

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и  
конструкций

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания  
к практическим занятиям для студентов  
направления подготовки 08.04.01 «Строительство»,  
профиль «Ресурсосберегающие технологии стеновых, отделочных и  
изоляционных материалов и изделий»

часть 1

Казань

2017

УДК 621.315

ББК 38.3

Ж54

Ж54 Методы исследования керамических материалов: Методические указания к практическим занятиям для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство», профиль «Ресурсосберегающие технологии стеновых, отделочных и изоляционных материалов и изделий» часть 1. / Сост. И.А. Женжурист. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2017. - 32 с.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Методы исследования керамических материалов» предназначены для студентов Института Строительных Технологий и Инженерно-Экологических Систем. Содержат описание к занятиям по тематике дисциплины.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент МВТМ КГЭУ

**Т.Б. Татаринцева**

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2017

© Женжурист И.А., 2017

## Введение

Керамику можно охарактеризовать как поликристаллический материал, получаемый спеканием окислов металлов и других тугоплавких соединений, природных глин и их смесей с минеральными добавками.

Керамические материалы представляют собой сложные гетерогенные системы, характеризующиеся определенными границами раздела составляющих ее фаз.

Керамический материал состоит из нескольких фаз. Основными фазами являются кристаллическая и стекловидная. Кристаллическая фаза определяет характерные свойства керамического материала и представляет собой химические соединения или твердые растворы этих соединений. Основные физические свойства керамики — механическая прочность, твердость, теплопроводность, температурный коэффициент линейного расширения — во многом зависят от особенностей кристаллической фазы. Стекловидная фаза находится в керамическом материале в виде прослоек, связывающих кристаллическую фазу. Количество стекловидной фазы и ее состав определяют в основном технологические свойства керамики — температуру спекания, степень пластичности керамической массы при формовании.

Кристалл можно рассматривать как реальное физическое тело, имеющее решетчатое строение. При описании внутренней структуры кристаллов обычно пользуются понятием *кристаллической решетки*, которая представляет собой регулярную пространственную сетку, узлам которой соответствуют атомы, ионы или молекулы, образующие кристалл.

В периодической решетке всегда можно выделить элементарную ячейку, транслируя которую в пространстве легко получить представление о структуре всего материала. Анизотропия и симметрия физических свойств являются наиболее характерными особенностями кристаллов, обусловленными симметрией их внутреннего строения.

Любые методы анализа направлены на определение значения измеряемой величины с минимальной погрешностью, представляющей собой разность между фактически полученным результатом и истинным значением измеряемой величины.

Существуют различные методы изучения структуры материалов. С помощью макроанализа изучают структуру, видимую невооруженным глазом или при небольшом увеличении с помощью лупы. Макроанализ позволяет выявить различные особенности строения и дефекты (трещины, пористость, раковины и др.). Микроанализом называется изучение структуры с помощью оптического микроскопа при увеличении до 3000 раз. Электронный микроскоп позволяет изучать структуру при увеличении до 25000 раз. Рентгеновский анализ применяют для выявления внутренних дефектов. Он основан на том, что рентгеновские лучи, проходящие через материал и через дефекты, ослабляются в разной степени. Глубина проникновения рентгеновских лучей в сталь составляет 80 мм.

## Практическая работа № 1

### Расчет фазового состава керамики

Керамические материалы являются поликристаллическими материалами с включениями стеклофазы и газовой фазы.

#### Пример расчета

Необходимо определить фазовый состав фарфора по его химическому составу (таблица 1):

Таблица 1 - Химический состав фарфора, мас. %

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$K_2O$	$Na_2O$
72,02	21,38	0,42	0,56	0,89	0,38	2,81	1,20

Температура обжига фарфора - 1350 °С.

Решение:

Для удобства проводимых расчетов необходимо привести в сводном виде теоретический химический состав минералов, слагающих фазовый состав фарфоровой массы (таблица 2):

Таблица 2 Теоретический химический состав минералов полевых шпатов

Минералы	Молекулярная масса, вес. ч.	Теоретическое содержание оксидов, вес.ч / мас.%				
		$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Na_2O$	$K_2O$	$CaO$
альбит	524	102/19,5	360/68,7	62/11,8	-	
ортоклаз	556	102/18,0	360/64,1	-	94/16,9	-
анортит	278	102/36,7	360/43,2	-	-	56/20,1

Полевые шпаты полиминеральны и состоят из калиевого полевого шпата – ортоклаза  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ , натриевого полевого шпата – альбита

$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  и примеси кальциевого полевого шпата - анортита

$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ .

1) Определяем *содержание ортоклаза* в анализируемом составе фарфоровой массы:

Принимаем условно, что весь оксид калия  $K_2O$  (2,81 % в химическом составе фарфора) обусловлен присутствием в фарфоровой массе ортоклаза:

556 в.ч. ортоклаза содержит 94 в.ч.  $K_2O$

$x$  в.ч. ортоклаза связывает 2,81 в.ч.  $K_2O$ , отсюда:

$x = \frac{556 \cdot 2,81}{94} = 16,62$  в.ч. ортоклаза содержится в составе фарфоровой

94

массы.

А) Определяем количество  $SiO_2$ , связанного ортоклазом:

100,0 в.ч. ортоклаза содержит 64,1 в.ч.  $\text{SiO}_2$   
16,62 в.ч. ортоклаза связывает  $x$  в.ч.  $\text{SiO}_2$ , отсюда:

$$x = \frac{16,62 \cdot 64,1}{100} = 10,21 \text{ в.ч. } \text{SiO}_2, \text{ связанного ортоклазом.}$$

Б) Определяем количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , связанного ортоклазом:

100,0 в.ч. ортоклаза содержит 18,0 в.ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
16,62 в.ч. ортоклаза связывает  $x$  в.ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , отсюда:

$$x = \frac{16,62 \cdot 18,0}{100} = 2,99 \text{ в.ч. } \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ связанного ортоклазом.}$$

2) Определяем *содержание альбита* в анализируемом составе фарфоровой массы:

Принимаем условно, что весь  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,20 % в химическом составе фарфора) обусловлен присутствием в фарфоровой массе альбита:

524 в.ч. альбита содержит 62 в.ч.  $\text{Na}_2\text{O}$   
 $x$  в.ч. альбита связывает 1,20 в.ч.  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  
отсюда:

$$x = \frac{524 \cdot 1,20}{62} = 10,14 \text{ в.ч. альбита содержится в составе фарфоровой массы}$$

А) Определяем количество  $\text{SiO}_2$ , связанного альбитом:

100,0 в.ч. альбита содержит 68,7 в.ч.  $\text{SiO}_2$   
10,14 в.ч. альбита связывает  $x$  в.ч.  $\text{SiO}_2$ ,  
отсюда:

$$x = \frac{10,14 \cdot 68,7}{100} = 6,97 \text{ в.ч. } \text{SiO}_2, \text{ связанного альбитом.}$$

Б) Определяем количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , связанного альбитом:

100,0 в.ч. альбита содержит 19,5 в.ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
10,14 в.ч. альбита связывает  $x$  в.ч.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , отсюда:

$$x = \frac{10,14 \cdot 19,5}{100} = 1,98 \text{ в.ч. } \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ связанного альбитом.}$$

3) Определяем *содержание анортита* в анализируемом составе фарфоровой

Принимаем условно, что весь оксид кальция  $\text{CaO}$  (0,89 % в химическом составе фарфора) обусловлен присутствием в фарфоровой массе анортита:

278 в.ч. анортита содержит 56 в.ч.  $\text{CaO}$   
 $x$  в.ч. анортита связывает 0,89 в.ч.  $\text{CaO}$ , отсюда:

$$x = \frac{278 \cdot 0,89}{56} = 4,42 \text{ в.ч. анортита содержится в составе фарфоровой}$$

массы.

А) Определяем количество  $SiO_2$ , связанного анортитом:

100,0 в.ч. анортита содержит 43,2 в.ч.  $SiO_2$

4,42 в.ч. анортита связывает  $x$  в.ч.  $SiO_2$ ; отсюда:

$$x = \frac{4,42 \cdot 43,2}{100} = 1,91 \text{ в.ч. } SiO_2, \text{ связанного анортитом}$$

Б) Определяем количество  $Al_2O_3$ , связанного анортитом:

100,0 в.ч. анортита содержит 36,7 в.ч.  $Al_2O_3$

4,42 в.ч. ортоклаза связывает  $x$  в.ч.  $Al_2O_3$ , отсюда:

$$X = \frac{4,42 \cdot 36,7}{100} = 1,62 \text{ в.ч. } Al_2O_3 \text{ связанного анортитом}$$

1) Определяем количество муллита в фазовом составе фарфора (расчет проводится по содержанию  $Al_2O_3$ ):

Для установления количества муллита необходимо учесть процессы растворения оксидов  $Al_2O_3$ , и  $SiO_2$  в образующимся при температуре обжига  $1350^\circ C$  полевошпатовом расплаве. По литературным данным /5/ в расплаве калиевого полевого шпата, образующегося при обжиге данной фарфоровой массы при температуре  $1350^\circ C$  (см. условие) растворяется 2,08 %  $Al_2O_3$  и 10,65 %  $SiO_2$ . В расплаве натриевого полевого шпата при аналогичных условиях растворяется 1,93 %  $Al_2O_3$  и 9,88 %  $SiO_2$ . Присутствие анортита в фазовом составе фарфора растворения  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  не вызывает, поскольку температура плавления анортита  $\sim 1550^\circ C$ .

Расчет содержания муллита проводится по содержанию  $Al_2O_3$ , оставшегося после его связывания ортоклазом, альбитом и анортитом, а также  $Al_2O_3$ , растворившегося в расплавах полевых шпатов.

Всего  $Al_2O_3$  в фарфоровой массе 21,83 %, отсюда находим оставшееся количество  $Al_2O_3$  (не связанного с полевыми шпатами и не растворившегося в их расплаве):

$21,83 - (2,99 + 1,98 + 1,62 + 2,08 + 1,93) = 11,23$  %  $Al_2O_3$  идет на образование муллита.

Отсюда количество образующегося муллита определяем исходя из теоретического химического состава муллита (72 %  $Al_2O_3$  и 28 %  $SiO_2$ ):

100 в.ч. муллита содержат 72 в.ч.  $Al_2O_3$ ,  $x$  в.ч.

муллита связывают 11,23 в.ч.  $Al_2O_3$ , отсюда:

$$x = \frac{100 \cdot 11,23}{72} = 15,59 \text{ в.ч. } \text{ муллита содержится в фазовом составе фарфора.}$$

А) Определяем количество оксида кремния  $SiO_2$ , связанного

муллитом: 100 в.ч. муллита содержат 28 в.ч.  $SiO_2$ ,

15,59 в.ч. муллита связывают  $x$  в.ч.  $SiO_2$ , отсюда:

$$x = \frac{15,59 \cdot 28}{100} = 4,37 \text{ в.ч. } SiO_2, \text{ связанного муллитом}$$

3) Расчет количества свободного кварца.

В химическом составе массы содержится 72,01 в.ч.  $SiO_2$ , отсюда определяем количество свободного  $SiO_2$  (не связанного с полевыми шпатами и муллитом и не растворившегося в их расплаве).

$72,01 - (10,21 + 6,97 + 1,94 + 4,37 + 10,65 + 9,88) = 27,99$  в.ч. свободного  $SiO_2$ .

#### 4) Расчет количества *стеклофазы*.

Все полевые шпаты (кроме анортита) при обжиге фарфоровой массы плавятся (превращаются в стеклофазу). Анортит и присутствующие примеси  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  переходят в состав расплава либо за счет собственного плавления, либо за счет растворения в полевошпатовом расплаве. Поэтому количество образующейся стеклофазы можно рассчитать, суммируя количество полевых шпатов, оксидов алюминия и кремния, растворившихся в расплавах полевых шпатов, а также примесей оксидов железа  $Fe_2O_3$ , титана  $TiO_2$  и магнезия  $MgO$ :

$16,62 + 10,14 + 4,42 + 2,08 + 1,93 + 10,65 + 9,88 + 0,42 + 0,38 + 0,56 = 57,08$  %

7). Таким образом, *фазовый состав фарфора* представлен кристаллическими (муллит и остаточный кварц) и аморфной (стеклофаза) фазами:

муллит	-	15,59%
свободный кварц	-	27,99%
стеклофаза	-	57,08%
Итого:		100,66%

Поскольку рассчитанный фазовый состав фарфора отличается от 100%, необходимо привести состав к 100 %: муллит - 15,5 %

свободный кварц	-	27,8 %
стеклофаза	-	57,7 %

#### **ЗАДАНИЕ**

Необходимо определить фазовый состав фаянса по его химическому составу (таблица 3):

Таблица 3 - Химический состав фаянса, мас. %

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$K_2O$	$Na_2O$
74,15	18,45	0,36	0,68	1,26	0,88	2,84	1,38

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики: Учеб. пособие. – 2-е изд., стер./Гончаров Ю.И., Лесовик В.С., Гончарова М.Ю., Строкова В.В. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. -181 с.

2. Дудеров Ю.Г., Дудеров И.Г. Расчеты по технологии керамики; Справочное пособие. М. Стройиздат, 1973. -80 с.

## Практическая работа № 2

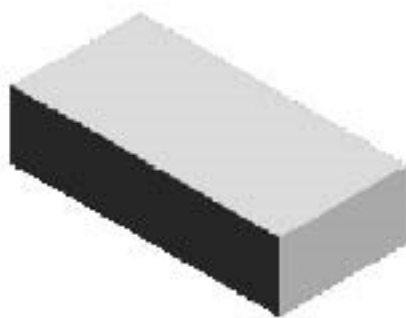
### Показатели качества керамического материала различных видов по ГОСТам.

#### КИРПИЧ

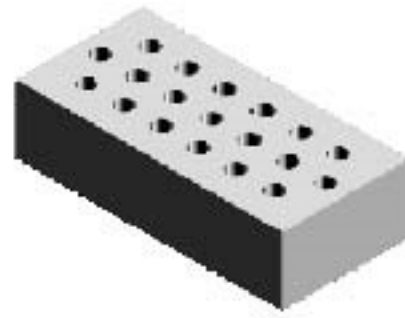
Основным строительным керамическим материалом является керамический кирпич. В зависимости от областей использования различают следующие виды керамического кирпича: кирпич и камень керамический по ГОСТ 530-2012 (ГОСТ 57347-2016), кирпич глиняный для дымовых труб по ГОСТ 8426-75, кирпич керамический клинкерный для мощения по ГОСТ 32311-2012, вариант особого кирпича кислотоупорного по ГОСТ 474-90.

Эксплуатационные характеристики каждого вида керамического материала зависят от структуры его черепка, которая зависит от состава шикты и технологии его получения.

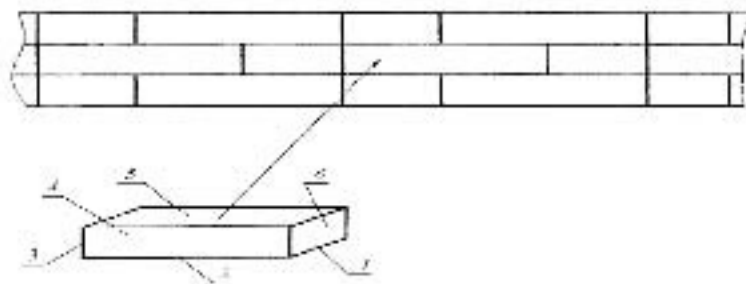
#### ГОСТ 530-2012 (ГОСТ 57347-2016)



Полнотельный кирпич



Кирпич с цилиндрическими пустотами



1 – ширина, 2 – длина, 3 – толщина, 4 – ложок, 5 – постель, 6 – тычек

Фрагмент кладки



## Прочность керамического кирпича

Таблица 1

Пределы прочности изделий при сжатии и изгибе Марка изделий полнотелого кирпича		Предел прочности при сжатии изделий, МПа				Предел прочности при изгибе, МПа			
		пустотелого кирпича формата менее 1,4 НФ				пустотелого кирпича формата 1,4 НФ			
Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца
M1000	100,0	80,0	>4,4	4,4	>3,4	3,4	>2,9	2,9	
M800			80,0			64,0			
M600			60,0			48,0			
M500			50,0			40,0			
M400			40,0			32,0			
M300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5	
M250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3	
M200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1	
M175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0	
M150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9	
M125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8	
M100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	0,7	

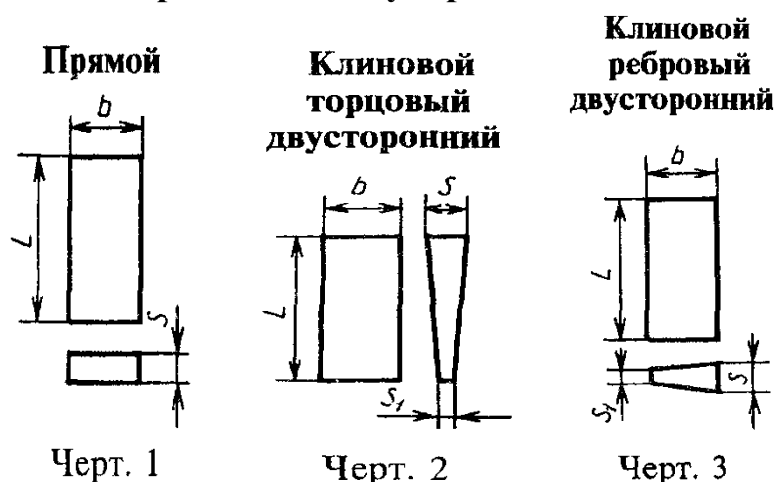
5.2.4 Водопоглощение изделий должно быть: не более 6,0 % – для клинкерного кирпича; не менее 6,0 % – для остальных изделий.

5.2.5 Скорость начальной абсорбции воды опорной поверхностью (постелью) изделий должна быть не менее 0,10 кг/(м<sup>2</sup>·мин) и не более 3,00 кг/(м<sup>2</sup>·мин) – у лицевых изделий, без ограничения максимального значения – у рядовых изделий.

5.2.6 Кислотостойкость клинкерного кирпича должна быть не менее 95,0 %.

5.2.7 Кирпич и камень должны быть морозостойкими и в зависимости от марки по морозостойкости в насыщенном водой состоянии должны выдерживать без каких-либо видимых признаков повреждений или разрушений – растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы (кроме отколов от известковых включений) – не менее 25; 35; 50; 75; 100; 200 или 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

## ГОСТ 474-90 Кирпич кислотоупорный

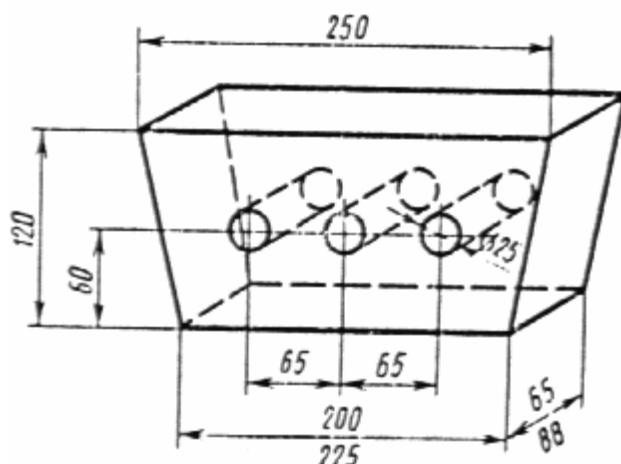


. По физико-техническим показателям кирпич должен соответствовать нормам, указанным в таблице 2

Физико-техническим показателям кирпич Таблица 2

Наименование показателя	Значение для кирпича				
	прямого, клинового и радиального класса			фасонного (слезника), класса	
	А	Б	В	А	Б
1. Водопоглощение, % не более	6,0	6,8	8,0	8,0	10,0
2. Кислотостойкость, % не менее	97,5	97,5	96,0	96,0	95,0
3. Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	55,0 (550)	50,0 (500)	35,0 (350)	40,0 (400)	30,0 (300)
4. Водопроницаемость (с обратной стороны не должно быть капель), ч	48	26	24	24	24
5. Термическая стойкость, (количество теплосмен)	3	3	2	2	2
6. Температурный коэффициент линейного расширения 10(-6)К(-1)	6,0-7,8	-	-	-	-
7. Коэффициент теплопроводности, Вт/м.х.К	0,9-1,16	-	-	-	-
8. Модуль упругости при 20° С, Ех10(4), МПа	1,7-3,4	-	-	-	-

## ГОСТ 8426-75 Кирпич глиняный для дымовых труб.



Кирпич в зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе подразделяется на пять марок и должен удовлетворять требованиям, указанным в таблице 3.

Прочность кирпича

Таблица 3

Марка кирпича	Предел прочности по сечению брутто, кгс/см <sup>2</sup> , не менее			
	при сжатии		при изгибе	
	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца
300	300	250	44	28
250	250	200	40	26
200	200	150	34	24
150	150	125	28	22
125	125	100	25	20

1.5. Искривление ребер и граней кирпича не должно превышать 3 мм.

1.6. Кирпич не должен иметь более двух отбитых или притупленных ребер и углов размером от 5 до 10 мм.

1.7. Трещины, кроме одной глубиной до 5 мм на всю толщину кирпича, не допускаются. При этом общее количество кирпича с такими трещинами не должно быть более 20 % в партии.

1.8. Недожог кирпича не допускается.

1.9. Известковые включения (дутики), вызывающие разрушение кирпича, не допускаются.

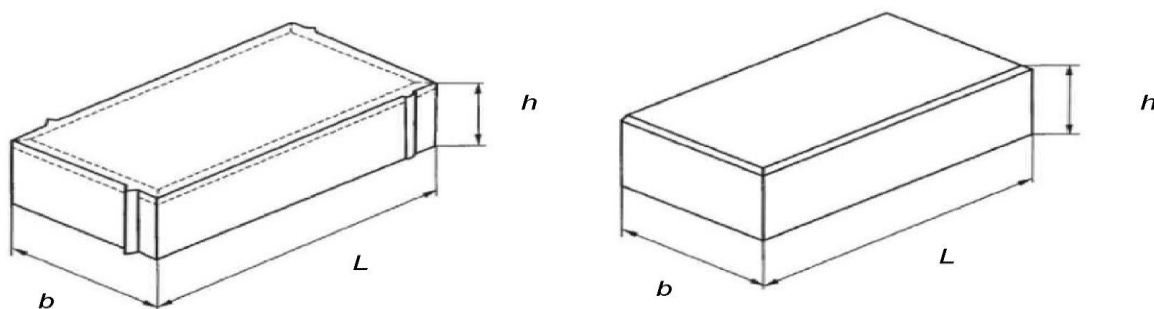
1.10. Водопоглощение кирпича, высушенного до постоянной массы, должно быть не менее 6 %.

1.11. По морозостойкости кирпич глиняный для дымовых труб подразделяется на три марки: Мрз 25, Мрз 35, Мрз 50.

В зависимости от марки по морозостойкости кирпич в насыщенном водой состоянии должен выдерживать без каких-либо признаков видимых повреждений (расслоение, шелушение, растрескивание, выкрашивание) не менее соответственно 25, 35 и 50 циклов переменного замораживания и оттаивания.

Потеря прочности образцов кирпича при сжатии после испытания его на морозостойкость не должна превышать 20 %.

### ГОСТ 32311-2012 Кирпич керамический клинкерный для мощения



L – длина, b – ширина, h – толщина

Рис. 3. Размеры клинкерного кирпича для мощения

#### Технические требования

1. Средняя плотность кирпича должна быть не менее  $2100 \text{ кг/м}^3$ ,
2. Предел прочности кирпича при изгибе должен быть не менее 7,5 Мпа.

(Предел прочности при изгибе не определяют для доборных и квадратных кирпичей и кирпича, длина которых менее 80 мм).

3. Водопоглощение кирпича при атмосферном давлении должно быть не более 2,5 %.

4. Морозостойкость не менее 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

5. Кислотостойкость кирпича должна быть не менее 95%.

6. Истираемость кирпича должна быть не более  $1,5 \text{ г/см}^2$ .

## Кирпич диатомитовый по ГОСТ 2694-78

Физико-технические свойства кирпича

Таблица 4

Наименования показателей	Нормы для изделий марок						
	ПД-350	ПД-400	Д-500	Д-600	ПД-350	ПД-400	Д-500
					высшей категории		
1. Плотность (объемная масса), кг/м <sup>3</sup> , не более	350	400	500	600	350	400	500
2. Теплопроводность, ккал/(ч·м·°С), не более, при средней температуре: 25±3 °С	0,072	0,082	0,090	0,100	0,068	0,078	0,085
300±5 °С	0,105	0,115	0,135	0,145	0,100	0,110	0,130
3. Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup> , не менее	6	8	6	8	8	9	8
4. Линейная температурная усадка при 900 °С, %, не более	2	2	2	2	1,5	1,5	1,5

## ГОСТ 379-95 Кирпич и камни силикатные

Технические требования в мегапаскалях (кгс/см<sup>2</sup>)

Показатели прочности кирпича

Таблица 5

Марка изделия	Предел прочности, не менее					
	при сжатии		при изгибе			
	всех изделий		Одинарного и утолщенного полнотелого кирпича		утолщенного пустотелого кирпича	
	средний для пяти образцов	наименьший из пяти значений	средний для пяти образцов	наименьший из пяти значений	средний для пяти образцов	наименьший из пяти значений
300	30,0 (300)	25,0 (250)	4,0 (40)	2,7 (27)	2,4 (24)	1,8 (18)
250	25,0 (250)	20,0 (200)	3,5 (35)	2,3 (23)	2,0 (20)	1,6 (16)
200	20,0 (200)	15,0 (150)	3,2 (32)	2,1 (21)	1,8 (18)	1,3 (13)
175	17,5 (175)	13,5 (135)	3,0 (30)	2,0 (20)	1,6 (16)	1,2 (12)
150	15,0 (150)	12,5 (125)	2,7 (27)	1,8 (18)	1,5 (15)	1,1 (11)
125	12,5 (125)	10,0 (100)	2,4 (24)	1,6 (16)	1,2 (12)	0,9 (9)
100	10,0 (100)	7,5 (75)	2,0 (20)	1,3 (13)	1,0 (10)	0,7 (7)
75	7,5 (75)	5,0 (50)	1,6 (16)	1,1 (11)	0,8 (8)	0,5 (5)

**Примечания:**

1 Предел прочности при изгибе определяют по фактической площади изделия без вычета площади пустот.

2 Марка по прочности лицевого кирпича должна быть не менее 125 лицевых камней - 100.

1. Прочность сцепления декоративного покрытия с поверхностью лицевых изделий должна быть не менее 0,6 МПа ( $6 \text{ кгс/см}^2$ ).

2. За марку по морозостойкости принимают число циклов попеременного замораживания и оттаивания, при которых в изделиях отсутствуют признаки видимых повреждений (шелушение, расслоение, выкрашивание и др.), а снижение прочности при сжатии не превышает 25 % для рядовых и 20 % для лицевых изделий.

3. Прочность сцепления декоративного покрытия с поверхностью изделия после испытания на морозостойкость должна быть не менее 0,6 МПа.

4. Водопоглощение изделий должно быть не менее 6 %.

5. Масса утолщенного кирпича в высушенном состоянии должна быть не более 4,3 кг.

**ЗАДАНИЕ**

Провести сравнительный анализ технических требований к различным видам керамического кирпича и в табличной форме сделать выписку по специфическим характеристикам каждого, по которым сделать вывод о структуре и фазовом составе керамического камня каждого вида кирпича.

Таблица 5

Вид кирпича	Технические требования					
	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Водопоглощение, %	Морозостойкость, цикл.	Теплопроводность, ккал/(ч·м·°С),	Прочее

**ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» и ГОСТ 57347-2016 «Кирпич керамический. Технические условия. /EN 771-1-2011.

2. ГОСТ 474-90 Кирпич кислотоупорный.

3. ГОСТ 8426-75 Кирпич глиняный для дымовых труб.

4. ГОСТ 32311-2012 Кирпич керамический клинкерный для мощения.

5. ГОСТ 2694-78 Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые. ТУ.

6. ГОСТ 379 – 95 Кирпич и камни силикатные

### Практическая работа № 3

#### Основы контроля структуры материалов. Методы кристаллографии.

Керамика – это поликристаллический материал. Наука, изучающая кристаллы называется кристаллография. Твердые тела, образованные в виде геометрически правильных многогранников называют кристаллами.

Элементами ограничения кристаллов являются:

- грани (плоскости);
- ребра (линии пересечения граней);
- вершины (точки пересечения ребер).

Основные свойства кристаллического вещества определяются его строением.

По характеру своего внешнего ограничения кристаллы разделяются на две группы:

- простые формы и
- сложные (комбинационные) формы.

*Простыми формами* называются такие многогранники, которые состоят из одинаковых граней, имеющих симметричное расположение. Примерами простых форм служат октаэдр, тетраэдр, куб.

*Сложные (комбинационные) формы* или *комбинации простых форм* представляют собой комбинацию в одном кристалле нескольких простых форм. В природе подавляющее большинство кристаллов представляет комбинацию простых форм.

Размеры кристаллов весьма разнообразны - от микроскопически мелких до очень крупных и даже гигантских. Геометрически правильная форма кристалла обусловлена его внутренним строением. Исследования кристаллических веществ показывают, что элементарные частицы (молекулы, атомы, ионы) любого кристаллического вещества закономерно располагаются в пространстве в виде кристаллической решетки (рис. 1).

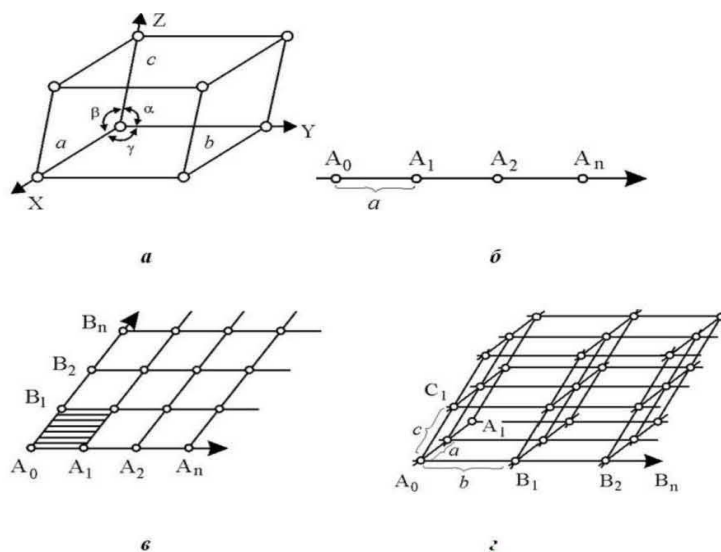


Рис. 1. Схема кристаллической решетки

а) элементарная ячейка; б) ряд пространственной решетки (узлы  $A_0-A_n$ );  
в) плоская сетка; г) пространственная решет

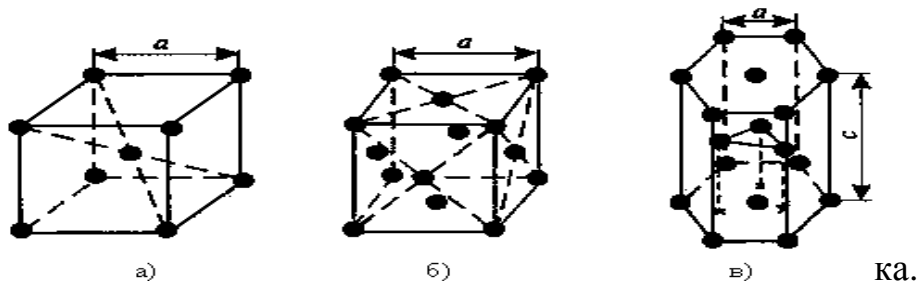
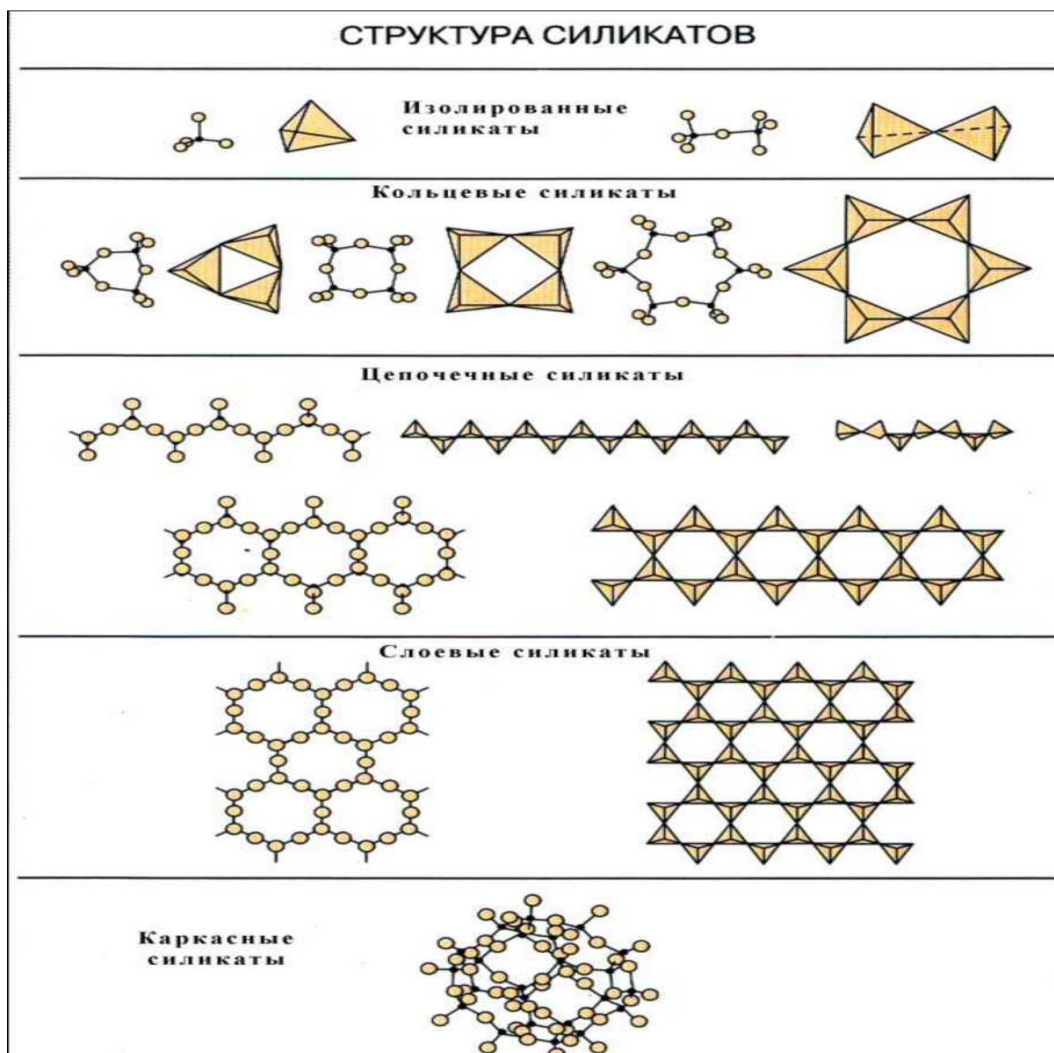
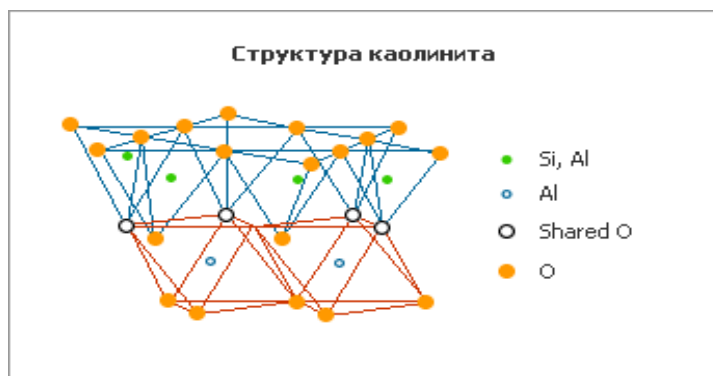


Рис. 2. Основные типы кристаллических решеток: а – объемно-центрированная кубическая; б– гранецентрированная кубическая; в – гексагональная плотноупакованная.

Силикаты относятся к наиболее распространенному классу минералов. По химическому составу они представляют собой соли различных кремниевых кислот ( $H_4SiO_4$ ,  $H_4Si_2O_6$  ...). В основе структуры силикатов лежит кремнекислородный тетраэдр (ККТ)  $[SiO_4]^{4-}$ . В *алюмосиликатах* кремний может замещаться алюминием не более, чем на 50%. Al может выступать в качестве катиона и входить в анионную группу.







У алюмосиликатов слоистая структура состоит из тетраэдров оксида кремния и октаэдров оксида алюминия.

Анализ кристаллической структуры наиболее просто осуществляется путем рассеяния рентгеновских лучей, квантов, электронов, протонов и нейтронов. При прохождении излучения через периодическую структуру кристалла происходит дифракция фронта волны.

#### Примеры решения задач

Известно, что устойчивой является лишь такая кристаллическая решетка, в которой меньший по размеру катион окружен более крупными анионами (посталат Мангуса). Для этих систем отношение радиусов ионов противоположного знака (координационное число)  $K = r_{\text{к}}/r_{\text{А}}$ , при которых возможно образование устойчивых структур с координационными числами 4, 6, 8 и 12.

От плотности упаковки атомов зависят основные свойства кристаллов.

Если координационное число равно четырем, то анионы располагаются по вершинам правильного тетраэдра, а катион - в его центре (рис.3, 4).

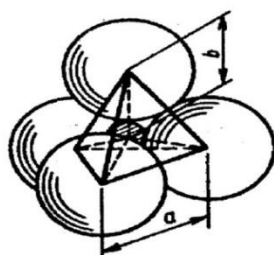


Рис. 3. Рисунок тетраэдра

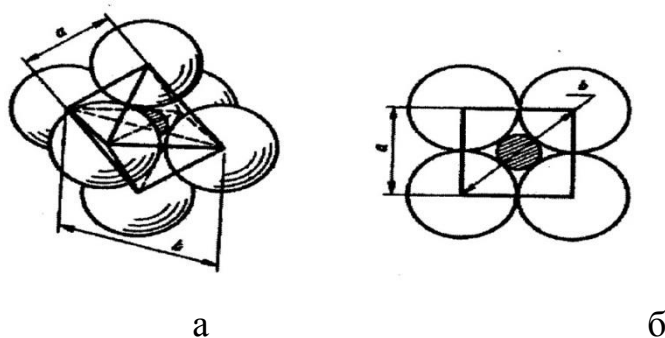


Рис. 4. Схема тетраэдра

Длина отрезка  $b$ , соединяющего вершину с центром тетраэдра, связана с длиной,  $a$  ребра соотношением  $b = a \sqrt{6}/4$ . В предельном случае для данной координации выполняются равенства:  $r_A + r_K = b$ ,  $r_A + r_A = a$ . Отсюда имеем :  $R_K = b - r_A = 2r_A \sqrt{6}/4 - r_A = 0,225 r_A$

При отношении ионных радиусов  $r_K / r_A < 0,225$  структура с координационным числом 4 становится неустойчивой, так как отталкивание анионов друг от друга сильнее их кулоновского притяжения к положительно заряженному иону.

Если координационное число равно шести (рис. 4,а) или восьми (рис. 5,а), то предельные отношения радиусов ионов можно найти из рис. 4, б и 5, б. При октаэдрическом окружении катиона (рис. 4, б)  $b = 2 ( r_A + r_K ) = a \sqrt{2} = \sqrt{2} ( r_A + r_A )$ , откуда  $r_K = r_A ( \sqrt{2} - 1 ) = 0,414 r_A$ .

Если координационное число равно восьми, то анионы располагаются по вершинам куба ( рис. 5, б ) и выполняются соотношения:

$$b = 2 ( r_A + r_K ) = a \sqrt{3} = \sqrt{3} ( r_A + r_A ),$$

откуда следует, что  $r_K = r_A ( \sqrt{3} - 1 ) = 0,732 r_A$ .

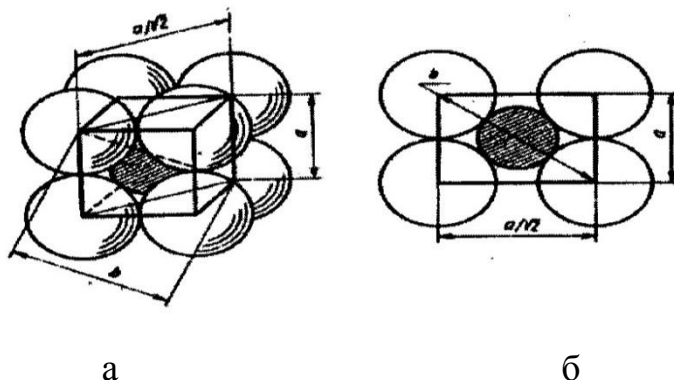


Рис. 5. Схемы куба

Кулоновское взаимодействие между ионами является ненаправленным и ненасыщенным. Ненасыщенность ионной связи проявляется в том, что каждый ион стремится приблизить к себе как можно больше противоположно заряженных ионов, т.е. образовать структуру с возможно более высоким координационным числом. Поэтому координационное число растет с увеличением размера катиона. Пределы изменения отношения радиусов ионов для структур с различным координационным числом приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Пределы изменения отношения радиусов ионов

Координационное число	4	6	8	12
$K = r_K/r_A$	$0,225 \leq K \leq 0,414$	$0,414 \leq K \leq 0,732$	$0,732 \leq K \leq 1,0$	1,0

Пример 1. Сколько атомов располагается на плоскости гранцентрированной кубической решетки (ГЦК)?

Решение примера 1.

Из рис.6 следует, что плоскость содержит 2 атома на площади грани элементарной ячейки, так как узловые атомы принадлежат другим элементарным ячейкам.

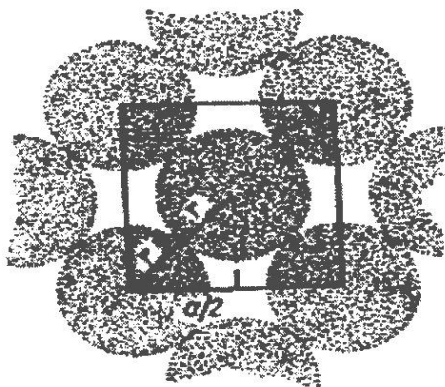


Рис. 6. Поверхностная плотность г.ц.к. решетки.

### ЗАДАЧИ

1. Нарисуйте поверхностные плоскости простой, объемно-центрированной, гранцентрированной кубической решеток.

2. Определить, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, объемно-центрированной, гранцентрированной кубической и гексагональной плотноупакованной решетке.

2. В чем состоят различия между монокристаллами, поликристаллическими и аморфными веществами?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики: Учеб. пособие. – 2-е изд., стер./Гончаров Ю.И., Лесовик В.С., Гончарова М.Ю., Строкова В.В. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. -181 с.

2. Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы - Санкт - Петербург." Лань". 2001. - 208 с.

## Практическая работа № 4

**Знакомство с основными методами контроля структуры керамических материалов, сравнительный анализ общих методов исследования.**

**Установление степени чистоты минерала по величине его потерь массы при прокаливании**

Пример:

Требуется определить качество (степень чистоты состава) глуховецкого каолина по его химическому составу (таблица 4.1.):

Таблица 4.1. - Химический состав глуховецкого каолина, мас. %:

$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$K_2O$	$A^m_{прк.}$
46,60	28,50	0,58	0,40	0,26	0,20	13,46

Решение:

Химическая формула каолинита  $Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$ .

Теоретический химический состав каолинита следующий (мас. %):

$Al_2O_3$  - 39,5;  $SiO_2$  - 45,6;  $H_2O$  ( $A_{тнК}$  - 13,9).

$$96,8\% \text{ Чистота каолинита} = \frac{\%A_{тнК} \text{ природного каолина} \cdot 100}{\%A_{тнК} \text{ каолинита (химически чистого)}} = \frac{13,46 \cdot 100}{13,9}$$

Таким образом, установлено, что чистота каолина составляет 96,8 %, т.е. в природном каолине содержится 96,8 % минерала каолинита, а 3,2 % приходится на примеси неглинистых минералов (кварца, железистых минералов, полевых шпатов и др.)

### ЗАДАНИЕ

Определите степень чистоты следующих минералов (таблица 4.2.)

Химический состав глуховецкого каолина, мас. %: Таблица 4.2.

Названиение минерала	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$R_2O$	Про- чее	$A^m_{прк.}$
Нефелино вый сиенит	44,37	29,66	3,30	2,20	0,43	19,61	0,07	0,36
Тальк	62,20	0,52	1,22	0,11	31,20	-	0,28	4,47
Воласто- нит	52,30	0,59	0,87	41,35	1,03	0,26	0,17	1,33
Гранит	65,70	15,08	5,36	4,20	1,60	6,29	0,45	1,32

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дудеров Ю.Г., Дудеров И.Г. Расчеты по технологии керамики: Справочное пособие. – М. Стройиздат, 1973. 80 с.

### **Практическая работа № 5**

#### **Методика отбора и подготовки средней пробы сырьевых материалов.**

Согласно ГОСТ 21216-2014 Методы испытаний отбор и подготовка проб глинистого сырья проводят по ГОСТ 32026-2012.

**Определение разброса показаний содержания крупнозернистых включений в пробе глинистого сырья из карьера глины.**

Метод основан на определении содержания в глинистом сырье крупнозернистых включений размером более 0,5 мм после промывания пробы с последующим рассевом на ситах и оценке их вещественного состава.

Сущность метода заключается в определении равномерности состава глинистого сырья на карьере глины и необходимости ее усреднения.

#### **Цель работы**

Определить содержание в глинистом сырье крупнозернистых включений размером более 0,5 мм в выборке глины из карьера и оценить разброс показаний.

#### **Рабочее задание**

На трех пробах глины из выборки глинистого сырья из карьера определить содержание крупнозернистых включений. Сравнить данные с усредненной пробой.

#### **Оборудование**

Электронные весы с точностью до  $\pm 0,01$  г, фарфоровая ступка с пестиком, сито № 0,5, 1, 2, лупа, эксикатор, емкости для замачивания глины 4 шт, сушильный шкаф, кислота соляная 10%, линейка металлическая до 100 мм, выборка глины 5 кг.

#### **Указания по выполнению эксперимента**

Основная задача определить разброс количества и качества включений в выборку глинистого сырья и цель создания средней пробы.

Из выборки глинистого сырья отобрать по 500 г. 3 пробы глинистого сырья. Размолоть в ступке и просеять через комплект сит 1; 0,5. Сито с остатком помещают под струю воды, предварительно отрегулировав ее так, чтобы не было разбрызгивания. Остаток промывают до тех пор, пока вода, прошедшая через сито, не станет прозрачной. Остаток на сите смывают водой в чистую, предварительно высушенную до постоянной массы и взвешенную выпарительную чашку, сушат при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы в сушильном шкафу, охлаждают и взвешивают. В

высушенном остатке определяют общее количество крупнозернистых включений и их вещественный состав.

В каждом остатке визуально определяют наличие и виды включений, их вещественный состав и размер зерен. Кварц, кальций, гипс определяют по твердости, блеску и спайности. Пирит, марказит, сидерит и гидроксиды железа определяют по цвету, металлическому блеску и бурому ореолу в природном состоянии или после травления кислотой; растительные остатки определяют по цвету и внешнему виду.

Карбонаты кальция определяют по выделению углекислого газа при обработке сухого остатка соляной кислотой.

Размер зерен более 2 мм измеряют металлической линейкой. При необходимости определяют вещественный состав зерен с помощью лупы.

Массовую долю крупнозернистых включений на каждом сите  $X$ , %, вычисляют по формуле

$$X = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100,$$

где  $m_1$  - масса чашки с сухим остатком, г;

$m_2$  - масса чашки, г;  $m$  - масса исходной навески, г.

Результаты испытаний заносят в таблицу 1.

Таблица 1

№ пробы	Остаток на сите, г				Вид включений
	более 2	от 1 до 2	от 1 до 0,5	менее 0,5	

Расхождение результатов двух параллельных испытаний не должно превышать 2% при содержании крупнозернистых включений более 10% и 1% - при содержании крупнозернистых включений менее 10%.

Если расхождение результатов двух параллельных испытаний превышает указанные значения, испытания повторяют.

После заполнения таблицы построить гистограммы распределения включений в глинистую выборку с отметкой вида включений. Сделать выводы по средней пробе глинистого сырья.

### Указания по обработке результатов эксперимента

#### Содержание отчета

По результатам выполненной работы каждый студент оформляет отчет и предъявляет его преподавателю на очередном занятии.



Отчет должен содержать:

- краткое описание работы;
- обработку результатов эксперимента в табличной форме;
- анализ результатов и выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. По какому ГОСТу проводят испытания глин?
2. По какому ГОСТу проводят отбор средней пробы?
3. Как проводят определение крупнозернистых включений?

### **Литература**

1. ГОСТ 21216-2014. Сырье глинистое. Методы испытания.
2. ГОСТ 32026- 2012. Сырье глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка.

## **Практическая работа № 6**

### **Определение водозатворяемости шихты и чувствительности керамической массы к сушке.**

Согласно ГОСТ 21216-2014 Методы испытаний отбор и подготовка проб глинистого сырья проводят по ГОСТ 32026-2012.

**Определение разброса показаний содержания крупнозернистых включений в пробе глинистого сырья из карьера глины.**

Чувствительность керамической массы к сушке по методу А.Ф. Чижевского проводят согласно ГОСТ 21216-2014 Методы испытаний.

Метод основан на определении продолжительности воздействия в секундах тепловым потоком на свежесформованный образец до момента возникновения на нем трещин и посечек. В процессе приготовления образцов для испытания на чувствительность к сушке определяют водозатворяемость (формовочную влажность) шихты.

### **Цель работы**

Определить чувствительность керамической массы к сушке и количество воды, пошедшее на увлажнение шихты для получения нормальной пластичности теста (водозатворяемости).

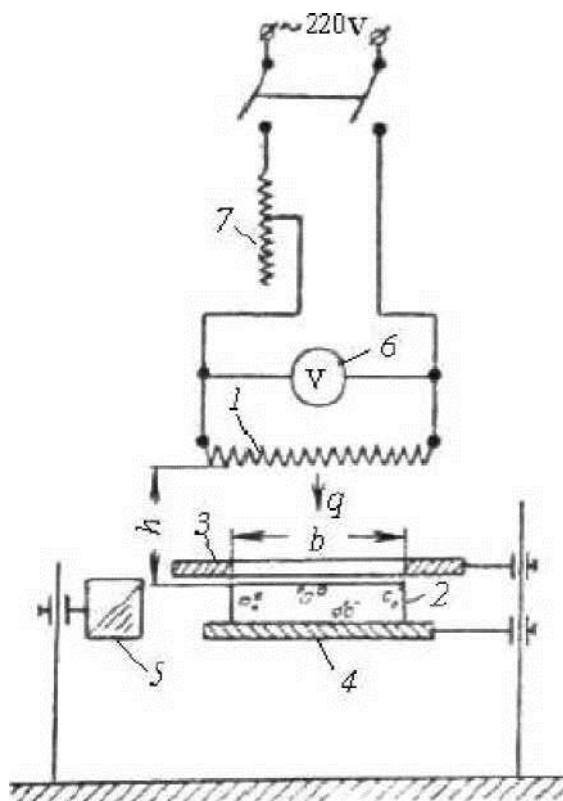
### **Рабочее задание**

На основе бентонитовой глины приготовить три состава шихты с 2, 6, 9% добавкой кварцевого песка. Определить количество воды, пошедшее на получение пластичного теста. Построить зависимость водозатворяемости и чувствительности шихты к сушке в зависимости от количества отощителя-песка.

### **Оборудование**

Электронные весы с точностью до  $\pm 0,01$  г, фарфоровая ступка с пестиком, сито № 1, форма с выдавливанием для формования образцов квадратного сечения размером 55x55x10 мм, шпатель, бюксы, эксикатор, секундомер, термометр по ГОСТ 13646, установка для

определения чувствительности глин к сушке (см. рисунок 1), излучатель (электродплитка с закрытой спиралью мощностью 800 Вт), реостат, глина 5 кг.



$b$  – размер отверстия экрана,  $g$  – тепловой поток

Рис. 1. Схема установки для определения чувствительности глинистого сырья к сушке.

1 - электрический излучатель, 2 - образец, 3 - экран с отверстием, 4 - подъемный столик, 5 - зеркало для осмотра, 6 - вольтметр, 7 - реостат

#### Указания по выполнению эксперимента

Навеску глинистого сырья массой 500 г высушивают при температуре не выше  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, измельчают и просеивают через сито с сеткой N 1. Готовят шихты с добавлением песка в количестве 2, 6, 9%, добавляют воду в количестве, необходимом для образования глиняной массы формовочной влажности.

Глиняную массу перемешивают до полной однородности, устранения пузырьков воздуха и оставляют на 24 ч в закрытом эксикаторе для равномерного распределения влаги.

Из приготовленной глиняной массы формируют в металлических формах образцы-плитки размерами 55x55x10 мм.

Образец устанавливают на столик 4 под электрический излучатель 1, одновременно включают секундомер и с помощью зеркала 5 ведут наблюдение за образцом. Секундомер выключают при появлении на образце трещин и (или) посечек. Расстояние между электрическим излучателем и образцом должно быть 60 мм. Для предотвращения попадания теплового



потока на столик между электрическим излучателем и столиком помещают экран 3.

При проведении испытания с помощью реостата поддерживают постоянное напряжение тока, обеспечивающее на уровне образца температуру 200 °С и тепловой поток мощностью 9000-10000 ккал/м<sup>2</sup> ч.

Все результаты заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

№ состава	Состав шихты	Водозатворяемость	Время сушки	Характеристика шихты

### **Обработка результатов**

Продолжительность температурного воздействия на образец в секундах до появления трещин и посечек определяют как среднеарифметическое значение результатов испытаний трех образцов.

Оценку чувствительности глин к сушке проводят по следующей шкале:

- высокочувствительные глины - менее 100 с;
- среднечувствительные глины - 100-180 с;
- малочувствительные глины - более 180 с.

### **Указания по обработке результатов эксперимента**

После заполнения таблицы построить график зависимости водозатворяемости и чувствительности к сушке от процента добавки песка. Сделать выводы по экспериментальной работе.

### **Содержание отчета**

По результатам выполненной работы каждый студент оформляет отчет и предъявляет его преподавателю на очередном занятии.

Отчет должен содержать:

- краткое описание работы;
- обработку результатов эксперимента в табличной форме;
- анализ результатов и выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Что понимают под водозатворяемостью?
2. Что понимают под чувствительностью к сушке?
3. Как проводят измерения чувствительности к сушке?
4. Как классифицируют массы по чувствительности к сушке?
5. Как можно регулировать чувствительность глины к сушке?

### **Литература**

1. ГОСТ 21216-2014. Сырье глинистое. Методы испытания.

## **Практическая работа № 7**

### **Изучение дефектов различных керамических материалов.**

Дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Для каждого вида керамического материала в

ГОСТе оговорены нормативные требования к качеству материала, в котором имеются сведения о недопустимости или ограничению видов дефектов материала.

Для сравнения видов нормативных дефектов основных классов керамических строительных материалов в таблицах 1, 2, 3, приведены сведения о недопустимых дефектах следующих материалов: кирпич и камень строительный, черепица, плитка, клинкер для мощения дорог.

Таблица 1

Дефекты внешнего вида кирпича по ГОСТ 530-2012

Вид дефекта	Значение	
	Лицевые изделия	Рядовые изделия
Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной более 15 мм, шт	Не допускаются	4
Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной не более 15 мм, шт	2	Не регламентируются
Отдельные посечки суммарной длиной не более, мм: - для кирпича - для камня	40 80	Не регламентируются
Трещины, шт	Не допускаются	4

Таблица 2

Дефекты кирпича клинкерного для мощения по ГОСТ 32311-2012

Вид дефекта	Значение
Сквозные трещины	Не допускаются

Таблица 3

Дефекты внешнего вида черепицы по ГОСТ 56688-2015

Вид дефекта	Значение
Отбитости на кроющей поверхности	Не допускаются
Отбитости на перекрывающей поверхности длиной не более 30 мм	Допускаются не более 2
Трещины	Не допускаются
Отколы от известняков и пирита	Не допускаются
Отклонения от прямолинейности	Не допускаются

**Указания по обработке результатов эксперимента**

После заполнения таблицы построить график зависимости водозатворяемости и чувствительности к сушке от процента добавки песка. Сделать выводы по экспериментальной работе.

## Содержание отчета

По результатам выполненной работы каждый студент оформляет отчет и предъявляет его преподавателю на очередном занятии.

Отчет должен содержать:

- краткое описание работы;
- обработку результатов эксперимента в табличной форме;
- анализ результатов и выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Что понимают под водозатворяемостью?
2. Что понимают под чувствительностью к сушке?
3. Как проводят измерения чувствительности к сушке?
4. Как классифицируют массы по чувствительности к сушке?
5. Как можно регулировать чувствительность глины к сушке?

## Литература

1. ГОСТ 21216-2014. Сырье глинистое. Методы испытания.

## Практическая работа № 8.

**ПЗ-8. Знакомство с методами анализа зернового состава и дисперсности сырьевых материалов.**

**Определение зернового состава глинистого сырья по методу.**

С помощью метода Рутковского при оценке зернового состава выделяют три основные фракции:

- глинистую* - с размером частиц менее 5 мкм (0,005 мм),
- пылеватую* - с размером частиц 5 - 50 мкм (0,005 - 0,05 мм),
- песчаную* - с размером частиц от 50 мкм и более (0,05 - 2) мм.

## Цель работы

Приобретение практических навыков определения гранулометрического состава глинистого сырья.

## Предварительное задание

Самостоятельно изучить теоретические материалы по физико-механическим исследованиям глинистого сырья, изложенным в [1], ответить на контрольные вопросы.

## Рабочее задание

Определить гранулометрический состав огнеупорной глины, суглинка, диатомита (содержание глинистых, песчаных и пылеватых частиц) по заданию руководителя.

## Оборудование

Деревянная скалка, молоток, сито с диаметром отверстий 1,25 мм, мерный цилиндр на 100 см<sup>3</sup>, стеклянная палочка, раствор CaCl<sub>2</sub> (5,5 г CaCl<sub>2</sub> на 100 см<sup>3</sup> воды).

## Указания по выполнению эксперимента

Основная задача анализа – определить количественное содержание частиц разных размеров в процентах от массы исследуемой пробы, что характеризует гранулометрический зерновой состав глинистой породы, от которого зависят такие важные характеристики свойств глинистого сырья, как пластичность, усадка, набухание и т.д.

Существует несколько методов определения гранулометрического состава глин, которые можно разделить на две группы: прямые и косвенные.

Прямые методы - позволяют непосредственно установить размер и содержание частиц, слагающих породу. К ним относятся: ситовый метод, где используется набор сит с разным размером отверстий; метод подсчета частиц различных размеров под микроскопом; электронно-микроскопический с обработкой микрофотографий.

Косвенные методы - позволяют установить размеры частиц по какому-либо косвенному признаку: массе, скорости оседания частиц в воде или в другой жидкости, способности к набуханию, отражению света и т.д.

В данном пособии приводится наиболее простой и чаще применяемый в практике косвенный метод исследования глинистого сырья - метод Рутковского. Он основан на способности глинистых частиц набухать в воде и на различной скорости падения частиц в воде в зависимости от их размера (седиментометрии, или скорости осаждения).

Минеральный состав глин представлен глинистой частью (каолинитом, монтмориллонитом, гидрослюдой и др.) и примесями (кварцем, полевым шпатом, карбонатами, гипсом, пиритом, растворимыми солями, органическими включениями и др.). При взаимодействии с водой способны набухать только минералы глинистой части.

С помощью метода Рутковского можно выделить три основные фракции: глинистую – с размером частиц менее 5 мк (менее 0,005 мм); пылеватую – с размером частиц 5-50 мк (0,005-0,05 мм); песчаную – с размером частиц от 50 мк и более (0,05-2 мм).

Для проведения анализа каждый студент должен:

- отобранные и описанные в лабораторной работе № 1 пробы глинистого сырья подготовить к анализу;
- приготовить раствор коагулятора ( $\text{CaCl}_2$ );
- приготовить глинистую суспензию к набуханию;
- провести гранулометрическое описание проб.

**Содержание глинистых частиц**, т.е. частиц размером менее 5 мк, определяют методом, основанным на способности глинистых частиц набухать в воде.

Проба сухой глины (около 100 г) дробится деревянной скалкой или молотком и просеивается через сито с диаметром отверстий 1,25 мм. Затем глина высыпается в мерный цилиндр вместимостью 100 см<sup>3</sup> и уплотняется постукиванием цилиндра 15-16 раз о мягкое основание (ладонь, книга). Объём уплотненной глины в цилиндре должен быть 10 см<sup>3</sup>. Потом проба

разрыхляется, доливается водой до метки 50-60 см<sup>3</sup> и перемешивается стеклянной палочкой с резиновым наконечником до тех пор, пока на стенах цилиндра не исчезнут мазки глины. К полученной суспензии добавляют 2,5-3 см<sup>3</sup> раствора CaCl<sub>2</sub> (5,5 г на 100 см<sup>3</sup> воды) в качестве коагулятора. Затем суспензия доливается водой до метки 100 см<sup>3</sup> и отстаивается 1-2 суток. После отстаивания замеряется объем осадка в цилиндре и вычисляется приращение  $K$  см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>, объема пробы на 1 см<sup>3</sup> первоначального объема по формуле:

$$K = \frac{V - V_0}{V_0},$$

где  $V_0$  – первоначальный объем глины в цилиндре 10 см<sup>3</sup>;  $V$  – объем глины после отстаивания, см<sup>3</sup>.

Содержание глинистых частиц  $A_{\text{гл}}$ , % вычисляется по эмпирической формуле:  $A_{\text{гл}} = 22,7 K$ , где  $K$  – приращение объема на 1 см<sup>3</sup> первоначального объема глины, см<sup>3</sup>.

Затем на этой же пробе определяют содержание песчаных частиц.

**Содержание песчаных частиц.** Метод определения количества песчаных частиц основан на различной скорости падения частиц в воде в зависимости от их размера.

Проба после определения содержания глинистых фракций взбалтывается стеклянной палочкой, полученная суспензия отстаивается в течение 90 с, а мутная вода сливается примерно до отметки 40 см<sup>3</sup>.

Отмучивание повторяется до тех пор, пока вода не станет прозрачной. Затем в цилиндр наливается вода, отстаивается 5 мин, измеряется объем осевшего песка и вычисляется его количество в процентах. 1 см<sup>3</sup> осевшего песка соответствует 10% его содержания в пробе. Например, при осадке 1,2 см<sup>3</sup> содержание песчаных частиц  $A_{\text{песч}} = 1,2 \cdot 10 = 12$  %.

**Содержание пылеватых частиц.** Вычисляется по разности между 100% и суммой процентного содержания глинистых и песчаных частиц:

$$A_{\text{пыл}} = 100 - A_{\text{гл}} - A_{\text{песч}}$$

**Тип глины по гранулометрическому составу.** Полученные данные гранулометрического состава наносят на тройную диаграмму «глина - пылеватые частицы - песок» и по найденной на диаграмме точке определяют тип глины или суглинка (рис.1).

Рис.1. Тройная диаграмма «глина - пылеватые частицы - песок»

Построение диаграммы основано на известном свойстве равностороннего треугольника: сумма перпендикуляров, опущенных из любой точки внутри треугольника на его стороны, равна высоте треугольника. Следовательно, состав любой системы, состоящей из трех компонентов, можно изобразить точкой, лежащей внутри треугольника. Для нахождения точки, соответствующей характеристике данной породы и состоящей из глинистых, песчаных и пылеватых частиц, на сторонах треугольника отмечают процентное содержание каждого компонента глинистого сырья, проводят линии, параллельные основаниям треугольника

и отмечают точку. Точка пересечения этих линий определяет тип глинистой породы.

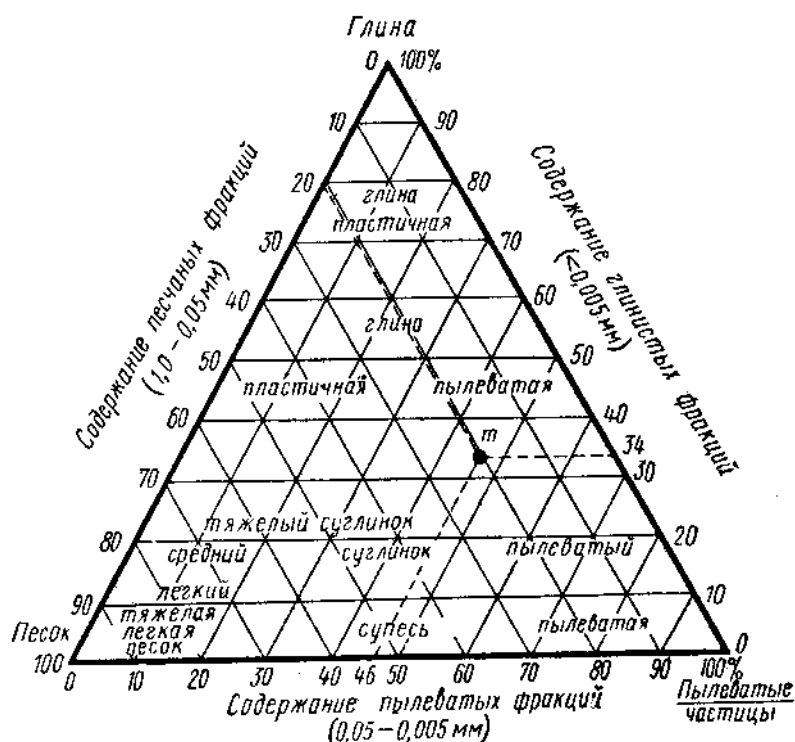


Рис. 1. Тройная диаграмма распределения фракций «глинистые – пылеватые – песчаные»

Недостатком определения зернистого состава по методу Рутковского является прямо пропорциональная зависимость между набуханием и содержанием глинистых частиц в породе. В действительности набухание глины зависит не только от количества глинистых частиц, но и от минимального состава глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит, гидрослюды). Физический смысл такого явления связан со строением глинистых минералов. Кристаллическая решетка глинистых минералов относится к типу слоистых, причем некоторые минералы (типа каолинита) имеют асимметрическое строение пакета, т.е. на одной стороне пакета расположены водородные ионы, на другой – ионы кислорода. Примыкая слоями, такие пакеты связываются друг с другом достаточно прочно, поэтому вода очень слабо проникает между слоями монокристалла каолинита, не увеличивая межплоскостные расстояния, и в основном адсорбируется на поверхности слоев. Другие минералы (типа монтмориллонита) имеют симметрическое строение пакета, т.е. на обеих поверхностях его расположены ионы кислорода, поэтому между пакетами имеется очень слабая связь и вода, проникая туда, расширяет кристаллическую решетку минерала. Поэтому при одинаковом содержании глинистых частиц монтмориллонитовые глины набухают в большей степени, чем другие.

## Указания по обработке результатов измерений

Результаты определений гранулометрического состава заносятся в табл.1 и на рис.1.

Таблица1

Гранулометрический состав сырья

№ п/п	На- чаль- ный объ- ем, см <sup>3</sup>	Объем глины после набуха- ния, см <sup>3</sup>	При- раще- ние объ- ема, см <sup>3</sup>	Коли- чество гли- нис- тых частиц, %	Объем песча- ных частиц, см <sup>3</sup>	Коли- чество песча- ных частиц, %	Коли- чество пыле- ватых частиц, %	Тип гли- нистого сырья по грануло- метри- ческому составу
-------	--	--	--	--------------------------------------	--	-----------------------------------	------------------------------------	---

### Выводы

В выводах даются рекомендации по областям использования глин.

### Содержание отчета

По результатам выполненной работы каждый студент оформляет отчет и предъявляет преподавателю.

Отчет должен содержать:

- краткое описание работы,
- результаты эксперимента в таблице и на диаграмме;
- анализ результатов и выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. По какому ГОСТу оценивается глинистое сырье по гранулометрическому составу?
2. Какие существуют методы определения гранулометрического состава глин?
3. Какие фракции можно выделить методом Рутковского?
4. Что является причиной набухания глинистой фракции?
5. Какие глинистые минералы способны к набуханию и почему?

### Библиографический список

1. ГОСТ 21216 – 2014. Сырье глинистое. Методам испытания.

## Содержание

Введение.....	3
Практическая работа № 1.....	4
Практическая работа № 2.....	8
Практическая работа № 3.....	15
Практическая работа № 4.....	20
Практическая работа № 5.....	21
Практическая работа № 6.....	23
Практическая работа № 7.....	25
Практическая работа № 8.....	27
Содержание.....	32