав слюды:

- кремнезём (SiO_2) → 50%;
- глинозём (Al_2O_3) → 30%.

Найти: содержание SiO_2 и Al_2O_3 в граните и определить соединение, преобладающее в граните.

Решение:

Для определения содержания кремнезема и глинозема в составе гранита воспользуемся следующими обозначениями:

$x_{кв} = 0,32$; $x_{пш} = 0,58$; $x_{сл} = 0,1$ – массовые доли трех основных компонентов гранита;

$s_{\text{гр}}; s_{\text{кв}} = x_{\text{кв}} = 0,32; s_{\text{пш}}; s_{\text{сл}}; s'_{\text{пш}}; s'_{\text{сл}} = 0,5$ – массовые доли оксида кремния SiO_2 в граните в целом, в его компонентах по отношению к массе гранита и непосредственно в компонентах;

$a_{\text{гр}}; a_{\text{пш}}; a_{\text{сл}}; a'_{\text{пш}}; a'_{\text{сл}} = 0,3$ – массовые доли оксида алюминия Al_2O_3 в граните в целом, полево шпате и слюде по отношению к массе гранита и непосредственно в полево шпате и слюде.

Массовые доли оксидов кремния и алюминия непосредственно в полево шпате $s'_{\text{пш}}$ и $a'_{\text{пш}}$ пропорциональны их молярным массам, т. е.

$$s'_{\text{пш}} = M(6\text{SiO}_2)/M(\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2) = 6 \cdot 60 / 556,2 = 0,647;$$

$$a'_{\text{пш}} = M(\text{Al}_2\text{O}_3)/M(\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2) = 102 / 556,2 = 0,183.$$

Тогда массовые доли оксидов кремния и алюминия в компонентах по отношению к массе гранита очевидно равны

$$s_{\text{пш}} = x_{\text{пш}} \cdot s'_{\text{пш}} = 0,58 \cdot 0,647 = 0,375; a_{\text{пш}} = x_{\text{пш}} \cdot a'_{\text{пш}} = 0,58 \cdot 0,183 = 0,106;$$

$$s_{\text{сл}} = x_{\text{сл}} \cdot s'_{\text{сл}} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05; a_{\text{сл}} = x_{\text{сл}} \cdot a'_{\text{сл}} = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03.$$

Это позволяет найти общее содержание кремнезема и глинозема в составе гранита

$$s_{\text{гр}} = s_{\text{кв}} + s_{\text{пш}} + s_{\text{сл}} = 0,32 + 0,375 + 0,05 = 0,745;$$

$$a_{\text{гр}} = a_{\text{пш}} + a_{\text{сл}} = 0,106 + 0,03 = 0,136.$$

Таким образом, оксид кремния (кремнезем) в граните является преобладающим соединением.

Пример 2.5.3

Рассчитать теоретический и фактический расходные коэффициенты известняка с массовой долей CaCO_3 – 0,89 для получения негашеной извести, содержащей в массовых долях: CaO – 0,94; CaCO_3 (недопал) – 0,012 и примесей – 0,048. Определить конверсию, степень диссоциации и коэффициент выхода готового продукта

Дано:

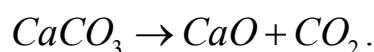
$$x_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}} = 0,89; x_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}} = 0,94;$$

$$x_{\text{CaCO}_3}^{\text{ц. пр}} = 0,012; x_{\text{прим}}^{\text{ц. пр}} = 0,048$$

Найти: $\gamma_{\text{CaCO}_3}^{\text{т}}$, $\gamma_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}}$, α , β , μ

Решение:

Негашеную известь (комовую известь, кипелку) получают в результате обжига известняка не до спекания. При этом происходит разложение известняка по реакции



Отметим, что при наличии в целевом продукте примесей и недопала, являющегося результатом незавершенности реакции, массовая доля CaO определяет активность извести.

Воспользовавшись таблицей Менделеева, найдем молярные массы компонентов

$$M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 48 = 100 \text{ кг/кмоль}; M(\text{CaO}) = 40 + 16 = 56 \text{ кг/кмоль}; \\ M(\text{CO}_2) = 12 + 32 = 44 \text{ кг/кмоль}.$$

Все слагаемые материального баланса (МБ) будем относить к 1 кг целевого продукта. Тогда, согласно условию задачи, массы CaO , CaCO_3 и примесей будут равны массовым долям, т. е. $m_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}} = x_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}}$; $m_{\text{прим}}^{\text{ц. пр}} = x_{\text{прим}}^{\text{ц. пр}}$.

Далее, согласно (2.13) рассчитаем теоретический расходный коэффициент известняка

$$\gamma_{\text{CaCO}_3}^{\text{т}} = \frac{M(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaO})} = \frac{100}{56} = 1,786 \text{ кг CaCO}_3/\text{кг CaO},$$

характеризующий расход чистого реагента при полной конверсии без протекания побочных реакций и без учета потерь на получение 1 кг CaO .

Поскольку активность получаемой извести (целевой продукт) равна массовой доли, то для получения $m_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}} = 0,94$ кг масса чистого известняка (карбоната кальция – CaCO_3) должна составлять

$$m_{\text{CaCO}_3}^{\text{чист}} = x_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}} \cdot \gamma_{\text{CaCO}_3}^{\text{т}} = 0,94 \cdot 1,786 = 1,678 \text{ кг}.$$

Отметим, что количество вещества в получаемой извести в кмоль составляет

$$n_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}}}{M(\text{CaO})} = \frac{0,94}{56} = 16,786 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль}$$

При этом в результате процесса декарбонизации потери по массе, обусловленные газовыми отходами, согласно стехиометрии реакции составят

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{44 \cdot 1,678}{100} = 0,738 \text{ кг}$$

По условию задачи в целевом продукте присутствует недопал в количестве $m_{\text{CaCO}_3}^{\text{ц. пр}} = 0,12$ кг. Поэтому общее количество чистого известняка в сырье будет равно

$$\Sigma m_{\text{CaCO}_3}^{\text{чист}} = m_{\text{CaCO}_3}^{\text{чист}} + m_{\text{CaCO}_3}^{\text{ц. пр}} = 1,678 + 0,012 = 1,69 \text{ кг}.$$

С другой стороны, такое же количество CaCO_3 должно содержаться в технологическом сырье. Поскольку массовая доля CaCO_3 в сырье $x_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}} = 0,89$, то

$$m_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}} = \frac{\Sigma m_{\text{CaCO}_3}^{\text{чист}}}{x_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}}} = \frac{1,69}{0,89} = 1,899 \text{ кг}.$$

Отметим, что помимо потерь сырья в виде газовых отходов возможны потери, связанные с пылеуносом и естественной влажностью сырья. Информация по этому поводу в условии задачи отсутствует. Однако, поскольку количество примесей в целевом продукте (извести) и техническом реагенте (известняке) одинаково, то прочие потери за вычетом примесей составят

$$\Delta m_{\text{пот}} = m_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}} - \Sigma m_{\text{CaCO}_3}^{\text{чист}} - \Delta m_{\text{прим}} = 1,899 - 1,69 - 0,048 = 0,161 \text{ кг.}$$

С целью проверки правильности расчетов составим материальный баланс в целом

$$m_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}} = m_{\text{цел. пр}} + \Delta m_{\text{пот}} + m_{\text{CO}_2} = 1 + 0,161 + 0,738 = 1,899 \text{ кг.}$$

Практический расходный коэффициент известняка показывает действительный расход сырья для получения единицы целевого продукта и согласно (2.13) будем иметь

$$\gamma_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}^{\text{техн. реаг}}}{m_{\text{CaO}}^{\text{ц. пр}}} = \frac{1,899}{1} = 1,899.$$

В заключении определим конверсию α , степень диссоциации β и коэффициент выхода целевого продукта μ

$$\alpha = 1,678/1,69 = 0,993; \beta = 0,738/(1,69 \cdot 44/100) = 0,993; \\ \mu = 1/1,899 = 0,526.$$

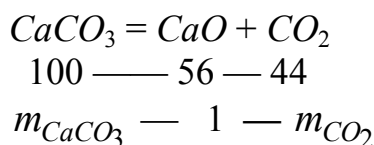
Пример 2.5.4

Определить удельный расход технологического сырья – $m_{\text{ТС}}$; удельный выход технологического продукта – $m_{\text{ТП}}$ (μ_{CaO}); удельный выход газообразных обходов – $m_{\text{ГО}}$ ($\mu_{\text{ГО}}$) в неравновесном процессе обжига известняка, содержащим в себе в % по массе следующие вещества: CaCO_3 – 87,0; MgCO_3 – 6,0; SiO_2 – 3; Al_2O_3 – 2; Fe_2O_3 – 1; H_2O – 1.

Химические реакции и степень их завершения:

- а) $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$; $0 < \alpha_a < 1$ ($\alpha_a = 0,8$);
- б) $\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2$; $\alpha_b = 1$;
- в) $\text{SiO}_2 = \text{Si} + \text{O}_2$; $\alpha_v = 0$;
- г) $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2\text{Al} + 1,5\text{O}_2$; $\alpha_z = 0$;
- д) $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2\text{Fe} + 1,5\text{O}_2$; $\alpha_d = 0$;
- е) $\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2$; $\alpha_e = 0$.

Все слагаемые МБ будем относить к 1 кг CaO , который получается в результате разложения CaCO_3 , массу которого найдем из стехиометрии реакции



$$\tilde{m}_{CaCO_3} = \frac{m_{CaCO_3}}{m_{CaO}} = \frac{M(CaCO_3)}{M(CaO)} = \frac{100}{56} = 1,786 \text{ кг } CaCO_3 / \text{кг } CaO.$$

С другой стороны, такое же количество $CaCO_3$ должно содержаться в технологическом сырье, т. е.

$$\tilde{m}_{CaCO_3} = m_{\text{тс}} 0,01 \alpha_a CaCO_3.$$

Тогда

$$m_{CaCO_3}^{\text{тс}} = \frac{\tilde{m}_{CaCO_3}}{0,01 \alpha_a CaCO_3} = \frac{M(CaCO_3)}{M(CaO) 0,01 \alpha_a CaCO_3} = \frac{1,786}{0,01 \cdot 0,8 \cdot 8,7} = 2,566 \text{ кг/кг } CaO.$$

С учетом химических реакций и степени их завершения, получим

$$m_{MgCO_3} = m_{Si} = m_{Al} = m_{Fe} = m_{H_2} = m_{O_2} = 0;$$

$$m_{MgO} = m_{\text{тс}} \cdot 0,01 \cdot MgCO_3 \cdot \frac{M(MgO)}{M(MgCO_3)} = 2,566 \cdot 0,01 \cdot 6 \cdot \frac{40,32}{84,32} = 7,36 \cdot 10^{-2} \text{ кг/кг } CaO;$$

$$m_{CaCO_3}^{\text{тп}} = m_{CaCO_3}^{\text{тс}} \cdot 0,01 \cdot CaCO_3 \cdot (1 - \alpha_a) = 2,566 \cdot 0,87 \cdot 0,2 = 0,446 \text{ кг/кг } CaO;$$

$$m_{SiO_2} = m_{\text{тс}} \cdot 0,01 \cdot SiO_2 = 2,566 \cdot 0,03 = 0,077 \text{ кг/кг } CaO;$$

$$m_{Al_2O_3} = m_{\text{тс}} \cdot 0,01 \cdot Al_2O_3 = 0,051 \text{ кг/кг } CaO;$$

$$m_{Fe_2O_3} = m_{\text{тс}} \cdot 0,01 \cdot Fe_2O_3 = 0,026 \text{ кг/кг } CaO;$$

$$m_{H_2O} = 0,026 \text{ кг/кг } CaO;$$

$$\begin{aligned} m_{CO_2} &= m_{\text{тс}} \cdot 0,01 \cdot M(CO_2) \cdot \left[\frac{\alpha_a \cdot CaCO_3}{M(CaCO_3)} + \frac{MgCO_3}{M(MgCO_3)} \right] = \\ &= 2,566 \cdot 0,01 \cdot 44 \cdot \left[\frac{0,8 \cdot 87,0}{100} + \frac{6}{84,32} \right] = 0,866 \text{ кг/кг } CaO. \end{aligned}$$

Удельные выходы целевого технологического продукта (извести) и газообразных отходов технологического процесса соответственно составят:

$$\begin{aligned} m_{\text{тп}} &= 1 + m_{CaCO_3}^{\text{тп}} + m_{MgO} + m_{SiO_2} + m_{Al_2O_3} + m_{Fe_2O_3} = \\ &= 1 + 0,446 + 0,0736 + 0,077 + 0,051 + 0,026 = 1,674 \text{ кг/кг } CaO; \end{aligned}$$

$$m_{\text{го}} = m_{H_2O} + m_{CO_2} = 0,892 \text{ кг/кг } CaO.$$

Для проверки правильности расчета всех m_i составляется уравнение материального баланса

$$m_{\text{тс}} = m_{\text{тп}} + m_{\text{го}} = 1,674 + 0,892 = 2,566 \text{ кг/кг } CaO.$$

В данном случае предполагалось, что $m_{\text{ун}} = 0$. Если же по практическим данным известно, что с уносом теряется $a_{\text{ун}}$ технологического сырья, то уравнение материального баланса примет вид

$$m_{\text{тс}}^* = m_{\text{тп}} + m_{\text{го}} + m_{\text{ун}}, \text{ где } m_{\text{ун}} = a_{\text{ун}} \cdot m_{\text{тс}} / (1 - a_{\text{ун}}).$$

Тогда окончательно можно записать

$$m_{\text{тс}}^* = m_{\text{тс}} + m_{\text{ун}}.$$

3 Бетоны и растворы [1 – 4, 9, 10]

3.1 Бетоны

Это искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителя, взятых в определенных пропорциях. До затвердевания эта смесь называется бетонной смесью (БС).

Основой для классификации бетонов (Б) является его плотность, зависящая от плотности цементного камня, вида заполнителей и структуры Б и определяющая его основные свойства: прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, теплопроводность и др. Б разделяются на пять видов:

1 – особо тяжелый ($\rho > 2600 \text{ кг/м}^3$), содержащий такие тяжелые заполнители, как стальные опилки или зерна (стальбетон), железные руды или барит;

2 – тяжелый или обычный ($\rho = 2100 - 2600 \text{ кг/м}^3$), содержащий плотные заполнители (кварцевый песок, щебень или гравий из плотных каменных пород);

3 – облегченный ($\rho = 1800 - 2100 \text{ кг/м}^3$), например, с кирпичным щебнем или крупнопористый (беспесчаный);

4 – легкий ($\rho = 1200 - 1800 \text{ кг/м}^3$, чаще $\rho = 1300 - 1500 \text{ кг/м}^3$), содержащий пористые заполнители (шлак, пемзу, туф и т. п.);

5 – особо легкий ($\rho < 1200 \text{ кг/м}^3$, чаще $\rho = 500 - 800 \text{ кг/м}^3$), очень пористый, ячеистый (пенобетон, газобетон) или крупнопористый с легкими заполнителями.

В зависимости от вида ВВ Б подразделяются на цементный, цементно-полимерный, силикатный (на извести), шлакощелочной и др. виды Б.

В результате тщательного смешения Ц с водой (В) в соотношении $V/C=0,25 - 0,4$ и заполнителем (З) получают Б. Заполнители в Б занимают до 80% объема и оказывают существенное влияние на свойства Б, его долговечность и стоимость. Стоимость самого З составляет 30-50% (иногда и более) от стоимости бетонных и железобетонных конструкций.

З различают на крупный (КЗ) и мелкий (МЗ).

Крупный З подразделяют на гравий (Г) и щебень (Щ).

С целью уменьшения расхода Ц следует стремиться к минимально возможному объему пор.

Определим минимально возможный объем пор исходя из условия заполнения объема пор КЗ мелким заполнителем. Общий объем, занимаемый зернами КЗ, очевидно равен

$$V_{\Sigma \text{ КЗ}} = V_{\text{п КЗ}} + V_{\text{т КЗ}}.$$

Учитывая, что

$$V_{\text{п КЗ}} = \varepsilon_{\text{КЗ}} V_{\Sigma \text{ КЗ}}, \text{ а } V_{\Sigma \text{ МЗ}} = V_{\text{п МЗ}} / \varepsilon_{\text{МЗ}},$$

после подстановки в равенство $V_{\Pi \text{ КЗ}} = V_{\Sigma \text{ МЗ}}$, окончательно получим

$$V_{\Pi \text{ МЗ}} = V_{\Pi \text{ min}} = \varepsilon_{\text{МЗ}} \varepsilon_{\text{КЗ}} V_{\Sigma \text{ КЗ}}.$$

Однако в действительности $V_{\Pi \text{ min}}$ всегда несколько больше, поскольку на практике достигнуть идеального распределения нельзя.

Соотношение между Π и Щ , при котором достигается $V_{\Pi \text{ min}}$ можно ориентировочно определить, полагая, что Π полностью заполняет пустоты между зерном КЗ с учетом некоторой их раздвижки зернами Π . Тогда

$$\frac{\Pi}{\rho_{\Pi}^0} = \varepsilon_{\text{щ}} \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}^0} \alpha_p, \quad (3.1)$$

где Π и Щ расходы песка и щебня в кг;

ρ_{Π}^0 и $\rho_{\text{щ}}^0$ – насыпная плотность Π и Щ , кг/л;

$\varepsilon_{\text{щ}} = V_{\Pi \text{ щ}}/V$;

α_p – коэффициент раздвижки зерен Щ (на основе опыта $\alpha_p=1,1$).

Поскольку $\varepsilon_{\text{щ}} = 1 - \rho_{\text{щ}}^0 / \rho_{\text{щ}}$, то

$$\frac{\Pi}{\text{Щ}} = \alpha_p \left(1 - \frac{\rho_{\text{щ}}^0}{\rho_{\text{щ}}} \right) \cdot \frac{\rho_{\Pi}^0}{\rho_{\text{щ}}^0}. \quad (3.2)$$

3.2 Свойства бетона

Прочность характеризуется пределом прочности на сжатие R_b . В зависимости от марки Ц получают Б с R_b в диапазоне (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1 – Прочность Б в зависимости от активности Ц.

Ц	300 – 400	400 – 500	500	600
Б	200 – 250	300	400	500

Характер нарастания прочности Б от времени соответствует логарифмической зависимости

$$R_n = R_{28} \cdot \frac{\lg n}{\lg 28}. \quad (3.3)$$

Экспериментально установлена следующая зависимость прочности бетона

$$R_b = f(R_{\text{ц}}; \text{Ц} / \text{Б}), \quad (3.4)$$

наглядное представление о которой дает рис. 3.1.

В общем случае очевидно можно записать

$$R_b = A R_{\text{ц}} \left(\frac{\text{Ц}}{\text{Б}} - \varepsilon \right), \quad (3.5)$$

где $A, в$ – коэффициенты, зависящие от вида Б и качества З. При $Ц/В$ в пределах $1 \div 3,3$, которое наиболее часто встречается, эту кривую можно заменить двумя прямыми:

для обычных бетонов с $Ц/В \leq 2,5$ ($В/Ц \geq 0,4$)

$$R_6 = A_1 R_{ц} \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right); \quad (3.6)$$

для высокопрочных бетонов $Ц/В > 2,5$ ($В/Ц < 0,4$)

$$R_6 = A_2 R_{ц} \left(\frac{Ц}{В} + 0,5 \right), \quad (3.7)$$

где R_6 – прочность Б нормального твердения в течении 28 суток (образцы $15 \times 15 \times 15$ см);

$R_{ц}$ – активность Ц;

A_1 и A_2 – эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние на прочность Б заполнителей и других факторов. Значения A_1 и A_2 принимают в соответствие с таблицей 3.2.

Таблица 3.2 – Значения A_1 и A_2

Материалы для Б	A_1	A_2
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,6	0,4
Пониженного качества	0,55	0,37

3.3 Свойства бетонной смеси и определение ее состава

Бетонная смесь (БС) представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из частичек вяжущего, новообразований, образующихся при взаимодействии вяжущего с водой, зерен заполнителя, воды, вводимых в ряде случаев специальных добавок, вовлеченного воздуха. Вследствие наличия сил взаимодействия между дисперсными частицами твердой фазы и воды эта система приобретает связность и может рассматриваться как единое физическое тело.

Решающее влияние на свойства БС оказывает расход воды, так как он определяет объем и строение жидкой фазы и развитие сил сцепления, характеризующих связность и подвижность системы. Если вязкость жидкости постоянна и не зависит от прикладываемого давления, то вязкость бетонной смеси изменяется даже при постоянной температуре в несколько раз (иногда на 2 – 3 порядка) в зависимости от приложения внешних сил.

Под воздействием внешних сил происходит разрыхление первоначальной структуры, ослабляются связи между ее отдельными элементами, в результате возрастает способность системы к деформациям, увеличивается ее подвижность. БС под воздействием встряхивания, вибрации переходит в состояние пластично – вязкого течения.

Способность смеси расплываться под воздействием собственной массы называют «удобоукладываемостью». Марки БС по удобоукладываемости (ГОСТ 7473) представлены в таблице 3.3.

Удобоукладываемость характеризуется двумя показателями: подвижностью и жесткостью.

Подвижность БС определяется на стандартном конусе. Он представляет собой усеченный, открытый с обеих сторон конус из листовой стали толщиной 1 мм.

Таблица 3.3 – Марки БС по удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	Жесткости, с	Подвижности, см
Ж 4	31 и более	–
Ж 3	21...30	–
Ж 2	11...20	–
Ж 1	5...10	–
П 1	1...4	4 и менее
П 2	–	5...9
П 3	–	10...15
П 4	–	16...20
П 5	–	21...25

Высота конуса 300 мм, диаметр нижнего основания 200 мм, верхнего 100 мм. Внутреннюю поверхность формы конуса и поддон перед испытанием смачивают водой. Затем форму устанавливают на поддон и заполняют БС в три приема, уплотняя смесь штыкованием. После заполнения формы и удаления излишков смеси форму снимают, поднимая ее медленно и строго вертикально вверх. Подвижная БС, освобожденная от формы, дает осадку или даже растекается. Мерой подвижности смеси служит величина осадки конуса (ОК), которую измеряют сразу же после снятия формы (см. рис. 3.2). Для этого снятую форму – конус осторожно устанавливают рядом с осевшим конусом бетона. На верхнее основание конуса укладывают линейку, от нижнего ребра которой другой линейкой измеряют осадку бетонной смеси с точностью до 0,5 см.

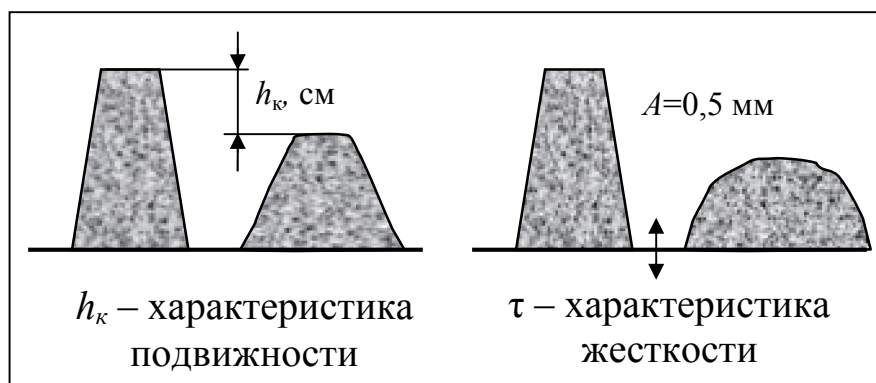


Рисунок 3.2 – Определение удобоукладываемости с помощью стандартного конуса

При малых расходах воды БС не показывают осадки конуса, однако, как указывалось выше, при приложении внешнего силового воздействия такие смеси становятся подвижными, т. е. приобретают способность к формированию. Такие смеси называют жесткими.

Жесткость (Ж) БС определяют на приборах по растекаемости бетонной смеси при вибрировании. Ж БС характеризуется временем вибрации в секундах (см. рис. 3.2), необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости (ГОСТ 10181.1).

Прибор состоит из цилиндрического сосуда высотой 200 мм с внутренним диаметром 240 мм, на котором закреплен пригруз в виде направляющего штатива, штанги и металлического диска толщиной 4 мм с шестью отверстиями (см. рис. 3.3). Прибор устанавливается на стандартную виброплощадку и закрепляется на ней. Затем в цилиндр помещают такую же форму-конус, как для определения подвижности смеси. Форму-конус с помощью специального кольца-держателя закрепляют в приборе и заполняют тремя слоями бетонной смеси, уплотняя ее штыкованием (25 раз каждый слой). Затем удаляют форму-конус и на поверхность бетонной смеси опускают диск и включают виброплощадку. Вибрирование продолжается до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из двух отверстий диска. Полученное время в секундах характеризует жесткость бетонной смеси. Ж БС вычисляют (с округлением до 1 сек) как среднее арифметическое двух определений из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 %. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

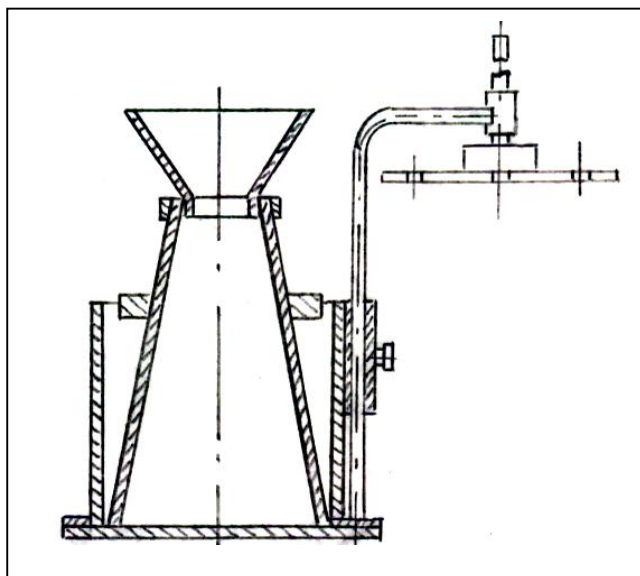


Рисунок 3.3 – Схема стандартного конуса

Стандартная виброплощадка должна иметь следующие параметры: кинематический момент 0,1 Н·м; амплитуду 0,5 мм; частоту колебаний 3000 кол/мин или 50 Гц.

Расчет состава бетона осуществляется в зависимости от заданной подвижности (удобоукладываемости) бетонной смеси, определяющей расход воды. Для этого используют зависимость подвижности бетонной смеси от расхода воды. Ориентировочно расход воды можно определить по графику, представленным на рис. 3.4.

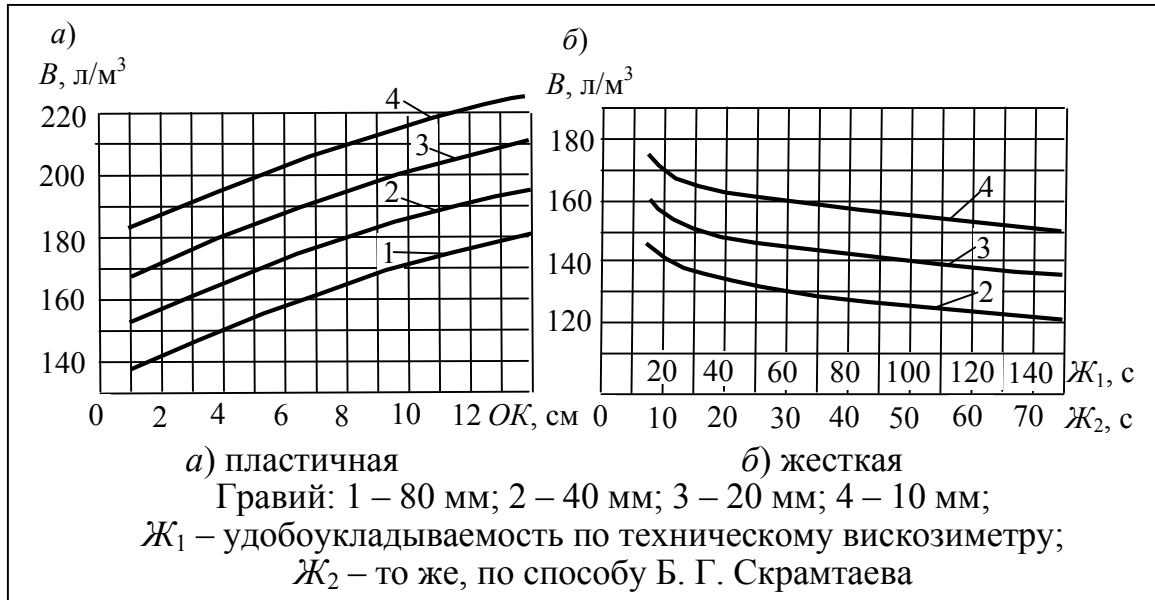


Рисунок 3.4 – График водопотребности B бетонной смеси, изготовленной с применением потландцемента, песка средней крупности (водопотребность 7%) и гравия наибольшей крупности

Примечания:

- 1) Если применяют мелкий песок с водопотребностью свыше 7%, то расходы воды увеличивают на 5 л на каждый процент увеличения водопотребности, при применении крупного песка с водопотребностью ниже 7% расход воды уменьшают на 5 л на каждый процент уменьшения водопотребности;
- 2) При применении щебня расход воды увеличивают на 10 л;
- 3) При применении пуццолановых цементов расход воды увеличивают на 15 20 л;
- 4) При расходе цемента свыше 400 кг расход воды увеличивают на 10 л на каждые 100 кг цемента.

Для 1 м³ БС в литрах можно записать:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1000; \quad (3.8)$$

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{П}{\rho_{п}} = \frac{Щ}{\rho_{щ}^0} \varepsilon_{щ} \alpha_p. \quad (3.9)$$

Из (3.8) и (3.9) следует

$$Щ = \frac{1000}{\frac{\varepsilon_{щ} \alpha_p}{\rho_{щ}^0} + \frac{1}{\rho_{щ}}}; \quad (3.10)$$

$$П = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \right] \rho_{п}. \quad (3.11)$$

Оптимальные значения α_p для пластичных БС следует выбирать из таблицы 3.4.

Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м³ коэффициент α_p следует принимать 1,05...1,15 (в среднем 1,1). Меньшее значение – 1,05 принимается в случае использования мелких песков.

Таблица 3.4 – Оптимальные значения α_p для пластичных БС ($B_{п}=7\%$)

$\frac{Ц}{\text{кг/м}^3}$	α_p оптимальное при $B/Ц$				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	1,3	1,36	1,42	–
350	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,4	1,46	–	–	–
500	1,5	1,56	–	–	–

Примечание:

- При других значениях $Ц$ и $B/Ц$ коэффициент α_p находят интерполяцией
- Значения коэффициента α_p даны при водопотребности песка равном 7%; если водопотребность используемого мелкого песка более 7%, коэффициент α_p уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности, если водопотребность крупного песка менее 7%, коэффициент α_p увеличивается на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности песка.
- В случае добавки пластификатора расход воды уменьшается на 20% по отношению к расходу воды без добавки, $B_1=B \cdot (1 - 0,2)$

3.4 Морозостойкость бетона

Под морозостойкостью бетона понимают его способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание.

Существует много причин разрушения бетонов при циклическом замораживании и оттаивании. Основная из них – фазовый переход находящейся в бетоне жидкости в твердое агрегатное состояние при понижении температуры окружающей среды. При замерзании вода увеличивается в объеме более чем на 9%; расширению воды препятствуют твердый скелет бетона, в котором возникают очень высокие напряжения, значительно превышающие его собственную прочность. Способность бетона противостоять разрушению при многократном замораживании и оттаивании в насыщенном водой состоянии объясняется присутствием в его структуре резервных пор, незаполненных водой, в которые и отжимается часть воды в процессе замораживания под действием давления растущих кристаллов льда. Образование в цементном камне в процессе гидратации цемента таких относительно крупных пор, из которых ушла вода, и которые заполняются воздухом, происходит на стадии

формирования условно дискретной системы капилляров, т.е. когда эти поры со всех сторон блокированы цементным гелем и не могут заполниться водой даже в условиях водного твердения. Следовательно, воздушные поры становятся резервными только при условии, если они сообщаются с другими им подобными пораами и капиллярами, а так же с внешней средой только через поры геля. Поры цементного геля настолько малы, что вода через них не проходит (не смачиваются). При недостаточной плотности или прочности цементного камня в бетон поступает вода и повторяемость замерзания и оттаивания приводит к постепенному разупрочнению структуры бетона и его разрушению. Сначала начинают разрушаться выступающие грани, затем поверхностные слои, и постепенно разрушение распространяется вглубь бетона. Определенное влияние будут оказывать и напряжения, вызываемые разницей в температурных коэффициентах линейного расширения составляющих бетона.

Для испытания бетона на морозостойкость применяют метод попеременного замораживания и оттаивания. Методика испытаний, в частности: температура замораживания, условия водонасыщения образца, размеры образца, продолжительность цикла – оказывают заметное влияние на показатели морозостойкости бетона. С понижением температуры замораживания, а особенно при замораживании в воде или растворах солей, разрушение бетона наступает быстрее.

Критерием морозостойкости бетона является количество циклов, при котором потеря в массе образца менее 5%, а его прочность снижается не более чем на 25%. Это количество циклов определяет марку бетона по морозостойкости, например, Мрз 100, Мрз 200 и более, которая назначается в зависимости от условий эксплуатации конструкций.

Существуют два основных способа повышения морозостойкости бетона. Первый – это повышение плотности бетона, т. е. уменьшение объема пор и их проницаемости для воды (снижение B/C , применение добавок и др.). Второй – создание в бетоне с помощью воздухововлекающих добавок резервного объема воздушных пор, не заполняемых при обычном водонасыщении бетона, но доступных для проникания воды под давлением, возникающем при ее замерзании. Воздухововлекающие добавки повышают морозостойкость бетона при $B/C < 0,68$, т.к. при больших значениях водоцементного отношения образующиеся воздушные пузырьки не блокируются со всех сторон цементным гелем. Для особо ответственных изделий или работающих в тяжелых условиях назначается водоцементное отношение не более 0,4 (тротуарная плитка).

Важнейшим фактором, влияющим на морозостойкость, является степень гидратации цемента. При низкой степени гидратации цемента бетоны будут иметь низкую морозостойкость и при малых значениях B/C . Значение морозостойкости бетонов одного и того же состава, но твердевших в различных условиях приведены в таблице 3.5

Таблица 3.5 – Значения критерия морозостойкости
в зависимости от условий твердения

Условия твердения	$B/C=0,4$	$B/C=0,5$	$B/C=0,6$
Твердение в воде	400	250	150
Твердение на воздухе	200	150	100

Факторами, влияющими на степень гидратации цемента в бетоне, являются: вид, активность, тонкость помола и гранулометрия цемента; возраст бетона и условия твердения до начала замораживания; наличие добавок.

Условия твердения значительно влияют на прочность и морозостойкость бетона на ранней стадии его твердения. Установлено, что если бетон не защищен от высыхания в первые 10...12 часов, то его прочность может понизиться в 3 раза по сравнению с укрытым. Особенно сильно проявляется эффект испарения воды из бетона при его прогреве или пропаривании. Как правило, морозостойкость пропаренных бетонов, особенно при обработке их по сокращенному (жесткому) режиму меньше морозостойкости бетонов нормального твердения. Поэтому при изготовлении тротуарных плит применяют мягкие режимы ТВО (температура не выше 70°C со скоростью подъема и снижения температуры не более 25°C/час).

Тонкость помола цемента так же значительно влияет на морозостойкость бетона. Установлено, что при одной и той же активности, с увеличением тонкости помола морозостойкость существенно снижается, особенно при тонкости помола свыше $6000\text{ см}^2/\text{г}$. Для морозостойких бетонов рекомендуется использовать цементы с удельной поверхностью от 2800 до $3500\text{ см}^2/\text{г}$.

Для морозостойких бетонов нормируется содержание в цементе C_3A (трехкальциевого алюмината) не более 6...8% (например, при изготовлении тротуарных плит – 8%).

Известно, что изменения расхода цемента на 1 м^3 бетона в определенных пределах оказывает влияние на морозостойкость бетона. Установлено, что при расходе цемента от 275 до 425 кг/м^3 морозостойкость не меняется, а при расходе менее 275 и более 425 кг/м^3 морозостойкость бетона понижается. Это объясняется тем, что при малых расходах недостаточно цементного теста для заполнения межзерновых пустот. При больших расходах увеличение относительного объема цементного камня в единице объема бетона ведет к возрастанию величины усадочных напряжений в нем (образуется микротрещины). Для снижения расхода цемента на 1 м^3 бетона рекомендуется применять цемент повышенной марки.

3.5 Порядок расчёта состава бетона

1 – Определяют B/C в зависимости от требуемой прочности R_b , длительности и условий твердения Б. Иногда B/C находят опытным путём или ориентировочно по формулам (3.6) и (3.7). Зависимость (3.6) справедлива для $R_b < 2A_1R_{ц}$. В других случаях (3.7).

2 – Определяют расход воды в зависимости от требуемой подвижности по графикам рис. 3.5 или из опыта.

3 – Расход Ц.

$$Ц=B:B/Ц.$$

Если Ц на 1 м³ Б окажется ниже допускаемого по СНиП-у, то Ц увеличивают до требуемой нормы.

4 – Определяют α_p по графику в зависимости от ЦТ и крупности П или выбирают по таблице 3.4.

5 – Находят расход Щ из (3.10).

6 – Находят расход П из (3.11).

7 – Проверяют на пробных замесах подвижность или жёсткость.

Если обозначить состав Б через Ц:П:Щ=1:х:у и В/Ц, то расход материалов составит

$$\rho_{\text{бс}}=Ц+П+Щ+B=Ц\cdot(1+x+y+B/Ц); \quad (3.12)$$

$$Ц=\rho_{\text{бс}}/(1+x+y+B/Ц); \quad (3.13)$$

$$П=Ц\cdot x; \quad Щ=Ц\cdot y; \quad B=Ц/(B/Ц). \quad (3.14)$$

Наиболее распространенными являются следующие соотношения:

Если МРЗ=400, то В/Ц=0,42 при $\alpha_r=0,8$; В/Ц=0,47 при $\alpha_r=0,9$.

Если МРЗ=500, то В/Ц=0,37 при $\alpha_r=0,8$; В/Ц=0,42 при $\alpha_r=0,9$.

При таких В/Ц для обеспечения заданной подвижности БС потребуется больший расход В и Ц.

С целью уменьшения расхода Ц при сохранении подвижности используют пластифицирующие добавки.

Производительность бетоносмесителя определяется как

$$Q = \frac{V_{\text{см}}}{\tau_{\text{ц}}} \beta, \quad (3.15)$$

где β – коэффициент выхода бетонной смеси ($\beta=0,6 - 0,8$)

В тех случаях, когда β не дано, его определяют как

$$\beta = \frac{1}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}}, \quad (3.16)$$

где $V_{\text{ц}}$, $V_{\text{п}}$ и $V_{\text{щ}}$ находят по объемной (насыпной) плотности Ц, П и Щ.

3.6 Формование и уплотнение бетонной смеси

Наиболее широко применяют вибрационные методы формования с помощью внутренних глубинных и поверхностных вибраторов или на виброплощадках.

На виброплощадках формируют конструкции длиной до 15 м и шириной до 3,6 м. Для лучшего уплотнения жестких БС применяют разные пригрузы: статический, вибрационный, пневматический.

Интенсивность виброуплотнения W определяется из выражения

$$W = a\omega^2 = a\pi^2 f^2,$$

где a – амплитуда, м; ω – круговая частота, с^{-1} ; f – частота колебаний, Гц.

В свою очередь

$$\omega = \pi n/30 = 2\pi f = 2\pi/T,$$

где n – число колебаний, кол/с; T – период колебаний, с.

При вибрировании $W \geq 6\text{г}$. Кроме этого существуют виброштампование и вибропрокат, а также вибровакуумный и центробежный способы формования. Частота вращения формы $n = 300 \div 400$ об/мин.

3.7 Твердение бетона в нормальных условиях и ускорение твердения

Для ускорения процесса твердения используются методы тепловой обработки Б, дающие возможность повысить t_6 при обязательном сохранении его влажности. В результате значительно возрастает начальная прочность Б вследствие ускорения гидратации Ц.

Пропаривание – насыщение паром при $p = p_{\text{атм}}$ в камерах ямного и тоннельного типа, периодического и непрерывного действия. Существуют камеры вертикальные и горизонтальные (тоннельные). Три зоны: подогрев, изотермическая выдержка и охлаждение.

Автоклавы для силикатных бетонов. Процесс происходит при повышенных температурах и давлении.

Электропрогрев осуществляется: ТЭН-ами, а также посредством индукционного прогрева ЖБИ в электрическом поле за счет генерации электротока в стальной арматуре и стенках формы. Значительный эффект дает кратковременный (5 – 10 мин) электроразогрев БС до ее укладки.

Обработка лучистой энергией эффективна для тонкостенных полых изделий. Небольшие добавки химических веществ CaCl_2 , NaCl , нитрит и нитрат Са 1 ÷ 2% от массы Ц.

3.8 Растворы

Строительным раствором (СР) называют отвердевшую смесь вяжущего вещества (ВВ), мелкого заполнителя (МЗ), например, песка, и воды. По своему составу СР является мелкозернистым бетоном, и для него справедливы закономерности присущие бетонам. В основу их классификации положены следующие признаки: плотность, вид вяжущего вещества (ВВ), назначение и физико-механические свойства.

По плотности в сухом состоянии различают Р: тяжелые ($\rho > 1500 \text{ кг/м}^3$; МЗ: тяжелые кварцевые или другие пески); легкие ($\rho < 1500 \text{ кг/м}^3$; МЗ: легкие пористые пески из пемзы, туфов, шлаков, керамзита и т. д.).

По виду ВВ: цементные, приготовленные на ПЛЦ или его разновидностях; известковые – на воздушной или гидравлической извести; гипсовые – на основе гипсовых вяжущих веществ; смешанные – на цементно-известковом, цементно-глиняном, известково-гипсовом вяжущем.

По **назначению**: на кладочные; отделочные; для изготовления архитектурных деталей; для нанесения декоративных слоев на стеновые блоки и панели; специальные (акустические, рентгенозащитные, тампонажные и т. д.

По **физико-механическим свойствам СР** классифицируют по двум показателям: прочность и морозостойкость. По величине прочности на сжатие СР подразделяют на восемь марок: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150 и 200. М4 и М10 изготавливают на воздушной и гидравлической извести. Прочность на сжатие определяется при стандартном испытании образцов размером $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм, изготовленных из РС на водоотсасывающем основании после 28 – суточного твердения их при температуре $15 \div 25$ °С. По степени морозостойкости в циклах замораживания СР имеют 9 марок: от F10 до F300.

Состав СР обозначают количеством (по массе или объему) материалов на 1 м^3 раствора.

При производстве СР применяют минеральные и органические добавки (МД и ОД), а также ПАВ. МД: известь, диатомит, трепел, молотые шлаки и т. д. МД улучшают удобоукладываемость растворной смеси (РС), водоудерживающую способность и дают экономию Ц. ПАВ увеличивают пластичность и уменьшают расход вяжущего. В качестве органической поверхностно-активной добавки применяют: сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), мыло-нафт, гидрофобно-пластифицирующую добавку «флегматор» и др.

В зависимости от состава растворная смесь (РС) имеет различную консистенцию – от жесткой до литой. Смешение Ц только с В дает ЦТ или пасту.

Подвижность РС определяют глубиной погружения в смесь металлического конуса массой 300 г с углом при вершине 30° .

Водоудерживающая способность характеризует отсутствие расслаиваемости при транспортировании и сохранение достаточной влажности в тонком слое на пористом основании.

Прочность затвердевшего раствора на ПЛЦ определяется по формуле Н.А. Попова

$$R_p = 0,4R_{\text{ц}} \left(\frac{Ц}{В} - 0,3 \right), \quad (3.17)$$

где $R_{\text{ц}}$ – активность Ц. Зависимость (3.17) справедлива для Р, уложенных на плотное основание. При пористом основании, которое отсасывает воду и этим уплотняет Р, прочность увеличивается примерно в 1,5 раза.

Прочность Р, уложенного на пористое основание (кирпич), удобно выразить в зависимости от расхода ВВ, а не от $Ц/В$, поскольку после отсоса воды основанием в растворе остается примерно одинаковое количество воды:

$$R_p = kR_{\text{ц}} (Ц - 0,05) + 4, \quad (3.18)$$

где k – коэффициент, принимающий следующие значения в зависимости от характеристики песка: 1,4 – для мелкого; 1,8 – для среднего; 2,2 – для крупного; $Ц$ – расход цемента в т/м^3 песка.

При введении в раствор тонкодисперсных компонентов активность ВВ будет ниже. Приближенно можно принять

$$R_{\text{цсм}} = \frac{R_{\text{ц}}}{1 + K(D/C)}, \quad (3.19)$$

где K – коэффициент, зависящий от свойств добавки (плотности и активности), для глин он колеблется в пределах 1,3 – 1,5; для извести 1,8 – 2; для тонкомолотого шлака и других добавок с высокой гидравлической активностью 0,8 – 1.

3.9 Примеры решения задач

Пример 3.9.1

Выразить составы бетона массовыми и объемными соотношениями между Ц; П; Щ, если расход материалов составляет: Ц=251 кг; П=493 кг; Щ=1043 кг, а $\rho_{\text{ц}}^0=1300 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{п}}^0=1600 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{щ}}^0=1495 \text{ кг/м}^3$.

Дано:

$$m_{\text{ц}} = 251 \text{ кг}; \rho_{\text{ц}}^0 = 1300 \text{ кг/м}^3; \rho_{\text{ц}}^0 = 1300 \text{ кг/м}^3; m_{\text{п}} = 493 \text{ кг}; \\ \rho_{\text{п}}^0 = 1600 \text{ кг/м}^3; m_{\text{щ}} = 1043 \text{ кг}; \rho_{\text{щ}}^0 = 1495 \text{ кг/м}^3.$$

Найти: Ц:П:Щ по массе и объему.

Решение:

Найдем массовое соотношение Ц:П:Щ

$$\frac{П}{Ц} = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{ц}}} = \frac{493}{251} = 2; \quad \frac{Щ}{Ц} = \frac{m_{\text{щ}}}{m_{\text{ц}}} = \frac{1043}{251} = 4,2.$$

Таким образом, Ц:П:Щ = 1:2:4,2.

Найдем объемное соотношение Ц:П:Щ:

$$\frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц}}} = \frac{m_{\text{п}} \rho_{\text{ц}}^0}{\rho_{\text{п}}^0 m_{\text{ц}}} = \frac{493 \cdot 1300}{251 \cdot 1600} = 1,6; \\ \frac{V_{\text{щ}}}{V_{\text{ц}}} = \frac{m_{\text{щ}} \rho_{\text{ц}}^0}{\rho_{\text{щ}}^0 m_{\text{ц}}} = \frac{1043 \cdot 1300}{251 \cdot 1495} = 3,6.$$

Следовательно, можно записать: Ц:П:Щ = 1:1,6:3,6.

Пример 3.9.2

Определить экономию цемента, если через 90 дней требуется достижение прочности бетона 20,0 МПа при использовании цемента активностью "300", расходе воды – 200 л, $B/C=0,5$; коэффициенте качества заполнителей – 0,5.

Дано:

$$R_n = 20 \text{ МПа}; n = 90; R_{\text{ц}} = 30 \text{ МПа}; \\ V_{\text{в}} = 200 \text{ л}; B/C = 0,5; A_1 = 0,5.$$

Найти: $\Delta m_{\text{ц}}$.

Решение:

Определим прочность бетона через 28 дней:

$$R_6^{28} = R_n \frac{\ln(28)}{\ln(n)} = 20 \frac{\ln(28)}{\ln(90)} = 14,8 \text{ МПа.}$$

Необходимое количество цемента при этом составит

$$R_6^{28} = A_1 R_{ц} \left(\frac{B}{Ц} - 0,5 \right) \Rightarrow Ц = B \left(\frac{R_6^{28}}{A_1 R_{ц}} + 0,5 \right) =$$

$$= 200 \cdot \left(\frac{14,8}{0,5 \cdot 30} + 0,5 \right) = 297,3 \text{ кг.}$$

Определим массу цемента при $B/Ц=0,5$

$$Ц' = \frac{B}{0,5} = \frac{200}{0,5} = 400 \text{ кг.}$$

Таким образом, экономия цемента составит:

$$\Delta Ц = Ц' - Ц = 400 - 297,3 = 102,7 \text{ кг.}$$

Пример 3.9.3

Определить номинальный состав (по объему) и расход материалов на 1 м^3 плотного бетона, если номинальный состав его по массе $1 : 2,2 : 5,1$ при $B/Ц = 0,7$. Принять при расчетах, что материалы сухие и имеют следующие плотности в насыпном состоянии: песок – 1600, щебень – 1450 и цемент – 1300 кг/м^3 . Коэффициентом выхода нужно задаться.

Дано:

$$Ц : П : Ш = 1 : X : Y = 1 : 2,2 : 5,1;$$

$$\rho_{ц}^0 = 1300 \text{ кг/м}^3; \rho_{п}^0 = 1600 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{ш}^0 = 1450 \text{ кг/м}^3; B/Ц = 0,7.$$

Найти: номинальный состав (по объему) и расход материалов на 1 м^3 плотного бетона.

Решение.

Поскольку сумма абсолютных объемов всех составных частей бетонной смеси (в литрах) равна 1 м^3 (1000 л), то можно записать

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}^0} + \frac{П}{\rho_{п}^0} + \frac{Ш}{\rho_{ш}^0} + B = 1000 \Rightarrow Ц \left(\frac{1}{\rho_{ц}^0} + \frac{П/Ц}{\rho_{п}^0} + \frac{Ш/Ц}{\rho_{ш}^0} + \frac{B}{Ц} \right) = 1000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Ц \left(\frac{1}{\rho_{ц}^0} + \frac{X}{\rho_{п}^0} + \frac{Y}{\rho_{ш}^0} + \frac{B}{Ц} \right) = 1000 .$$

Отсюда нетрудно выразить $Ц$

$$Ц = \frac{1000}{\left(\frac{1}{\rho_{ц}^0} + \frac{X}{\rho_{п}^0} + \frac{Y}{\rho_{щ}^0} + \frac{B}{Ц} \right)} = \frac{1000}{\frac{1}{1,3} + \frac{2,2}{1,6} + \frac{5,1}{1,45} + 0,7} = 157,202 \text{ кг.}$$

Тогда $B = (B/Ц) \cdot Ц = 110,041 \text{ кг}$; $П = X \cdot Ц = 345,844 \text{ кг}$; $Щ = Y \cdot Ц = 801,73 \text{ кг}$.

Теперь нетрудно найти номинальный состав по объему. Если принять объем $Ц$ за единицу, а объем $П$ и $Щ$ соответственно за U и W , то можно записать

$$1:U:W = 1: \frac{П \rho_{ц}^0}{\rho_{п}^0 Ц} : \frac{Щ \rho_{ц}^0}{\rho_{щ}^0 Ц} = 1: \frac{345,844 \cdot 1,3}{1,6 \cdot 157,202} : \frac{801,73 \cdot 1,3}{1,45 \cdot 157,202} = 1:1,787:4,572.$$

Задавшись коэффициентом выхода бетонной смеси $\beta = 0,7$, определим необходимый объем бетоносмесителя для получения 1 м^3 плотного бетона, а затем производственный расход материалов $V_{бсм} = 1/\beta = 1,429 \text{ м}^3$; $Ц_{пр} = Ц \cdot V_{бсм} = 224,574 \text{ кг}$; $Щ_{пр} = Щ \cdot V_{бсм} = 1145,672 \text{ кг}$; $В_{пр} = В \cdot V_{бсм} = 157,249 \text{ л}$.

Пример 3.9.4

Бетон на щебне с 7-дневным сроком твердения показал прочность при сжатии 20 МПа. Определить активность цемента, если $B/Ц = 0,4$.

Дано:

$$R^7 = 20 \text{ МПа}; B/Ц = 0,4.$$

Найти: $R_{ц}$.

Решение:

Поскольку нарастание прочности бетона в первом приближении происходит по закону $R_n = R_{28} \cdot \frac{\lg n}{\lg 28}$, то отсюда нетрудно найти окончательную

прочность бетона, которую он приобретает через 28 суток твердения и которая характеризует его марку

$$R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n} = R_7 \cdot \frac{\lg 28}{\lg 7} = 15 \cdot \frac{1,447}{0,845} = 34,244 \text{ МПа.}$$

Активность цемента характеризуется его прочностью на сжатие $R_{ц}$. Взаимосвязь между R_{28} и $R_{ц}$ определяется зависимостью

$$R_{28} = A \cdot R_{ц} (Ц/B - C),$$

где для обычного бетона $A=0,6$ и $C=0,5$. Отсюда

$$R_{ц} = \frac{R_{28}}{0,6 \cdot (Ц/B - 0,5)} = \frac{34,244}{0,6 \cdot (1/0,4 - 0,5)} = 28,537 \text{ МПа.}$$

Пример 3.9.5

Определить минимально необходимую емкость бетономешалки и объемную массу бетонной смеси, если при одном замесе получается 2 т бетонной смеси состава 1:2:4 (по массе) при $B/Ц = 0,6$ и коэффициенте выхода

$K=0.7$. Насыпная плотность использованных материалов: песка – 1.8 т/м^3 , щебня 1.5 т/м^3 и цемента – 1.3 т/м^3 .

Дано:

$$m_{\text{бсм}} = 2 \text{ т}; Ц:П:Щ=1:2:4; B/C = 0,6;$$

$$K = 0,7; \rho_{\text{п}}^0 = 1,8 \text{ т/м}^3; \rho_{\text{щ}}^0 = 1,5 \text{ т/м}^3;$$

$$\rho_{\text{ц}}^0 = 1,3 \text{ т/м}^3.$$

Найти: $V_{\text{бмеш}}$; $\rho_{\text{бсм}}$.

Решение:

Если обозначить состав бетонной смеси (БС) через $Ц:П:Щ=1:X:Y$ и B/C , то с учетом $m_{\text{бсм}}$ можно записать $m_{\text{бсм}}=Ц \cdot (1+X+Y+B/C)$. Выразив отсюда $Ц$, найдем массу цемента, необходимую для получения 2 т БС

$$Ц = \frac{m_{\text{бсм}}}{1+X+Y+B/C} = \frac{2}{1+2+4+0,6} = 0,2632 \text{ т}.$$

Тогда, соответственно расход песка, щебня и воды составит:

$$П = Ц \cdot X = 0,2632 \cdot 2 = 0,5264 \text{ т}; Щ = Ц \cdot Y = 0,2632 \cdot 4 = 1,0528 \text{ т};$$

$$B = Ц \cdot (B/C) = 0,2632 \cdot 0,6 = 0,1579 \text{ т}.$$

Зная насыпную плотность компонентов бетонной смеси, нетрудно найти объемы, которые эти компоненты занимают:

$$V_{\text{ц}} = \frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}^0} = \frac{0,2632}{1,3} = 0,2025 \text{ м}^3; V_{\text{п}} = \frac{П}{\rho_{\text{п}}^0} = \frac{0,5264}{1,8} = 0,2924 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{щ}} = \frac{Щ}{\rho_{\text{щ}}^0} = \frac{1,0528}{1,5} = 0,7019 \text{ м}^3.$$

С учетом коэффициента выхода минимальный объем бетономешалки будет равен

$$V_{\text{бмеш}} = \frac{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}}{K} = \frac{0,2025 + 0,2924 + 0,7019}{0,7} = 1,4976 \text{ м}^3.$$

Поскольку объем БС определяется как $V_{\text{бсм}}=K \cdot V_{\text{бмеш}}$, то плотность бетонной смеси будет равна

$$\rho_{\text{бсм}} = \frac{m_{\text{бсм}}}{V_{\text{бсм}}} = \frac{m_{\text{бсм}}}{K \cdot V_{\text{бмеш}}} = \frac{2}{0,7 \cdot 1,4976} = 1,9078 \text{ т/м}^3.$$

Пример 3.9.6

На приготовление 1 м^3 бетонной смеси (БС) расходуется 320 кг портландцемента с насыпной плотностью 1300 кг/м^3 , 640 кг сухого песка с насыпной плотностью 1500 кг/м^3 , 1280 кг сухого щебня с насыпной плотностью 1400 кг/м^3 и 170 л воды. Определить расход материалов на один замес бетономешалки объемом 500 л, если песок имеет влажность 3.5%, а щебень 1.5%.

Дано:

$$Ц = 320 \text{ кг}; \rho_{ц}^0 = 1300 \text{ кг/м}^3;$$

$$П = 640 \text{ кг}; \rho_{п}^0 = 1500 \text{ кг/м}^3;$$

$$Щ = 1280 \text{ кг}; \rho_{щ}^0 = 1400 \text{ кг/м}^3;$$

$$B = 170 \text{ л}; V_{\text{бм}} = 500 \text{ л};$$

$$u_{\text{п}} = 0,035; u_{\text{щ}} = 0,015.$$

Определить: $Ц_{\text{бм}}; П_{\text{бм}}; Щ_{\text{бм}}; B_{\text{бм}}$.

Решение:

Прежде всего, определим коэффициент выхода бетонной смеси

$$\beta = \frac{1}{Ц/\rho_{ц}^0 + П/\rho_{п}^0 + Щ/\rho_{щ}^0} = \frac{1}{320/1300 + 640/1500 + 1280/1400} = \frac{1}{1,587} = 0,63.$$

При этом водо-цементное соотношение равно $B/Ц = 170/320 = 0,531$. Тогда расход материалов в сухом состоянии на 1 замес бетономешалки составит

$$Ц_{\text{бм}} = Ц \cdot \beta \cdot V_{\text{бм}} = 320 \cdot 0,63 \cdot 0,5 = 100,8 \text{ кг};$$

$$П_{\text{бм}} = П \cdot \beta \cdot V_{\text{бм}} = 640 \cdot 0,63 \cdot 0,5 = 201,6 \text{ кг};$$

$$Щ_{\text{бм}} = Щ \cdot \beta \cdot V_{\text{бм}} = 1280 \cdot 0,63 \cdot 0,5 = 403,2 \text{ кг};$$

Количество воды, необходимое в этом случае, определим с учетом водо-цементного соотношения

$$B'_{\text{бм}} = Ц_{\text{бм}} \cdot B/Ц = 100,8 \cdot 0,531 = 53,52 \text{ л}.$$

Согласно определению влажности материала, найдем количество воды, которое поступает вместе с песком и щебнем

$$u = \frac{m_{H_2O}}{m_{\text{с}}} \Rightarrow B_{\text{п}} = u_{\text{п}} \cdot П_{\text{бм}} = 0,035 \cdot 201,6 = 7 \text{ л};$$

$$B_{\text{щ}} = u_{\text{щ}} \cdot Щ_{\text{бм}} = 0,015 \cdot 403,2 = 6,05 \text{ л}.$$

Тогда действительное количество воды будет равно

$$B_{\text{бм}} = B'_{\text{бм}} - B_{\text{п}} - B_{\text{щ}} = 53,52 - 7 - 6,05 = 40,47 \text{ л}.$$

4 Контрольные задания [11 – 14]

4.1 Контрольное задание № 1

Вариант 1

Задачи

- 1 Высушенный до постоянной массы $m_{\text{с к}} = 3,42$ кг глиняный кирпич после насыщения водой имеет массу $m_{\text{в}} = 3,98$ кг. Определить $\rho_{\text{к}}^0$; ρ ; w_m ; w_v ; ε ; ε_0 ; ε_z , если размеры кирпича $25 \times 12 \times 6,5$ см, а его объем в абсолютно плотном состоянии $V_{\text{т}} = 1286 \text{ см}^3$.

- 2 Какова должна быть толщина штукатурки для стены из ракушечника, если воздухопроницаемость такой стены и воздухопроницаемость стены кирпичной стены в два кирпича одинаковы? Сопротивление воздухопроницаемости ракушечника пренебрежимо мало. Коэффициенты воздухопроницаемости: $k_{в.шт} = 0,04$; $k_{в.кирп} = 0,35$.

Вопросы

- 1 Плотность материалов – истинная, средняя, насыпная, относительная. Пористость. Влияние средней плотности на физико-механические свойства материалов.
- 2 Определение минерала и горной породы. Строение горных пород: структура и текстура. Зависимость технических свойств горных пород от строения.
- 3 Влияние примесей на технологические свойства глинистого сырья. Регулирующие добавки, применяемые в технологии керамики/
- 4 Сырье для производства керамических изделий. Глины: происхождение, химический, минеральный и гранулометрический составы; технологические свойства глин.

Вариант 2

Задачи

- 1 Цилиндрический образец горной породы диаметром $d=5$ см и высотой $h=5$ см имеет массу в сухом состоянии $m_c=0,245$ кг. После насыщения водой его масса стала равной $m_w=0,249$ кг. Определить среднюю плотность материала ρ^0 ; w_v и w_m .
- 2 Сухие образцы камня известняка массой 50 кг нагрели от $t_n=15$ °С до $t_k=40$ °С, затратив $Q=1100$ кДж полезной теплоты. Затем известняк охладили и положили в воду. После нескольких дней выдерживания в воде масса известняка стала на 1 кг больше. Определить теплоемкости материала в сухом и во влажном состояниях: c_c и c_v , если средняя плотность материала $\rho_m=2000$ кг. Рассчитать объемную теплоемкость материала c_v .

Вопросы

- 1 Изверженные (магматические) глубинные горные породы: минеральный состав, структура, технические свойства и применение в строительстве
- 2 Теплоемкость, огнеупорность, огнестойкость и термостойкость строительных материалов.
- 3 Влажность, водопоглощение, гигроскопичность и влагоотдача строительных материалов; способы их определения.
- 4 Известь строительная воздушная. Сырье и основы производства.

Вариант 3

Задачи

- 1 Сколько содержится извести и воды в 1 м^3 известкового теста, если его средняя плотность 1400 кг/м^3 , а истинная плотность гидратной извести в порошкообразном состоянии составляет $\rho_{\text{и}}=2050 \text{ кг/м}^3$.
- 2 Деревянный брусок сечением $2 \times 2 \text{ см}$ при стандартном испытании на изгиб разрушился при нагрузке 1500 Н . Влажность образца составляет 25% . Из какого вида дерева был изготовлен брусок?

Вопросы

- 1 Разновидности воздушной строительной извести, их применение. Гашеная известь и ее применение в строительстве.
- 2 Достоинства и недостатки древесины как строительного материала. Защита древесины от гниения и возгорания.
- 3 Дать понятие теплопроводности, показать на примерах ее зависимость от пористости и влажности материала.
- 4 К какому типу, и к какой группе горных пород относятся: гравий, кварцит, доломит, базальт, песок, известняк и мрамор?

Вариант 4

Задачи

- 1 На кирпичной столб ($51 \times 51 \text{ см}^2$) приложена нагрузка $F=36 \cdot 10^4 \text{ Н}$. Предел прочности при сжатии в сухом состоянии 15 МПа , а предельно допустимая нагрузка на 1 см^2 не должна превышать 10% прочности кирпича. Определить, выдержит ли столб, находясь в воде, указанную нагрузку, если коэффициент размягчения $k_{\text{разм}}=0,84$.
- 2 Кубик из газобетона с размером ребер 20 см погружен в воду и плавает. Высота его над уровнем воды в первый момент составляет $6,5 \text{ см}$. Определить пористость газобетона, принимая его истинную плотность равной $2,79 \text{ г/см}^3$. Поглощением воды при этом можно пренебречь.

Вопросы

- 1 Разновидности воздушной строительной извести, их применение. Гашеная известь и ее применение в строительстве.
- 2 Основные физико-механические свойства гранита, мрамора, лабрадорита, габбро.
- 3 Лицевой керамический кирпич. Основные характеристики и область применения.
- 4 Легкие бетоны, их виды, достоинства и недостатки.

Вариант 5

Задачи

- 1 Определить пористость цементного камня, если количество связанной воды в камне в одном случае составляет 16% от массы цемента, а в другом – 20%; истинная плотность цемента 3,1 кг/л, а $B/C=0,5$.
- 2 Стандартный образец дуба размером 2×2×3 см при испытании на сжатие вдоль волокон разрушился при нагрузке 18000 Н. Влажность древесины в момент испытания – 21%. Определить коэффициент конструктивного качества древесины, если ее средняя плотность при стандартной влажности составляет 680 кг/м³.

Вопросы

- 1 Плотность материалов – истинная, средняя, насыпная, относительная. Пористость. Влияние средней плотности на физико-механические свойства материалов.
- 2 Определение строительного раствора и растворной смеси. Свойства строительных растворов.
- 3 Сырье для производства портландцементного клинкера. Способы подготовки сырьевой смеси.
- 4 Положительные и отрицательные свойства древесины. Основные древесные породы.

Вариант 6

Задачи

- 1 Определить пустотность щебня, если плотность его зерен составляет 2,56 г/см³, а насыпная плотность – 1450 кг/м³. Десять литров данного щебня перемешали с 4,5 литрами песка, имеющего пустотность 38%. Какова будет пустотность полученной смеси?
- 2 Определить необходимую толщину слоя изоляции аппарата, внутри которого температура 154 °С. Изоляционный материал – совелит. Температура окружающего воздуха 20 °С, температура наружной поверхности изоляции не должна превышать 40°С. Коэффициент теплопроводности совелита $\lambda = 0,098$ Вт/(м·°К). Коэффициент теплоотдачи от изоляции к воздуху принять $\alpha=5,81$ Вт/(м²·°К).

Вопросы

- 1 Чем отличается пористость от пустотности?
- 2 Материалы для тяжелого бетона. Мелкий и крупный заполнитель, их характеристика
- 3 Важнейшие теплоизоляционные материалы и изделия из неорганического сырья.

- 4 Свойства материалов по отношению к действию тепла и холода. Теплопроводность и теплоемкость. Зависимость теплопроводности от строения, пористости и влажности материала.

Вариант 7

Задачи

- 1 Камень неправильной формы в сухом состоянии на воздухе имеет массу $m_{кс}=0,8$ кг. После покрытия его поверхности парафином масса камня в воде составила $m_{кпв}=0,37$ кг. Масса парафина плотностью $\rho_{п}=900$ кг/м³ для покрытия камня составила $m_{п}=7,5 \cdot 10^{-3}$ кг. Вычислить кажущуюся плотность камня.
- 2 Наружная поверхность кирпичной стены толщиной 51 см имеет температуру – $t_1=33$ °С, а внутренняя – $t_2=18$ °С. Какое количество тепла проходит через 1 м² поверхности за 1 час? Решить ту же задачу для стен той же толщины из шлакобетона и тяжелого бетона, если $\lambda_{к}=0,58$; $\lambda_{ш}=0,5$; $\lambda_{б}=1,2$ Вт/(м·°К).

Вопросы

- 1 Плотность, средняя плотность, насыпная плотность, пористость, пустотность.
- 2 Основные виды материалов и изделий из природного камня, требования к ним при различных условиях применения.
- 3 Что собой представляет пустотелый кирпич, пористо-пустотелый, керамические пустотелые камни?
- 4 Что такое бетон, и на какие виды он делится в зависимости от средней плотности, вида вяжущего и назначения?

Вариант 8

Задачи

- 1 Прочность на сжатие сухого кирпича $R_{сух}=200$ МПа, а после насыщения водой $R_{нас}=120$ МПа. При насыщении водой установлено, что объемное водопоглощение составляет $w_V=0,2$, а открытая пористость $\varepsilon_0=0,28$. Определить, является ли данный кирпич морозостойким и можно ли его применять для фундаментов стен, если известно, что при $k_{разм}<0,8$ материал является неводостойким.
- 2 Железобетонная фабричная дымовая труба изолирована от дымовых газов с $t=700$ °С засыпкой из шлака и кладкой из огнеупорного кирпича. Температура наружной поверхности бетонной стенки 30 °С. Толщина ЖБ стенки 15 см, кирпичной кладки 12,5 см. Определить толщину засыпки из шлака, учитывая, что t внутренней поверхности ЖБ стенки должна быть не более 150 °С. Коэффициенты теплопроводности при 0 °С: $\lambda_{б}=1,163$ Вт/(м·°К), $\lambda_{ш}=0,2326$ Вт/(м·°К), $\lambda_{к}=0,4652$ Вт/(м·°К). *Примечание:* $\lambda_t=\lambda_0 \cdot (1+0,0025 \cdot t_{cp})$.

Вопросы

- 1 Влажность. Водопоглощение. Водопроницаемость. Водостойкость и коэффициент размягчения. Влияние влажности на свойства материалов.
- 2 Сырьевые материалы и их основные свойства для производства керамических изделий.
- 3 Какие виды железобетонных изделий существуют и их значение для строительства.
- 4 Какие изделия называются огнеупорными? Область применения.

Вариант 9

Задачи

- 1 На 1 м^3 бетонной смеси расходуется цемента $C=300$ кг, песка $P=600$ кг, щебня $Щ=1200$ кг, воды $B=150$ кг. Вычислить коэффициент теплостойкости бетонной смеси c_b , если теплостойкости компонентов соответственно равны: $c_c=2,98$; $c_p=4,4$; $c_{щ}=12,1$; $c_b=4,19$ кДж/(кг·°К).
- 2 Масса сухого известняка 300 г, а после насыщения водой 308 г. Кажущаяся плотность $\rho_n=2400$ кг/м³. Определить водопоглощение по массе и объему w_m и w_v .

Вопросы

- 1 Какими методами определяется подвижность и жесткость бетонной смеси?
- 2 Дайте краткую характеристику сырья и основных видов производимой из него известии.
- 3 Какова физическая сущность удельной теплостойкости материалов и какое она имеет значение при выборе материалов для ограждающих конструкций зданий?
- 4 Что такое прочность материала? Как ее определяют? Привести значение предела прочности при сжатии для известняков, гранита, бетона, кирпича и стали.

Вариант 10

Задачи

- 1 Какой пористостью будет обладать цементный камень, если при затворении цементного теста B/C составляло 0,45, а за время твердения химически связалось 18 % всей воды; оставшаяся вода испарилась? Истинная плотность цемента равна 3,1 г/см³.
- 2 Бетонный кубик с размером ребра 20 см разрушился под гидравлическим прессом при показании манометра 12,5 МПа. Определить марку (прочность) бетона при сжатии, если константа (площадь поршня) пресса равна 570 см².

Вопросы

- 1 Свойства, характеризующие отношение материалов к действию воды и водяных паров. Методы их оценки.
- 2 В чем отличие гидравлических вяжущих веществ от воздушных? Приведите примеры вяжущих обеих групп. Объясните физические причины разрушения материалов при циклическом замораживании. Как испытывают строительные материалы на морозостойкость, и в каких единицах выражают эту величину?
- 3 Для каких материалов и строительных конструкций важна низкая теплопроводность? Какова структура у теплоизоляционных материалов?
- 4 Какие минералы преобладают в структуре цементного клинкера?

Вариант 11

Задачи

- 1 Кубик из цементно-песчаного раствора с размером ребра 7,07 см, массой 670 г испытывается на круге истирания. После 1000 оборотов круга масса кубика стала равна 640 г. Определить массовую степень истираемости цементно-песчаного раствора.
- 2 Определить расход древесных опилок для получения 1000 штук пористого кирпича ($\rho_{п.к}=1210 \text{ кг/м}^3$), исходя из того, что объемная масса обыкновенного кирпича $\rho_{об.к}=1740 \text{ кг/м}^3$. Средняя плотность опилок $\rho_{оп}=610 \text{ кг/м}^3$.

Вопросы

- 1 Может ли численное значение водопоглощения по массе превышать пористость? Какой характер пор должен при этом быть в материале?
- 2 Каково влияние пористости на основные свойства материала. В каких случаях нужны материалы с высокой пористостью и когда она нежелательна?
- 3 Перечислите рациональные области применения воздушной извести.
- 4 Что такое негашеная и гидратная воздушная известь?

Вариант 12

Задачи

- 1 Образец камня в сухом состоянии имеет массу $m=0,077 \text{ кг}$, а после насыщения водой $m_w = 0,079 \text{ кг}$. Определить его среднюю плотность ρ^0_2 , коэффициент плотности материала k_ϵ , если истинная плотность $\rho_2=2670 \text{ кг/м}^3$, а $w_V=0,0428$.
- 2 Кирпичи: сухой прессованный, обычный и легкий имеют соответственно $\rho^0=1900; 1700; 1200 \text{ кг/м}^3$. Какой толщины должны быть стены из прессованного и легкого кирпича, если равноценная им в

теплотехническом отношении стена из обычного кирпича имеет толщину 62 см? Прим.: $\lambda = 1,16 \cdot (0,196 + 0,22 \cdot (\rho_m / \rho_v)^2)^{0,5} - 0,16$ Вт/(м·град).

Вопросы

- 1 Какую роль играют заполнители в бетоне? Чем различаются мелкий и крупный заполнители?
- 2 Разновидности керамических кирпича и камней, применяемых в строительстве. Технические свойства керамического кирпича.
- 3 Какую форму и размеры имеют образцы из естественных каменных материалов при испытании их на сжатие?
- 4 Какие строительные материалы относятся к универсальному типу?

Вариант 13

Задачи

- 1 Глиняный кирпич после обжига имел массу $m=2,31$ кг, а после хранения на воздухе его масса составила $m_v=2,314$ кг. Определить величину сорбционной влажности.
- 2 Определить плотность цементного теста, содержащего 70 % цемента с истинной плотностью $3,1$ г/см³.

Вопросы

- 1 Какие материалы относятся к материалам специального назначения?
- 2 Какие сырьевые материалы имеют отношение к производству вяжущих?
- 3 Для чего в глину вводят выгорающие добавки и что используют в качестве добавок?
- 4 Какие материалы применяют в качестве сырья для производства портландцемента?

Вариант 14

Задачи

- 1 Образец гранита имеет среднюю плотность $\rho=2700$ кг/м³. Его полное водопоглощение под давлением составило 3,71% по массе. Определить ρ^0 . Можно ли считать этот способ определения ρ^0 вполне точным.
- 2 Образец газосиликата в виде цилиндра диаметром 10 см и высотой 10 см плавает в керосине. В первый момент, когда поглощением керосина можно пренебречь, высота образца над уровнем жидкости равна 3,5 см. По истечении некоторого времени, вследствие поглощения керосина порами газосиликата, последний погрузился полностью в жидкость. Определить: а) пористость газосиликата; б) количество поглощенного им керосина в момент полного погружения в жидкость; в) какая часть всех пор газосиликата ока-

залась в этот момент заполненной керосином? Прим.: истинная плотность керосина равна $0,85 \text{ г/см}^3$, а газосиликата – $2,68 \text{ г/см}^3$.

Вопросы

- 1 Что называется коэффициентом размягчения?
- 2 Что представляют собой пенобетон и газобетон?
- 3 В чем особенность строения тяжелых и легких бетонов?
- 4 Что характеризует собой марка Б?

Вариант 15

Задачи

- 1 Керамзитобетонная наружная стеновая панель размером $3,1 \times 2,8 \times 0,25 \text{ м}$ весит $2,25 \text{ т}$ при абсолютной влажности $13,2\%$ (по массе). Рассчитать истинную плотность керамзитобетона во влажном и абсолютно сухом состоянии.
- 2 Определить скорость распространения температуры [температуропроводность $a = \lambda / (\rho c_p)$] в бетонном массиве массой 950 т , представляющем собой куб с ребром $7,5 \text{ м}$, его удельная теплоемкость $c_p = 0,992 \text{ КДж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$ и теплопроводность $\lambda = 0,442 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$.

Вопросы

- 1 Какие материалы относятся к материалам специального назначения?
- 2 К какому виду бетонов относится керамзитобетон?
- 3 Почему R_b падает при увеличении B и $C = \text{const}$?
- 4 Что такое керамзит, как его получают, каковы его свойства и для чего его применяют?

Вариант 16

Задачи

- 1 Образец легкого бетона в сухом состоянии имеет массу 118 г и вытесняет из объемомера 98 г воды. Определить теплопроводность бетона.
- 2 Гранитный щебень фракции $10 - 20 \text{ мм}$ имеет объемную массу 1450 кг/м^3 , плотность зерен – 2630 кг/м^3 . Сколько следует взять кварцевого песка с объемной насыпной массой 1600 кг/м^3 для получения минимальной пустотности смеси щебня и песка? Какова расчетная пустотность этой смеси, если $\rho_n = 2650 \text{ кг/м}^3$.

Вопросы

- 1 Что такое теплопроводность материалов и какое она имеет значение при выборе материалов для ограждающих конструкций зданий?
- 2 Чем отличается щебень от гравия и какой из материалов целесообразнее использовать для производства высокопрочного бетона?
- 3 Чем отличается пористость от пустотности?
- 4 Какие заполнители используются для получения легких бетонов?

Вариант 17

Задачи

- 1 Определить объемную массу каменного образца неправильной формы, если на воздухе он весил 80 г. Вес образца в воде после парафинирования составил 39 г. Расход парафина на покрытие образца составляет 12,3 г, а его плотность – 0,93 г/см³.
- 2 Дозировочный бункер для песка (дозатор) цилиндрической формы с диаметром 100 см и высотой 120 см имеет массу – 84 кг; с песком – 1585 кг. Определить коэффициент плотности песка в бункере, принимая истинную плотность песка равной 2,64 г/см³.

Вопросы

- 1 Чем различаются понятия истинная и средняя плотность строительного материала?
- 2 Каково влияние пористости на основные свойства материала. В каких случаях нужны материалы с высокой пористостью, и когда она нежелательна?
- 3 Чем различаются понятия твердость и прочность? В каких частях зданий применяют материалы с высокой твердостью и малой истираемостью?
- 4 Что происходит при длительном хранении портландцемента (ПЛЦ)? Какие качества утрачивает ПЛЦ?

Вариант 18

Задачи

- 1 Определить необходимую толщину слоя изоляции аппарата, внутри которого температура 154 °С. Изоляционный материал – совелит. Температура окружающего воздуха 20 °С, температура наружной поверхности изоляции не должна превышать 40°С. Коэффициент теплопроводности совелита $\lambda = 0,098 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°K)}$. Коэффициент теплоотдачи от изоляции к воздуху принять $\alpha = 5,81 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{°K)}$. Прим.: удельный тепловой поток посредством теплопроводности и теплоотдачи определяется соответственно $q = \lambda \Delta t / \delta$ и $q = \alpha \Delta t$.
- 2 Проба влажного песка массой 1 кг насыпана в мерный литровый цилиндр, залитый водой до уровня 500 мл. После погружения песка уровень воды в цилиндре поднялся до уровня 900 мл. Определить влажность песка. При решении задачи плотность зерен песка принять равной 2,62 г/см³.

Вопросы

- 1 Как зависит теплопроводность материала от его пористости, влажности, температуры? Привести примеры теплоизоляционных материалов.

- 2 К какому виду пород относится песок? Какие требования предъявляются к нему при использовании в качестве мелкого заполнителя бетона?
- 3 Как и для каких целей определяют коэффициент выхода бетонной смеси?
- 4 Из какого сырья изготавливаются: гипсовое вяжущее, воздушная и гидравлическая известь, портландцемент?

Вариант 19

Задачи

- 1 Определить объемную усушку древесины, если размеры образца во влажном состоянии соответствовали стандарту (20×20×30 мм), а после сушки оказались равными 19,0×18,0×29,8 мм. Как можно объяснить неодинаковую усушку разных граней образца?
- 2 Определить плотность известкового теста, в котором содержится более 56% воды по массе, если истинная плотность известки 2,08 г/см³.

Вопросы

- 1 Какие древесные породы наиболее широко применяются в строительстве?
- 2 Какую известь называют кипелкой, и какую – пушонкой? Из какого сырья и как получают воздушную известь? (привести химическую реакцию).
- 3 В чем отличие строительного раствора от бетона?
- 4 Состав силикатного кирпича, его свойства и область применения.

Вариант 20

Задачи

- 1 Определить пористость в затвердевших цементных камнях, изготовленных на обычном портландцементе и пуццолановом портландцементе, если количество связанной воды от массы цемента составляет соответственно – 10 % и 12 %. Количество воды в цементном тесте одинаково и составляет 50 % от массы цемента, истинная плотность портландцемента – 3,1 г/см³; пуццоланового портландцемента – 2,65 г/см³.
- 2 Определить расход глины (по массе и объему) для изготовления 250 штук кирпичей. Объемная масса сырой глины $\rho_w^0 = 1610 \text{ кг/м}^3$ при $u = 0,13$. Потеря кирпича в массе при обжиге составляет 8,5% от массы сухой глины. Объемная масса готовых изделий $\rho^0 = 1780 \text{ кг/м}^3$. Прим.: размеры кирпича $a \times b \times c = 250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$

Вопросы

- 1 Чем отличаются пуццолановый и обычный портландцементы? Что собой представляют активные минеральные добавки?

- 2 Добавки, вводимые в глину при производстве керамики. Их влияние на свойства изделий
- 3 Каковы преимущества пустотелого кирпича по сравнению с полным?
- 4 Что такое истинная и средняя плотность и как их определяют? Может ли быть истинная плотность меньше средней плотности?

4.2 Контрольное задание № 2

Вариант 1

Задачи

- 1 Определить количество образующегося полуводного гипса $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ после термической обработки 10 т гипсового камня $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Прим.: атомная масса элементов $Ca - 40.07$; $S - 32$; $O - 16$; $H - 1$.
- 2 При обжиге 1 т известняка образуется $168 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$. Содержание $CaCO_3$ в известняке 94%. Определить степень диссоциации известняка и его расход на $1000 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ при данных условиях и при полном разложении $CaCO_3$.

Вопросы

- 1 Какие технологические критерии эффективности химико-технологического процесса вы знаете? Дайте их определения.
- 2 Какие вещества называют вяжущими?
- 3 Влияние примесей на технологические свойства глинистого сырья. Регулирующие добавки, применяемые в технологии керамики/
- 4 Если в карбонатных породах содержание примесей глины и кварцевого песка превышает норму, то какую известь получают в результате обжига?

Вариант 2

Задачи

- 1 Определить количество топлива с $Q_H = 26,4 \cdot 10^3 \text{ кДж/кг}$ для получения 20 т CaO , если для разложения 1 кг $CaCO_3$ необходимо 178 кДж. Прим.: молярная масса компонентов $M(CaO) = 56$; $M(CaCO_3) = 100$.
1. Сколько известкового теста (по массе и объему), содержащего 50 % извести и 50 % воды, можно получить из 25 т известки-кипелки, имеющей 88 % активной CaO ? Средняя плотность теста 1400 кг/м^3 .

Вопросы

- 1 Каковы пределы изменения степени превращения, выхода продукта, селективности?
- 2 Как классифицируют вяжущие вещества в зависимости от условий твердения

- 3 Назовите основные физико-химические свойства вяжущих веществ.
- 4 Какие виды воздушной извести вы знаете? Дайте их характеристику.

Вариант 3

Задачи

- 1 Сколько ангидритового вяжущего можно получить из 5 т двуводного гипса при введении в качестве катализатора извести-кипелки в количестве 5 % от массы ангидрита?
- 2 Сколько тонн каустического магнезита (MgO) можно получить при обжиге 15 т магнезита, содержащего 8 % (по массе) негидратирующихся примесей?

Вопросы

- 1 Что называется производительностью, мощностью, интенсивностью?
- 2 Какие строительные материалы относят к воздушным вяжущим? Приведите примеры.
- 3 Как происходит дегидратация двуводного гипса? Составьте уравнения реакций.
- 4 Какие добавки могут ускорить или замедлить процесс твердения цемента?

Вариант 4

Задачи

- 1 Из известняка, содержащего 10% глинистых и 10% песчаных примесей, влажностью $u = 2\%$, получают комовую известь. Определить выход извести и ее активность. Прим.: глинистые примеси представляют собой каолинит или иначе алюмогидросиликат – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Молярная масса: $CaO - 56$; $CaCO_3 - 100$; $Al_2O_3 - 102$; $SiO_2 - 60$; $H_2O - 18$.
- 2 Химический анализ глины дал следующие результаты: $SiO_2 - 0,594$; $Al_2O_3 - 0,202$; $Fe_2O_3 - 0,072$; $K_2O - 0,01$; $CaO - 0,029$; $MgO - 0,021$. Потери при прокаливании $ППП = 0,072$. Определить процентное содержание каолинита и песка в данной глине, полагая, что CaO входит только в состав $CaCO_3$; K_2O в состав ортоклаза ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), а также вместе с MgO в состав слюды ($4MgO \cdot K_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$). Прим.: ф – ла каолинита $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$ или иначе $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Вопросы

- 1 Чем отличается практический материальный баланс от теоретического?
- 2 Какие строительные материалы относят к гидравлическим вяжущим? Приведите примеры
- 3 Каков состав и свойства кислотоупорного цемента?

- 4 К какому виду вяжущих относят каустический магнезит и каустический доломит?

Вариант 5

Задачи

- 1 Определить степень превращения и количество негашеной (комовой) извести, получаемой при обжиге 10 т чистого известняка с влажностью $w = 0,1$. Прим.: атомная масса элементов $Ca - 40,07$; $C - 12$; $O - 16$.
- 2 Нормальная густота гипсового теста равна 59%. Сколько необходимо взять гипса и воды для получения 10 кг гипсового теста нормальной густоты?

Вопросы

- 1 Что представляет собой материальный баланс технологического процесса?
- 2 Какие виды сырья используют для получения вяжущих строительных материалов?
- 3 Сырье для производства портландцементного клинкера. Способы подготовки сырьевой смеси.
- 4 Перечислите основные минералы портландцемента и дайте их характеристику.

Вариант 6

Задачи

- 1 Определить фактические расходные коэффициенты по сырью и выход негашеной и гидратной извести, если известняк имеет влажность 8%, а количество инертных примесей составляет 15%.
- 2 Определить конверсию, а также количество гипса-полугидрата и растворимого ангидрита, получаемых из 1 т гипсового камня, не содержащего примесей.

Вопросы

- 1 Физическая сущность материального баланса, его разновидности и назначение.
- 2 Какими преимуществами обладают отходы промышленности по сравнению с природным сырьем?
- 3 Какие разновидности гипсовых вяжущих Вы знаете? Какими особенностями они обладают?
- 4 Что собой представляет кислотоупорный цемент?

Вариант 7

Задачи

- 1 Сколько потребуется чистого известняка с $u = 5\%$ для получения 10 т негашеной извести. Прим.: атомная масса элементов $Ca - 40,07$; $C - 12$; $O - 16$.
- 2 Сколько можно получить сухой гидратной извести (пушонки) при гашении 5 т кальциевой кипелки с активностью 88 % (активность соответствует содержанию CaO), если влажность гидратной извести равна 3,5 %?

Вопросы

- 1 Что собой представляет технологический процесс?
- 2 Из каких пород получают известь?
- 3 Что собой представляет глиноземистый цемент? В каком случае его нельзя использовать?
- 4 Физическая сущность материального баланса, его разновидности и назначение.

Вариант 8

Задачи

- 1 Для получения магнезиального вяжущего расходуется (по массе) 65 % чистого каустического магнезита (MgO) и 35 % $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Определить необходимую массу каустического магнезита, содержащего 85% активной MgO , а также объем в литрах водного раствора $MgCl_2$, содержащего 410 г $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ в одном литре, если потребность в магнезиальном вяжущем составляет 50 кг?
- 2 Масса гипсового камня весом 10 т, его влажность – 5% (по массе), содержание примесей составляет 15%. Определить конверсию, фактические расходные коэффициенты, а также массу гипсового вяжущего, полученного из этого сырья.

Вопросы

- 1 К воздушным или гидравлическим вяжущим веществам относятся известковые вяжущие?
- 2 Сырьевые материалы и их основные свойства для производства керамических изделий.
- 3 Что представляет собой материальный баланс технологического процесса?
- 4 Какие технологические критерии эффективности химико-технологического процесса вы знаете? Дайте их определения.

Вариант 9

Задачи

- 1 Сколько нужно песка и извести по массе для изготовления $n = 1000$ шт. силикатных кирпичей. Средняя плотность кирпича $\rho_k = 1750 \text{ кг/м}^3$ при влажности $u = 0,06$. Содержание CaO в сухой смеси составляет 8,5% по массе. Активность извести, применяемой для производства кирпича – 80%. Определить расход воды и влажность песка. Размеры кирпича ($a \times b \times h$) – $250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$.
- 2 Приготовить 1 т известково-трепельного цемента, если трепел имеет в своем составе 70% SiO_2 , а гидратная известь 85% CaO . Предполагается, что соединение имеет формулу $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Прим.: атомная масса элементов: $\text{Ca} - 40,07$; $\text{O} - 16$; $\text{Si} - 28,06$; $\text{H} - 1$. Определить соотношение между известью и трепелом, их содержание по массе в смеси, а также фактические расходные коэффициенты по сырью.

Вопросы

- 1 Как происходит: а) гидратация извести; б) карбонизация гашеной извести; в) гидросиликатное твердение гашеной извести? Составьте уравнения реакций
- 2 Дайте краткую характеристику сырья и основных видов производимой из него извести.
- 3 Что собой представляет силикатный кирпич и где он применяется?
- 4 Физическая сущность материального баланса, его разновидности и назначение.

Вариант 10

Задачи

- 1 Определить фактические расходные коэффициенты по сырью, а также количество одинарного полнотелого кирпича, которое можно изготовить из 50 т глины с влажностью 15%, если потери при обжиге (ППП) кирпича-сырца составляют 6,8% от массы сухой глины. Среднюю плотность кирпича принять равной 1800 кг.
- 2 Сколько можно получить сухой гидратной извести при гашении 5 т негашеной извести с активностью 80% (активность соответствует содержанию CaO). Какова величина фактического расходного коэффициента? Прим.: атомная масса элементов $\text{Ca} - 40,07$; $\text{C} - 12$; $\text{O} - 16$.

Вопросы

- 1 Из какого сырья получают гипсовые вяжущие вещества?
- 2 В чем отличие гидравлических вяжущих веществ от воздушных? Приведите примеры вяжущих обеих групп.

- 3 Что представляет собой материальный баланс технологического процесса?
- 4 Какие минералы преобладают в структуре цементного клинкера?

Вариант 11

Задачи

- 1 Рассчитать, сколько получится негашеной и гидратной извести из 30 т известняка. Содержание в известняке по массе $\text{CaCO}_3 = 75\%$, а естественная влажность $u = 10\%$. Какова степень превращения? Прим.: атомная масса элементов $\text{Ca} - 40,07$; $\text{C} - 12$; $\text{O} - 16$.
- 2 Определить расход древесных опилок для получения 1000 штук пористого кирпича ($\rho_{\text{п.к.}} = 1210 \text{ кг/м}^3$), исходя из того, что объемная масса обыкновенного кирпича $\rho_{\text{об.к.}} = 1740 \text{ кг/м}^3$. Средняя плотность опилок $\rho_{\text{оп.}} = 610 \text{ кг/м}^3$. Какова величина фактического расходного коэффициента?

Вопросы

- 1 Какие виды гипсовых вяжущих веществ относят к низкообжиговым?
- 2 Какой теории отвечает процесс схватывания и твердения CaSO_4 и в чем ее сущность?
- 3 Перечислите рациональные области применения воздушной извести.
- 4 Физическая сущность материального баланса, его разновидности и назначение.

Вариант 12

Задачи

- 1 Определить расход глины по массе и объему, а также фактический расходный коэффициент для изготовления 250 шт. кирпичей, имеющих объемную массу – 1780 кг/м^3 . Объемная масса сырой глины – 1610 кг/м^3 (при влажности 13%). Потери кирпича по массе при обжиге составляют 8,5% от массы сухой глины.
- 2 Сколько нужно взять гидравлической добавки, имеющей 60% активного кремнезема, чтобы полностью связать 1 часть гашеной извести, активностью 80% (активность соответствует содержанию CaO)? В результате твердения образуется однокальциевый гидросиликат $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Прим.: атомная масса элементов: $\text{Ca} - 40,07$; $\text{O} - 16$; $\text{Si} - 28,06$; $\text{H} - 1$.

Вопросы

- 1 Оксиды каких элементов обладают вяжущими свойствами?
- 2 Гашение извести, разновидности гашеной извести. Технические свойства гашеной извести и применение в строительстве.

- 3 В каком качестве применяются гранулированные доменные шлаки в производстве цемента.
- 4 Какой теории отвечает процесс схватывания и твердения $CaSO_4$ и в чем ее сущность?

Вариант 13

Задачи

- 1 Определить количество глины по массе и объёму для получения 10000 шт. кирпича средней плотности $\rho_k = 1800 \text{ кг/м}^3$ и 1000 шт. пустотелых керамических стеновых камней, средняя плотность которых $\rho_{с.к.} = 1350 \text{ кг/м}^3$. Размер кирпича ($a \times b \times h$) $250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$, размеры камня $250 \times 120 \times 138 \text{ мм}$, средняя плотность глины $\rho_g = 1700 \text{ кг/м}^3$, влажность глины $u_g = 0,15$. Потери при прокаливании глины составляют $ППП = 10\%$ от массы сухой глины. Брак составляет 2% от всей партии. Какова величина фактического расходного коэффициента?
- 2 Определить степень превращения и массу негашеной извести, которую можно получить из 20 т известняка. Известняк содержит 95% кальцита ($CaCO_3$). Влажность известняка составляет 4%.

Вопросы

- 1 Какие соединения входят в состав цементного камня?
- 2 Какие сырьевые материалы имеют отношение к производству вяжущих?
- 3 Для чего в глину вводят выгорающие добавки и что используют в качестве добавок?
- 4 Физическая сущность материального баланса, его разновидности и назначение.

Вариант 14

Задачи

- 1 Химический анализ природного известняка показал следующее. Из навески известняка 1,0312 г путем ее растворения, последующего осаждения иона Ca^{2+} щавелевокислым аммонием и прокаливанием осадка CaC_2O_4 получено 0,5384 г CaO , а из навески 0,3220 г путем разложения кислотой получено $68,5 \text{ см}^3 CO_2$ (приведенных к нормальным условиям). Подсчитать содержание углекислого кальция и магния в известняке, если весь кальций в нем находится только в виде $CaCO_3$, а угольная кислота – в виде карбонатов кальция и магния.
- 2 Определить количество активной минеральной добавки с содержанием кремнезема 75%, необходимое для образования гидросиликата кальция ($2CaO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$) при взаимодействии с гашеной известью, имеющей активность 60%. Расчет произвести на 50 кг сухой извести-пушонки.

Вопросы

- 1 К какому виду вяжущих относят каустический магнезит и каустический доломит?
- 2 Какой теории отвечает процесс схватывания и твердения CaSO_4 и в чем ее сущность?
- 3 Что представляет собой жидкое (растворимое) стекло и для каких целей его применяют в строительстве?
- 4 К воздушным или гидравлическим вяжущим веществам относятся известковые вяжущие?

Вариант 15

Задачи

- 1 Определить сколько штук керамического рядового полнотелого кирпича можно получить из 50 т глины с влажностью 12%, если потери при обжиге сырца составляют 7,5% от массы сухой глины. Среднюю плотность кирпича принять 1650 кг/м^3 .
- 2 Сколько известкового теста по массе и объему будет получено из 10 т негашеной извести, если активность извести составляет 80%, содержание воды в тесте равно 50%, средняя плотность теста – 1400 кг/м^3 .

Вопросы

- 1 В чем сущность процесса твердения строительного гипса?
- 2 Что представляет собой жидкое (растворимое) стекло и для каких целей его применяют в строительстве?
- 3 Чем отличается гидравлическая известь от воздушной?
- 4 Физическая сущность материального баланса, его разновидности и назначение.

Вариант 16

Задачи

- 1 Масса гипсового камня при влажности 5% составляет 10 т, содержание примесей в камне — 15%. Определить массу гипсового вяжущего, полученного из этого сырья. При решении задачи принять, что состав примесей во время термической обработки не меняется.
- 2 Сколько следует взять воздушной негашеной извести с активностью 75%, чтобы получить 200 кг гидратной извести с влажностью 35%?

Вопросы

- 1 В каких случаях применяют растворимое стекло?
- 2 К воздушным или гидравлическим вяжущим веществам относятся известковые вяжущие?
- 3 Что представляют собой ангидритовые вяжущие и их область применения?

- 4 Какие технологические критерии эффективности химико-технологического процесса вы знаете? Дайте их определения.

Вариант 17

Задачи

- 1 Искусственный гипсовый камень получен из гипсового теста с В/Г, равными 0,5 и 0,6. Рассчитать количество воды (в % от воды затворения), необходимой для полной гидратации вяжущего, и объяснить влияние избыточной воды затворения на свойства искусственного гипсового камня. При решении задачи принять, что в обоих случаях гипсовое вяжущее на 100% состоит из полуводного гипса.
- 2 Какое количество керамического кирпича можно получить из 2 м³ глины, если средняя плотность кирпича 1750 кг/м³, а плотность сырой глины (при влажности 12 %) 1650 кг/м³. При обжиге сырца потери при прокаливании составляют 9 % от массы сухой глины

Вопросы

- 1 Укажите важнейшие разновидности портландцемента.
- 2 Основные виды гипсовых вяжущих веществ. Краткая характеристика, область применения.
- 3 Сущность обобщенной теории твердения портландцемента и других неорганических вяжущих веществ, созданной А. А. Байковым.
- 4 Что происходит при длительном хранении портландцемента (ПЛЦ)? Какие качества утрачивает ПЛЦ?

Вариант 18

Задачи

- 1 Сколько потребуется глины для изготовления 2500 шт. плиток для пола размером 200×200×78 мм, если известно, что пористость плиток 7 %, плотность спекшейся массы равна 2,24 г/см³, а потери при сушке и обжиге глины составили 16 % от массы глины.
- 2 Сколько известкового теста (по массе и объему), содержащего 50 % извести и 50 % воды, можно получить из 10 т извести-кипелки, имеющей 85 % активной CaO? Средняя плотность теста 1410 кг/м³.

Вопросы

- 1 Глиноземистый цемент, особенности свойств и области применения.
- 2 Что представляет собой материальный баланс технологического процесса?
- 3 К воздушным или гидравлическим вяжущим веществам относятся известковые вяжущие?
- 4 Из какого сырья изготавливаются: гипсовое вяжущее, воздушная и гидравлическая известь, портландцемент?

Вариант 19

Задачи

- 1 Сколько потребуется известняка с влажностью 10 % и количеством примесей 8 % (от массы сухого известняка) для получения 18 т извести-кипелки. Активность извести 76%.
- 2 Какое количество песка и извести по массе необходимо для изготовления 1000 шт. силикатных кирпичей. Объемная плотность силикатного кирпича 1750 кг/м^3 при его влажности 6% (по массе). Содержание CaO в сухой смеси составляет 8,5% по массе. Активность извести, применяемой для изготовления силикатного кирпича – 80%.

Вопросы

- 1 Пуццолановый портландцемент, его состав, свойства и применение.
- 2 Какую известь называют кипелкой, и какую – пушонкой? Из какого сырья и как получают воздушную известь? (привести химическую реакцию).
- 3 Сущность обобщенной теории твердения портландцемента и других неорганических вяжущих веществ, созданной А. А. Байковым.
- 4 Состав силикатного кирпича, его свойства и область применения.

Вариант 20

Задачи

- 1 Определить массу и сорт комовой извести, полученной обжигом 245 т известняка. Влажность известняка 6%, содержание глинистых примесей 3 % и песчаных примесей 2%.
- 2 Определить расход глины (по массе и объему) для изготовления 250 штук кирпичей. Объемная масса сырой глины $\rho_w^0 = 1610 \text{ кг/м}^3$ при $w = 0,13$. Потеря кирпича в массе при обжиге составляет 8,5% от массы сухой глины. Объемная масса готовых изделий $\rho^0 = 1780 \text{ кг/м}^3$. Прим.: размеры кирпича $a \times b \times c = 250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$

Вопросы

- 1 Чем отличаются пуццолановый и обычный портландцементы? Что собой представляют активные минеральные добавки?
- 2 Ангидристые вяжущие. Разновидности, технические свойства ангидристых вяжущих и их применение в строительстве.
- 3 Каковы преимущества пустотелого кирпича по сравнению с полным?
- 4 Какие технологические критерии эффективности химико-технологического процесса вы знаете? Дайте их определения.

4.3 Контрольное задание № 3

Вариант 1

Задачи

- 1 Бетонная смесь (БС) $\rho_{БС} = 2420 \text{ кг/м}^3$ и $B/C = 0,5$ имеет состав по массе $C:P:Щ = 1:2:4$. Определить коэффициент раздвижки зерен щебня цементно-песчаным раствором (ЦПР) α_p , если $\alpha_p = V_{ЦПР}/V_{пор.щ}$; $\rho_{ц}^0 = 1300 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{п}^0 = 1560 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{щ}^0 = 1500 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{ц} = 3100 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{п} = 2560 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{щ} = 2600 \text{ кг/м}^3$.
- 2 Определить увеличение расхода C в % из-за использования низкокачественного заполнителя при $R_6 = 200 \text{ кгс/см}^2$, если $R_{ц} = 400 \text{ кгс/см}^2$; $B = 200 \text{ л}$.

Вопросы

- 1 Какие требования предъявляют к воде для затворения и поливки бетона?
- 2 Свойства бетонной смеси. Подвижность и жесткость, методы их определения.
- 3 Какие вяжущие применяются для приготовления растворов?
- 4 Из какого условия определяется минимальный объем пор в бетонной смеси?

Вариант 2

Задачи

- 1 Определить коэффициент выхода β крупнопористого бетона, если его состав по объему $C:Щ = 1:10$; расход цемента $C = 120 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{ц}^0 = 1210 \text{ кг/м}^3$.
- 2 На 1 м^3 БС израсходовано: $C = 300 \text{ кг}$; $P = 685 \text{ кг}$; $Щ = 1200 \text{ кг}$; $B = 165 \text{ л}$. Определить коэффициент уплотнения БС, определяемый как $K_e = V_T/V$, если $\rho_{ц} = 3100 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{п} = 2650 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{щ} = 2610 \text{ кг/м}^3$.

Вопросы

- 1 Какую роль играют заполнители в бетоне? Чем различаются мелкий и крупный заполнители?
- 2 Тяжелые бетоны. Определение и классификация.
- 3 Что следует понимать под критерием морозостойкости?
- 4 Что следует понимать под коэффициентом выхода бетонной смеси?

Вариант 3

Задачи

- 1 Определить B/C , при котором Б, изготовленный из жесткой бетонной смеси на высококачественных заполнителях и ПЛЦ М600 через 3 суток твердения в нормальных условиях наберет прочность $R_6^3 = 150 \text{ кгс/см}^2$.

- 2 На приготовление 1 м³ бетонной смеси (БС) расходуется 320 кг портландцемента с $\rho_{\text{ц}}^0 = 1300 \text{ кг/м}^3$, 640 кг сухого песка с $\rho_{\text{п}}^0 = 1500 \text{ кг/м}^3$, 1280 кг сухого щебня с $\rho_{\text{щ}}^0 = 1400 \text{ кг/м}^3$ и 170 л воды. Определить расход материалов на один замес бетономешалки объемом 500 л, если песок имеет влажность 3,5%, а щебень 1,5%.

Вопросы

- 1 В чем заключается эффективность пластифицирующих добавок?
- 2 Что такое бетон, и на какие виды он делится в зависимости от средней плотности, вида вяжущего и назначения?
- 3 Как и для каких целей определяют коэффициент выхода бетонной смеси?
- 4 Какова физическая природа морозостойкости?

Вариант 4

Задачи

- 1 Определить активность цемента для состава бетона с прочностью 35,0 МПа в 90-дневном возрасте при $B/C=0,5$ и заполнителях хорошего качества.
- 2 Определить расход материалов на один замес бетономешалки емкостью 300 л, если расход материалов по массе на 1 м³ бетона равен: $C = 320 \text{ кг}$; $P = 640 \text{ кг}$; $Щ = 1280 \text{ кг}$, $B = 160 \text{ л}$; влажность песка $u_{\text{п}} = 0,03$, щебня $u_{\text{щ}} = 0,01$, насыпная плотность в кг/л цемента 1,2; щебня 1,4; песка 1,2.

Вопросы

- 1 Перечислите вредные примеси в заполнителях. Как влияют эти примеси на свойства бетона?
- 2 Какими методами определяется подвижность и жесткость бетонной смеси?
- 3 Какова основная причина разрушения Б при циклическом замораживании и оттаивании?
- 4 Легкие бетоны, их виды, достоинства и недостатки.

Вариант 5

Задачи

- 1 Определить состав мелкозернистого бетона $R_{\text{б}} = 350 \text{ кгс/см}^2$ при жесткости – 30 с, используя следующие материалы: портландцемент – $R_{\text{ц}} = 350 \text{ кгс/см}^2$, песок мелкий – модуль крупности 1,5; $\rho_{\text{п}} = 2,65 \text{ кг/л}$; $\rho_{\text{бс}} = 2200 \text{ кг/м}^3$. Соотношение между C и P , соответствующее указанной жесткости при данном модуле крупности, составляет 1:3,5.
- 2 При испытании тяжелого бетона в образцах размером 10×10×10 см средний предел прочности в возрасте 7 дней оказался равным 18,4 МПа. К какой марке относится испытанный бетон?

Вопросы

- 1 Опишите различия между гравием и щебнем. Сопоставьте свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона, изготовленных на этих заполнителях.
- 2 С какой целью, и какими методами уплотняют бетонные изделия?
- 3 С какой целью проводится тепловлажностная обработка бетонов?
- 4 Чем объясняется способность морозостойкого бетона противостоять разрушению?

Вариант 6

Задачи

- 1 Определить прочность бетона при $C/B = 2,5$, если при $C/B = 2,0$ была получена прочность бетона 40,0 МПа.
- 2 Определить прочность бетона в МПа в зависимости от следующих значений $B/C = 0,4; 0,5; 0,6; 0,8$ в условиях использования цемента марки "400" и хорошего щебня. Построить график функции $R_b = f(C/B)$.

Вопросы

- 1 Укажите виды пористых заполнителей для изготовления легкого бетона.
- 2 Силикатный кирпич, его свойства и область применения.
- 3 Достоинства и недостатки тепловлажностной обработки бетона.
- 4 К какому виду строительных материалов относится бетон?

Вариант 7

Задачи

- 1 Вычислить прочность бетона в МПа и построить график функции $R_b = f(R_{ц})$ в условиях использования цемента с активностью – 20,0; 25,0; 35,0; 50,0; 65,0 МПа, заполнителях хорошего качества и $B/C = 0,5$.
- 2 Определить коэффициент плотности затвердевшего бетона, если расход цемента 330 кг/м³, $\rho_{ц} = 3,1$ кг/л, $B/C=0,55$, а химически связанной воды с цементом в затвердевшем бетоне 17 % от массы цемента.

Вопросы

- 1 Перечислите основные свойства бетонной смеси.
- 2 Какие факторы влияют на удобоукладываемость бетонной смеси и на прочность бетона?
- 3 Что собой представляет интенсивность виброуплотнения?
- 4 Что такое B/C ? Каково влияние B/C на марку Б при прочих равных параметрах?

Вариант 8

Задачи

- 1 Определить марку бетона, если после 7 суток твердения в нормальных условиях в образцах $10 \times 10 \times 10$ см были получены следующие разрушающие нагрузки: 35; 40; 41 т.
- 2 При расходе материалов на 1 м^3 бетона: $Ц = 300 \text{ кг}$; $П = 600 \text{ кг}$; $Щ = 1200 \text{ кг}$; $В = 180 \text{ л}$ определить расход материалов на 1 замес бетономешалки емкостью 1500 л, если $\rho_{ц}^0 = 1,3 \text{ кг/л}$, $\rho_{п}^0 = 1,5 \text{ кг/л}$, $\rho_{щ}^0 = 1,6 \text{ кг/л}$.

Вопросы

- 1 Как определяют подвижность смеси?
- 2 С какой целью и посредством, каких физических механизмов уплотняют бетонную смесь?
- 3 Какую роль играет автоклавная обработка в изготовлении изделий?
- 4 Что является причиной разрушения бетона при циклическом замораживании и оттаивании?

Вариант 9

Задачи

- 1 Номинальный состав тяжелого бетона по массе: 1:1,9:4,1; $В/Ц=0,45$. При пробном замесе в лаборатории средняя плотность бетона оказалась равной 2235 кг/м^3 . Определить расход материалов на 1 м^3 бетона при влажности песка 4 %, щебня – 1%.
- 2 На 1 м^3 бетона расходуется 285 кг портландцемента, 610 кг сухого песка, 1210 кг сухого щебня и 162 литра воды. Насыпная плотность компонентов смеси в кг/л составляет соответственно 1,20; 1,56 и 1,40. Составить дозировку материалов на один замес бетономешалки с паспортной емкостью барабана 425 литров, если влажность песка равна 3 %, а щебня – 1 %.

Вопросы

- 1 Какие факторы влияют на удобоукладываемость бетонной смеси?
- 2 Что характеризует собой марка Б?
- 3 Что такое бетон, и на какие виды он делится в зависимости от средней плотности, вида вяжущего и назначения?
- 4 С какой целью, и какими методами уплотняют бетонные изделия?

Вариант 10

Задачи

- 1 Номинальный состав тяжелого бетона по массе: 1:1,9:4,1; $В/Ц=0,45$. При пробном замесе в лаборатории средняя плотность бетона оказалась равной 2235 кг/м^3 . Определить расход материалов на 1 м^3 бетона при влажности песка 4 %, щебня – 1%.

- 2 Как изменится расход ШПЛЦ М400 на 1 м³ бетонов М300 с жесткостью смеси 30, если бетоны изготовили на разных по качеству заполнителях, а водопотребность неизменна $B=185$ л.

Вопросы

- 1 Укажите, как подразделяют бетоны по плотности.
- 2 Что такое удобоукладываемость бетонной смеси, от чего она зависит и с помощью каких приборов определяется?
- 3 Можно ли укладывать бетонные смеси или раствор после начала схватывания?
- 4 Какие ускорители твердения и замедлители схватывания бетона Вы знаете. Что дает их применение?

Вариант 11

Задачи

- 1 Определить состав раствора М100 для надземной кладки стен зданий с нормальной влажностью воздуха помещений. Вяжущее для раствора ПЛЦ М500; $\rho_{\text{нас. ц.}}=1200$ кг/м³. Пластифицирующая добавка – глиняное тесто, средняя плотность $\rho_{\text{теста}}=1500$ кг/м³; Средняя плотность песка $\rho_{\text{п}}=1300$ кг/м³ при влажности $w=3$ %. Расход глиняного теста на 1 м³ песка определяются формулой: $V_{\text{гл.}}=0,17(1-2 \cdot 10^{-3} m_{\text{ц}})$.
- 2 Определить производственный состав тяжелого бетона, если лабораторный состав представляет собой: $Ц=297$ кг/м³; $Щ=1383$ кг/м³; $П=613$ кг/м³; $B=178$ л. Влажность песка и щебня соответственно равны: $u_{\text{п}}=0,02$; $u=0,01$.

Вопросы

- 1 Почему не следует вводить в бетонную смесь излишнюю воду?
- 2 Из каких материалов изготовляют силикатный кирпич, каковы его свойства и где его применяют?
- 3 Какие факторы оказывают существенное влияние на прочность и морозоустойчивость бетона?
- 4 Какие способы существуют для повышения морозоустойчивости?

Вариант 12

Задачи

- 1 Выразить составы бетона массовыми и объемными соотношениями между $Ц$; $П$; $Щ$, если расход материалов составляет: $Ц=251$ кг; $П=493$ кг; $Щ=1043$ кг, а $\rho_{\text{ц}}^0=1300$ кг/м³; $\rho_{\text{п}}^0=1600$ кг/м³; $\rho_{\text{щ}}^0=1495$ кг/м³.
- 2 Определить номинальный состав БС по объему и расход материалов на 1 м³ бетона, если номинальный состав БС по массе 1:2,5:4,1; $B/Ц = 0,6$; коэффициент выхода БС $\beta = 0,7$; насыпная плотность компонентов $\rho_{\text{ц}}^0 = 1,3$ кг/л, $\rho_{\text{п}}^0 = 1,5$ кг/л, $\rho_{\text{щ}}^0 = 1,5$ кг/л.

Вопросы

- 1 Какие факторы влияют на прочность бетона в период его твердения?
- 2 Чем отличаются растворы от бетонов?
- 3 Какими методами определяется подвижность и жесткость бетонной смеси?
- 4 Из какого условия определяется минимальный объем пор в бетонной смеси?

Вариант 13

Задачи

- 1 Определить расход материалов на 1 м³ БС, если $\rho_{б.с.}=2300$ кг/м³, $B/C=0,42$, а массовое соотношение компонентов БС составляет: $C:P:Щ=1:2:4$.
- 2 Определить массу воды в тяжелом гидратном бетоне на лимонитовом заполнителе, если расход ПЛЩ марки "400" – 350 кг/м³, массовое соотношение между цементом и заполнителем составляет 1:5,6, а плотность бетона 2600 кг/м³.

Вопросы

- 1 Что такое марка бетона? Укажите марки и классы бетона по прочности на сжатие.
- 2 Какие материалы используют для изготовления строительных растворов?
- 3 Какова роль цементного теста в бетонной смеси и цементного камня в бетоне?
- 4 Перечислить основные факторы, определяющие прочность и морозостойкость бетона

Вариант 14

Задачи

- 1 Состав бетона № 1: $C = 320$ кг; $P = 650$ кг; $Щ = 1300$ кг; $B = 200$ л. Бетон № 2 имеет такой же состав, но воды на 40 л меньше. Какое влияние окажет это снижение воды на ϵ_b в тот момент твердения, когда 20% воды от массы C вступят в химическую реакцию с C , а остальная масса воды испарится?
- 2 Номинальный состав цементного бетона (по объему) оказался 1:2,2:3,1 при $B/C=0,45$. Сколько необходимо материалов для приготовления 150 м³ бетона, если на 1 м³ бетона расход цемента $C=390$ кг? Естественная влажность песка и щебня составляют 6%, 2% по отношению к массе в сухом состоянии. Средняя плотность компонентов БС: $\rho_{ц}^0 = 1,3$ т/м³; $\rho_{п}^0 = 1,6$ т/м³; $\rho_{щ}^0 = 1,5$ т/м³.

Вопросы

- 1 Расскажите об основных принципах определения состава бетона.
- 2 Какую роль играет автоклавная обработка в изготовлении изделий?
- 3 Способы и методы уплотнения бетонной смеси
- 4 Применение бетонов в строительстве и их классификация по назначению, виду вяжущего, виду заполнителей и др.

Вариант 15

Задачи

- 1 Железобетонная панель $h=0,25$ м формуется на виброплощадке с амплитудой колебаний $A=5 \cdot 10^{-4}$ м и частотой $n=3000$ кол/мин. Определить величину максимального уплотняющего давления p_{max} , возникающего в толще формируемой панели, если формование осуществляется с пригрузом, масса которого на 1 площади составляет $m_{пр}=9,81 \cdot 10^4$ кг/м², а $\rho_{бс}=2300$ кг/м³.
- 2 Рассчитать необходимое B/C при использовании цемента марки "400" и заполнителей хорошего качества для получения проектной прочности бетона 40,0 МПа в возрасте 90 дней..

Вопросы

- 1 Почему необходимо подбирать состав бетона с минимальным расходом цемента?
- 2 Что собой представляет силикатный бетон?
- 3 Каким образом определяется подвижность растворной смеси?
- 4 Какие факторы определяют прочность и морозостойкость бетона?

Вариант 16

Задачи

- 1 БС имеет следующий состав на 1 м³: $C=320$ кг; $P=640$ кг; $Щ=1280$ кг; $B=160$ кг. Для приготовления смеси использовались материалы с температурой: $t_c=5^{\circ}\text{C}$; $t_p=40^{\circ}\text{C}$; $t_{щ}=1^{\circ}\text{C}$; $t_b=80^{\circ}\text{C}$. Определить температуру БС, если известно, что в результате потерь теплоты при перемешивании температура Б.С. понижается на $2,5^{\circ}\text{C}$, а теплоемкости материалов: $c_c=c_p=c_{щ}=0,84$ кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{K}$); $c_b=1$ кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{K}$); $c_{БС}=1,06$ кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{K}$).
- 2 Достижение проектной прочности бетона 50,0 МПа назначается в возрасте 180 суток. Определить экономию цемента при расходе воды – 180 л, заполнители хорошего качества, цементе марки "400".

Вопросы

- 1 Что такое легкие бетоны, каковы их преимущества по сравнению с тяжелым? Какие конструкции лучше всего изготавливать из легкого бетона?

- 2 Что представляет собой строительный раствор и каковы его свойства?
- 3 Что собой представляют вибрационный метод уплотнения бетонной смеси?
- 4 Каким образом определяется прочность раствора, уложенного на пористое основание?

Вариант 17

Задачи

- 1 Бетон на хорошем заполнителе показал через один год предел прочности при сжатии 60,0 МПа. Определить активность цемента если $B/C=0,5$.
- 2 Определить экономию цемента при следующих условиях: активность цемента – "300"; расход воды – 200 л; коэффициенте качества заполнителей – $A = 0,5$, если лишь через 90 дней требуется достижение прочности бетона 20,0 МПа.

Вопросы

- 1 В чем заключаются особенности строительного раствора?
- 2 Какие способы существуют для ускорения процесса твердения бетонных изделий?
- 3 Каким образом можно уменьшить расход цемента, не изменяя подвижность БС?
- 4 Что происходит при длительном хранении портландцемента (ПЛЦ)? Какие качества утрачивает ПЛЦ?

Вариант 18

Задачи

- 1 Произвести расчет полевого состава бетона, если $C:P:Щ = 1:2,44:5,7$; $B/C=0,57$, плотность – 2400 кг/м³, при влажности песка – 3%, щебня – 1,2%.
- 2 При одинаковой активности цемента и качестве материалов в двух равноподвижных составах БС расход цемента соответственно составлял $C_1 = 270$ кг, $C_2 = 300$ кг/м³. Прочность бетона для первого варианта БС составила $R_{61} = 200$ кгс/см² при расходе воды $B_1 = 180$ л/м³, для второго – $R_{62} = 320$ кгс/см². Определить расход воды для второго варианта БС.

Вопросы

- 1 Как классифицируют строительные растворы по назначению и средней плотности?
- 2 Какова стратегия проектирования БС?
- 3 Каким образом определяется морозостойкость бетона?
- 4 Что является основой для классификации бетонов?

Вариант 19

Задачи

- 1 Определить расход материалов на один замес бетономешалки – 500 л при следующем расходе материалов на 1 м³ бетона: $Ц=242$ кг, $П=607$ кг, $Щ=1350$ кг, $В=104$ л, а их кажущиеся плотности соответственно равны $\rho_{ц}^0 = 1,3$ кг/л; $\rho_{п}^0 = 1,63$ кг/л; $\rho_{щ}^0 = 1,5$ кг/л.
- 2 Рассчитать расход цемента на 1 м³ и определить водоцементное отношение для бетона прочностью 14,0 МПа через 7 дней при использовании цемента марки "400", расходе воды 160 л на 1 м³ бетона. Заполнители удовлетворительного качества.

Вопросы

- 1 Какие существуют виды строительных растворов и чем они отличаются от бетонов?
- 2 Дайте краткую характеристику заполнителей бетона.
- 3 В каком случае прочность бетона может быть больше прочности цемента?
- 4 Состав силикатного кирпича, его свойства и область применения.

Вариант 20

Задачи

- 1 Определить состав БС по массе и объему, если расход цемента 300 кг/м³, а $В/Ц = 0,6$. Насыпная и истинная плотности компонентов смеси в кг/л составляют соответственно: $\rho_{ц}^0=1,3$; $\rho_{ц}=3,1$; $\rho_{п}^0=1,6$; $\rho_{п}=2,62$; $\rho_{щ}^0=1,4$; $\rho_{щ}=2,7$. Массовое соотношение между песком и щебнем $П/Щ=0,45$.
- 2 Определить плотность бетона и коэффициент выхода бетонной смеси при расходе на 600 м³ бетона: цемента – 275,0 кг; песка – 285 м³; щебня – 540 м³ при $В/Ц=0,5$, если $\rho_{ц}^0 = 1,3$ кг/л, $\rho_{п}^0 = 1,55$ кг/л, $\rho_{щ}^0 = 1,5$ кг/л, а вода, связанная в бетоне, – 20%.

Вопросы

- 1 Современные методы ускорения процессов твердения бетонной смеси.
- 2 Каким образом оценивается удобоукладываемость БС?
- 3 Что характеризует марка бетона по морозостойкости?
- 4 Каким образом классифицируются строительные растворы?

Литература

- 1 Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / И. А. Рыбьев. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 701 с.
- 2 Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия: учебник для строительных спец. средн. спец. учеб. заведений / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М.: Студент, 2011. – 367 с.
- 3 Строительные материалы: учебно-метод. пособие [Текст] / сост. М.С. Карасев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 72 с.
- 4 Косых, А.В. Искусственные и природные строительные материалы и изделия: учеб. пособие / А.В. Косых, Н.А. Лохова, И.А. Макарова. – Братск: БрГУ, 2006. – 188 с.
- 5 Багманова, Р.Х. Материальные балансы химико-технологических процессов: методические указания для выполнения практических работ / Р.Х. Багманова, В.П. Дорожкин. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУВПО «КНИТУ», 2012. – 73 с.
- 6 Леонтьева, А.И., Брянкин, К.В. Общая химическая технология: учеб. пособие. Ч. 1. / А.И. Леонтьева, К.В. Брянкин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 108 с.
- 7 Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки: учеб. для вузов / И.И. Перелетов [и др.]; под редакцией А.Д. Ключникова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.
- 8 Андреева, Н. А. Химия цемента и вяжущих веществ: учеб. пособие / Н.А. Андреева; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 67 с.
- 9 Мурадов, Э.Г. Материалы для приготовления бетонной смеси и строительного раствора: учеб. пособие для СПТУ / Э.Г. Мурадов. – М.: Высш. шк., 1987. – 111 с.
- 10 Баженов, Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учебник для вузов / Ю.М. Баженов [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 256 с.
- 11 Некрасов, В. А. Примеры и задачи по технологии строительных материалов и изделий: учеб. пособие / В.А. Некрасов; СПбГТИ(ТУ). Каф. оптим. хим. и биотехн. аппаратуры. – СПб., 2011. – 97 с.
- 12 Скрамтаев, Б. Г. Примеры и задачи по строительным материалам: учеб. пособие / Б. Г. Скрамтаев [и др.]; под ред. П. Ф. Шубенкина. – М.: Высш. школа, 1970. – 232 с.
- 13 Строительные материалы и изделия. Бетон на основе минеральных вяжущих. Примеры задач с решениями: учебное пособие /П.Ф. Шубенкин, Л.В. Кухаренко – М.: АСВ, 1998. – 93 с.
- 14 Материаловедение. Технология конструкционных материалов: Примеры задач с решениями: учеб. пособие / Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев [и др.]; под общ. ред. акад. РААСН Ю.М. Баженова, чл.-кор. В.Т. Ерофеева. – Саранск: изд-во Мордов. Ун-та, 2011. – 252 с.

Оглавление

Введение.....	– 4
1 Общие свойства строительных материалов	– 5
1.1 Физические свойства	– 5
1.2 Механические свойства.....	– 11
1.3 Некоторые особенности определения свойств древесины.....	– 13
1.4 Примеры решения типовых задач.....	– 16
2 Материальный баланс химико-технологических процессов в про- изводстве вяжущих веществ.....	– 20
2.1 Основные понятия о вяжущих веществах	– 27
2.2 Классификация вяжущих веществ.....	– 27
2.3 Сырье для производства вяжущих материалов.....	– 29
2.4 Основные реакции твердения вяжущих веществ.....	– 30
2.5 Примеры решения типовых задач.....	– 31
3 Бетоны и растворы.....	– 37
3.1 Бетоны	– 37
3.2 Свойства бетона	– 38
3.3 Свойства бетонной смеси и определение ее состава	– 40
3.4 Морозостойкость бетона	– 43
3.5 Порядок расчёта состава бетона	– 46
3.6 Формование и уплотнение бетонной смеси	– 47
3.7 Твердение бетона в нормальных условиях и ускорение твер- дения	– 47
3.8 Растворы	– 47
3.9 Примеры решения задач	– 49
4 Контрольные задания	– 54
4.1 Контрольное задание № 1	– 54
4.2 Контрольное задание № 2	– 64
4.3 Контрольное задание № 3	– 74
Литература.....	– 83

Кафедра оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры

Введение в специальность

Учебное пособие

Некрасов Виктор Алексеевич

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60×90 1/16

Печ. л. 5,25. Тираж 50 экз. Заказ № от . 2015

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26
Типография издательства СПбГТИ (ТУ) тел. 49-49-365