




ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Строительные материалы»

Практикум

к лабораторной работе по учебным дисциплинам
«Строительные материалы»,
«Материаловедение», «Архитектурно-
реставрационное материаловедение»,
«Архитектурное материаловедение»
для обучающихся по всем направлениям
подготовки

«Методы определения основных физических свойств строительных материалов»



Авторы
Каклюгин А.В.,
Трищенко И.В.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания содержат описание методик определения основных физических свойств строительных материалов: их средней плотности (путем испытания образцов правильной и неправильной геометрической формы), истинной плотности, пористости и водопоглощения, а также формы таблиц, предназначенных для заполнения в процессе выполнения лабораторной работы.

Предназначены для обучающихся по очной и заочной форме по всем направлениям подготовки при изучении дисциплин «Строительные материалы», «Материаловедение», «Архитектурно-реставрационное материаловедение», «Архитектурное материаловедение».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры "СМ" Каклюгин А.В.,
к.т.н., доцент кафедры "СМ" Трищенко И.В.





Оглавление

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА.....	6
2.1 Понятие средней плотности	6
2.2 Определение средней плотности материала испытанием образцов правильной геометрической формы	6
2.3 Определение средней плотности пористых материалов испытанием образцов неправильной геометрической формы	9
2.4 Определение истинной плотности материала	14
2.5 Определение пористости	17
2.6 Определение водопоглощения.....	18
2.7 Контрольные вопросы.....	22
Библиографическое описание	22

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Свойство – способность материала определенным образом реагировать на действие одного или нескольких внутренних или внешних факторов. Совокупность свойств, определяющих пригодность материалов для использования по назначению, характеризует их **качество**. Чтобы правильно выбрать материал, спроектировать и построить здание, необходимо знать свойства и качество применяемых материалов.

Свойства строительных материалов (иначе их называют техническими характеристиками или показателями назначения) зависят от особенностей их строения, а также от свойств тех веществ, из которых данный материал состоит. В свою очередь, строение материала зависит: для природных материалов – от их происхождения и условий образования, для искусственных – от технологии производства и обработки материала.

Свойства материала всегда оценивают числовыми характеристиками, которые устанавливают путем лабораторных испытаний специально подготовленных образцов с помощью соответствующего оборудования. Для получения сопоставимых данных, которыми можно воспользоваться при расчете конструкций, испытания обязательно проводят единообразно, в строгом соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов (государственных стандартов или технических условий).

Каждый материал обладает комплексом разнообразных свойств, определяющих область его рационального применения и возможность сочетания с другими материалами. Свойства строительных материалов подразделяют на физические, механические, химические и физико-химические, которые, в свою очередь, определяют их технологические и эксплуатационные свойства. Свойства материалов не всегда остаются стабильными, а в большинстве случаев изменяются под воздействием различных механических, физических и химических факторов.

Цель настоящей лабораторной работы – ознакомить студентов с основными правилами определения свойств строительных материалов, характеризующих особенности их физического состояния (средняя и истинная плотности, пористость), а также некоторых свойств, определяющих их отношение к водной среде (водопоглощение, капиллярное всасывание, коэффициент насыщения пор водой).

В последующих лабораторных работах будут изучены мето-



ды экспериментальной оценки различных свойств строительных материалов конкретных видов.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА

2.1 Понятие средней плотности

Средняя плотность - масса единицы объема материала в естественном состоянии (т.е. с порами и пустотами). Среднюю плотность, ρ_{cp} , кг/м³ (г/см³), рассчитывают по формуле

$$\rho_{cp} = \frac{m}{V_e}, \quad (1)$$

где m – масса образца, кг (г);

V_e – объем образца в естественном состоянии, м³ (см³).

Среднюю плотность определяют путем испытания образцов материала в состоянии естественной влажности или в нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, нормальном, водонасыщенном.

В настоящей лабораторной работе предусмотрено определение средней плотности строительных материалов в воздушно-сухом состоянии.

Образцы предварительно подготавливают к испытаниям: очищают их от пыли и рыхлых частиц и выдерживают не менее 10 сут в помещении при температуре (25 ± 10) °С и относительной влажности воздуха (50 ± 20) %.

Методика определения средней плотности зависит от формы испытываемого образца: правильной или неправильной геометрической формы.

2.2 Определение средней плотности материала испытанием образцов правильной геометрической формы

Аппаратура (должна соответствовать требованиям нормативно-технической документации на строительный материал конкретного вида):

- весы лабораторные технические;
- штангенциркуль.

Проведение испытаний. Испытания проводят на образ-

цах-кубах или цилиндрах.

Массу образца m , г, определяют путем его взвешивания.

С помощью штангенциркуля измеряют геометрические размеры образцов, см:

- у куба – длину a , ширину b и высоту h ;
- у цилиндра – диаметр d и высоту h .

Геометрические размеры образцов измеряют согласно схеме, представленной на рисунке 1.

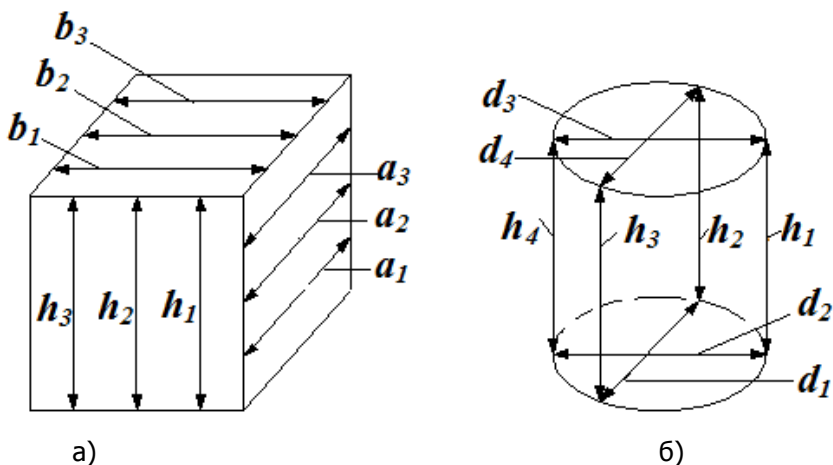


Рисунок 1 – Схема измерения геометрических размеров образцов: куба (а), цилиндра (б)

Длину, ширину и высоту куба измеряют в трех местах: по параллельным друг другу ребрам и средней между ними линии (посередине замеряемой грани).

За окончательный результат по каждому линейному размеру принимают среднее арифметическое значение.

$$a_{cp} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}, \quad (2)$$

$$b_{cp} = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3}, \quad (3)$$

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}, \quad (4)$$

где a_{cp} , b_{cp} , h_{cp} – среднее арифметическое значение соответственно длины, ширины и высоты куба, см;

a_1 , a_2 , a_3 – фактические значения длины соответственно в первом, втором, третьем замерах, см;

b_1 , b_2 , b_3 – то же, ширины куба, см;

h_1 , h_2 , h_3 – то же, высоты куба, см.

Средние арифметические значения геометрических размеров образца-куба используют в расчете его объема в естественном состоянии V_e , см³.

$$V_e = a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot h_{cp}. \quad (5)$$

Диаметр цилиндра измеряют четыре раза: по два взаимно перпендикулярных диаметра на верхнем и нижнем основании (d_1, d_2 и d_3, d_4). По результатам замеров рассчитывают среднее арифметическое значение диаметра d_{cp} , см.

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4}. \quad (6)$$

Высоту измеряют по образующим цилиндра, проходящим через точки пересечения выбранных диаметров с окружностью. По результатам замеров рассчитывают среднее арифметическое значение высоты h_{cp} , см.

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}, \quad (7)$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – фактические значения высоты соответственно в первом, втором, третьем, четвертом замерах, см.

Средние арифметические значения диаметра и высоты цилиндра используют для определения его объема в естественном состоянии V_e , см³.

$$V_e = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} h_{cp}, \quad (8)$$

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 1 и по формуле (1) рассчитывают среднюю плотность ρ_{cp} испытанного материала.

2.3 Определение средней плотности пористых материалов испытанием образцов неправильной геометрической формы

Аппаратура и вспомогательные материалы (должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации на материал):

- весы технические коромысловые;
- стеклянный сосуд с водой;

Таблица 1 – Результаты определения средней плотности

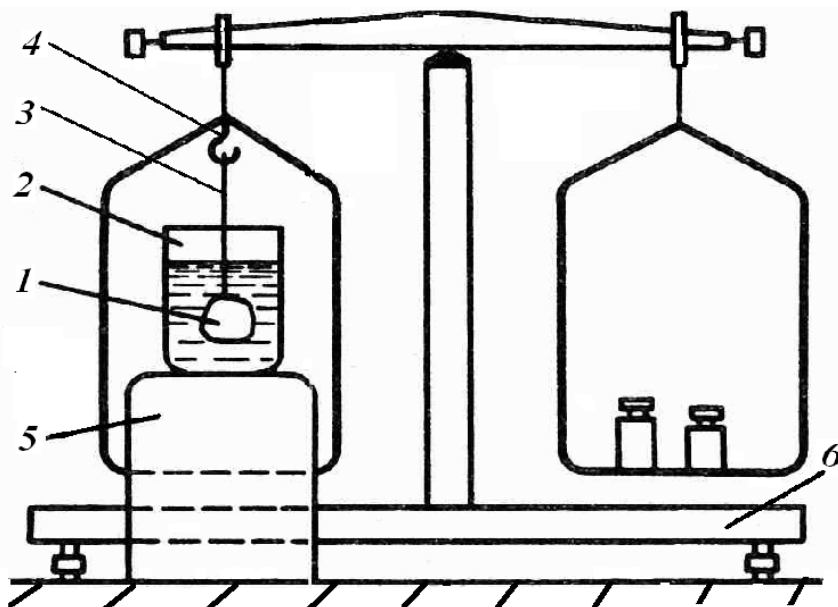
Показатели	Наименование материалов															
Масса образца m , г																
Размеры куба, см:																
длина:	a_1, a_2, a_3															
	a_{cp}															
ширина:	$b_1, b_2,$															
	b_3															
высота:	b_{cp}															
	h_1, h_2, h_3															
	h_{cp}															
Размеры цилиндра, см:																
диаметр:	d_1, d_2, d_3, d_4															
	d_{cp}															
высота:	h_1, h_2, h_3, h_4															
	h_{cp}															
Объем образца V_e , см ³																
Средняя плотность ρ_{cp} , г/см ³																
Средняя плотность ρ_{cp} , кг/м ³																

- разновесы;
- электрическая печь;
- парафин технический.

Проведение испытаний. Испытания производят с ис-

пользованием метода гидростатического взвешивания (рисунок 2) в следующей последовательности:

- определяют массу образца m , г, взвешивая его на технических коромысловых весах;
- образец обвязывают нитью и покрывают его поверхность тонким слоем парафина, расплавленного при температуре 75 - 85 °С. Охлажденный образец осматривают. Образовавшиеся на парафиновой пленке трещины и пузырьки удаляют при помощи горячей иглы;
- определяют массу образца, покрытого парафином, m_1 , г, взвешивая его на технических коромысловых весах;



1 – образец; 2 – сосуд с водой; 3 – нить;
4 – крючок для подвешивания образца; 5 – подставка; 6 – весы

Рисунок 2 – Определение средней плотности с применением метода гидростатического взвешивания

- за нить образец подвешивают к крючку, закрепленному на левом конце коромысла весов, и погружают его в сосуд с

водой. Определяют массу образца в воде m_2 , г. При взвешивании образец не должен касаться стенок и дна сосуда.

По результатам взвешивания выполняют вычисления.

Массу парафина, покрывающего образец $m_{нар}$, г, рассчитывают по формуле

$$m_{нар} = m_1 - m. \quad (9)$$

Объем парафина, покрывающего образец $V_{нар}$, см³, рассчитывают по формуле

$$V_{нар} = \frac{m_{нар}}{\rho_{нар}}, \quad (10)$$

где $\rho_{нар}$ – плотность парафина, г/см³; $\rho_{нар} = 0,93$ г/см³.

Объем образца, покрытого парафином, V , см³, вычисляют по формуле

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{воды}}, \quad (11)$$

где $\rho_{воды}$ – плотность воды, г/см³; $\rho_{воды} = 1,0$ г/см³.

Объем образца в естественном состоянии V_e , см³, рассчитывают по формуле

$$V_e = V - V_{нар}; \quad (12)$$

По формуле (1) вычисляют среднюю плотность $\rho_{ср}$, г/см³.

Испытания проводят дважды.

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты определения средней плотности испытанием образцов неправильной геометрической формы

(наименование материала)

Показатели	Номера образцов	
	1	2
Масса образца m , г		
Масса образца, покрытого парафином m_1 , г		
Масса парафина $m_{нар}$, г		
Плотность парафина $\rho_{нар}$, г/см ³	0,93	
Объем парафина $V_{нар}$, см ³		
Масса образца, покрытого парафином, в воде m_2 , г		
Объем образца, покрытого парафином, V , см ³		
Объем образца V_e , см ³		
Средняя плотность ρ_{cp} , г/см ³		
Среднее значение средней плотности $\bar{\rho}_{cp}$, г/см ³		
Среднее значение средней плотности $\bar{\rho}_{cp}$, кг/м ³		

За окончательный результат $\bar{\rho}_{cp}$, г/см³, принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений средней плотности.

Среднее значение средней плотности рассчитывают с точностью, указанной в нормативно-техническом документе на материал конкретного вида.

2.4 Определение истинной плотности материала

Истинная плотность – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (т.е. без пор и пустот). Истинную плотность $\rho_{ист}$, кг/м³ (г/см³), рассчитывают по формуле

$$\rho_{ист} = \frac{m}{V_a}, \quad (13)$$

где m – масса материала, кг (г);

V_a – объем в абсолютно плотном состоянии, м³ (см³).

При испытании строительных материалов конкретных видов методика определения истинной плотности может отличаться от изложенной в настоящей лабораторной работе.

Аппаратура (должна соответствовать требованиям нормативно-технической документации на материал конкретного вида):

- весы лабораторные технические;
- прибор Ле-Шателье;
- стеклянный или фарфоровый стакан со стеклянной палочкой.

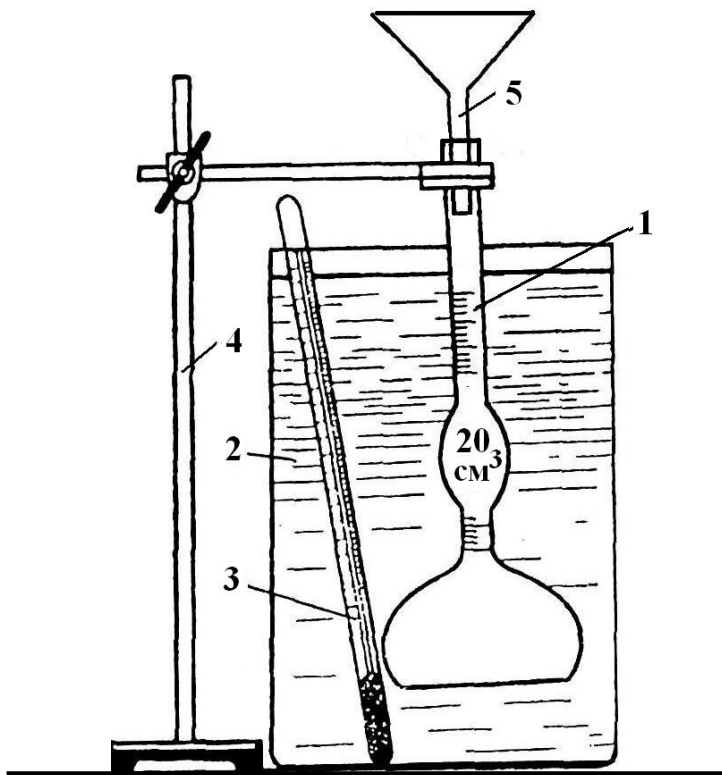
Подготовка к испытаниям. Куски испытываемого материала высушивают при температуре (100 ± 5) °С до постоянной массы, охлаждают и измельчают до порошкообразного состояния. Отвешивают 180 – 200 г измельченного материала, повторно сушат его при температуре (100 ± 5) °С и охлаждают до комнатной температуры.

Прибор Ле-Шателье заполняют водой до любого деления в нижней части шкалы. Свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Прибор с водой термостатируют при температуре, соответствующей температуре, при которой была произведена градуировка его шкалы (рисунок 3). По нижнему мениску определяют первоначальный уровень воды в приборе.

Проведение испытаний. Пробу подготовленного материала засыпают в стеклянный или фарфоровый стакан. Помещают в него стеклянную палочку. Определяют массу стакана с измельченным материалом и палочкой m_1 , г.

Через стеклянную воронку небольшими порциями с по-

мощью стеклянной палочки измельченный материал засыпают в прибор. Заполнение прибора осуществляют до тех пор, пока уровень жидкости поднимется до верхней отметки или будет находиться в пределах градуированной верхней части прибора. Для удаления пузырьков воздуха прибор вынимают из сосуда с водой и поворачивают его в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврик. После этого его снова помещают в сосуд с водой. Через 10 мин после этого производят отсчет уровня жидкости в приборе.



1 – прибор Ле-Шателье; 2 – стеклянный сосуд с водой;
3 – термометр; 4 – штатив; 5 – воронка

Рисунок 3 – Определение истинной плотности

Объем, занимаемый материалом, равен объему вытеснен-

ной им воды V_a , см³. Он соответствует разности значений уровня воды в верхней части шкалы и первоначального уровня воды в нижней части шкалы прибора.

Определяют массу стакана с остатком измельченного материала и стеклянной палочкой m_2 , г. Рассчитывают массу материала, находящегося в колбе m , г.

$$m = m_1 - m_2. \quad (14)$$

По формуле (13) с точностью до второго знака после запятой рассчитывают истинную плотность испытанного материала. Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты определения истинной плотности _____

(наименование материала)

Показатели	Результаты	
	1	2
Масса стакана с измельченным материалом и палочкой m_1 , г		
Масса стакана с остатком измельченного материала и палочкой m_2 , г		
Масса материала в колбе m , г		
Объем вытесненной воды V_a , см ³		
Истинная плотность $\rho_{ист}$, г/см ³		
Среднее значение истинной плотности $\bar{\rho}_{ист}$, г/см ³		
Среднее значение истинной плотности $\bar{\rho}_{ист}$, кг/м ³		

При выполнении настоящей лабораторной работы испытания проводят два раза. Полученные значения истинной плотности сравнивают. Если расхождение между ними не превышает 0,02 г/см³, рассчитывают среднее арифметическое значение истинной



плотности $\bar{\rho}_{уст}$. Если расхождение между результатами отдельных испытаний превышает $0,02 \text{ г/см}^3$, проводят дополнительные испытания. В этом случае за окончательный результат принимают среднее арифметическое значение $\bar{\rho}_{уст}$, рассчитанное по правилам, установленным в нормативно-технической документации на строительный материал конкретного вида.

Истинная плотность каждого вещества – постоянная характеристика (физическая константа), которая не может быть изменена без изменения его химического состава или молекулярной структуры. В этом заключается существенное отличие истинной плотности от средней.

2.5 Определение пористости

Пористость – относительная величина, показывающая, какая часть объема материала занята внутренними порами.

Пористость Π , %, рассчитывают с использованием экспериментально установленных значений средней $\bar{\rho}_{cp}$ и истинной $\bar{\rho}_{уст}$ плотности.

$$\Pi = \left(1 - \frac{\bar{\rho}_{cp}}{\bar{\rho}_{уст}}\right) \cdot 100. \quad (15)$$

Результаты расчета пористости испытанных материалов заносят в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты определения пористости

Показатели	Наименование материалов	
Средняя плотность $\bar{\rho}_{cp}$, г/см ³		
Истинная плотность $\bar{\rho}_{уст}$, г/см ³		
Пористость Π , %		

Поры представляют собой ячейки, не заполненные структурным материалом. Крупные поры (между зернами сыпучих ма-

териалов, полости в некоторых изделиях) называются **пустотами**.

Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах: от 0 (стекло, металл) до 98 % (вспененные полимерные материалы).

Свойства материалов зависят не только от величины пористости, но и от формы и размера пор (мелкие до 0,1 мм; крупные 0,1-2,0 мм), а также от их структуры (сообщающиеся; замкнутые). Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость. В звукопоглощающих материалах предпочтительны открытые поры, так как они поглощают звуковую энергию. Мелкие замкнутые поры, равномерно распределенные по всему объему материала, придают ему теплоизоляционные свойства.

2.6 Определение водопоглощения

Водопоглощение – способность материала поглощать и удерживать в себе воду при непосредственном контакте с ней.

Различают водопоглощение по массе и по объему.

Водопоглощение по массе W_m , %, выражают количеством поглощенной образцом материала воды, отнесенным к его массе в сухом состоянии.

Водопоглощение по объему W_o , %, выражают количеством поглощенной образцом материала воды, отнесенным к его объему в сухом состоянии. Водопоглощение по объему отражает степень заполнения пор материала водой. Т.к. вода проникает не во все замкнутые поры и не удерживается в открытых пустотах, водопоглощение по объему можно считать характеристикой открытой пористости строительных материалов.

Водопоглощение по массе W_m и по объему W_o , %, рассчитывают по формулам

$$W_m = \frac{m_s - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad (16)$$

$$W_o = \frac{m_s - m_c}{V_c \rho_{\text{воды}}} \cdot 100, \quad (17)$$

где m_g – масса насыщенного водой образца, г;

m_c – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

V_c – объем образца, высушенного до постоянной массы, см³;

$\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, г/см³.

Между водопоглощением по объему и водопоглощением по массе существует зависимость

$$W_o = W_m \cdot \frac{\rho_{cp}}{\rho_{\text{воды}}}. \quad (18)$$

Капиллярное всасывание (подъем) воды пористым материалом происходит по капиллярным порам, когда часть конструкции соприкасается с водой.

Капиллярными называют поры с такими условными радиусами, при которых их капиллярный потенциал (потенциальная энергия поля капиллярных сил, отнесенных к единице массы жидкости) значительно больше потенциала поля тяжести.

Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия уровня воды в капиллярах материала, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

Аппаратура:

- кристаллизатор (стеклянный сосуд);
- весы лабораторные технические с точностью взвешивания 0,05 г;
- секундомер.

Проведение испытаний. Предназначенные для испытания образцы материалов высушивают в сушильном шкафу при температуре (100 ± 5) °С до постоянной массы и охлаждают.

Определяют массу сухого образца m_c , г.

В целях визуальной оценки капиллярного всасывания на одной из сторон образца мелом или карандашом проводят линии, делящие его на четыре примерно одинаковые по высоте части. Образец устанавливают в кристаллизатор и заливают в него воду. Уровень воды должен доходить до нижней линии на образце (до уровня, соответствующего ¼ высоты образца) и выдерживают в

таком состоянии в течение 5 мин. Образец вынимают из кристаллизатора и осмотром устанавливают подъем воды по капиллярным порам или его отсутствие. После этого образец протирают его поверхность влажной тканью и определяют массу образца, насыщенного водой m_g , г.

Образец снова помещают в кристаллизатор. Доливают в кристаллизатор воду до уровня, соответствующего следующей отметке. Повторно выдерживают образец в воде в течение 5 мин, вынимают, осматривают, протирают его поверхность влажной тканью, взвешивают.

Эти действия повторяют на глубине погружения образца, соответствующей $\frac{3}{4}$ его высоты, и при полном погружении.

После каждого взвешивания образца, насыщенного водой, по формуле (1.16) рассчитывают водопоглощение по массе W_m , %.

Используя фактическое значение средней плотности материала ρ_{cp} , приведенное в таблице 4, по формуле (18) вычисляют водопоглощение по объему W_o .

По значению водопоглощения по объему W_o , полученному при полном погружении образца в воду, рассчитывают коэффициент насыщения пор водой K_n .

$$K_n = \frac{W_o}{P}, \quad (19)$$

где P – пористость материала, % (по данным таблицы 4).

Коэффициент насыщения пор водой позволяет судить о характере пористости материала. Уменьшение значений K_n (при одинаковой пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости, что обычно проявляется в повышении морозостойкости. Поэтому по величине коэффициента насыщения можно сделать косвенный вывод о долговечности (морозостойкости) строительных материалов. Материалы считают **достаточно долговечными**, если значения K_n не превышают 0,8. Для точной оценки долговечности строительных материалов необходимо проведение исследований в специализированных лабораториях.

Результаты взвешивания образцов и вычислений заносят в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты определения водопоглощения _____

(наименование материала)

Показатели	Глубина погружения образца по высоте			
	1/4	1/2	3/4	полное погружение
Время насыщения, мин	5	5	5	5
Масса сухого образца m_c , г				
Масса водонасыщенного образца m_b , г				
Водопоглощение по массе W_m , %				
Водопоглощение по объему W_o , %				
Пористость $П$, %	-	-	-	
Коэффициент насыщения пор водой K_H	-	-	-	

По экспериментально полученным данным строят график кинетики водопоглощения строительных материалов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Кинетика водопоглощения

2.7 Контрольные вопросы

1. Дайте определение средней плотности материала. Приведите расчетную формулу.
2. Изложите методику определения геометрических размеров образцов правильной геометрической формы, используемых для определения средней плотности.
3. Назовите особенность определения объема образцов пористых материалов неправильной геометрической формы.
4. Опишите порядок определения истинной плотности.
5. Дайте определение пористости строительных материалов. Напишите расчетную формулу.
6. Объясните влияние пористости, а также формы, размера и структуры пор на теплопроводность, морозостойкость, акустические и другие свойства строительных материалов.
7. Приведите формулу, устанавливающую зависимость между водопоглощением по объему и водопоглощением по массе.
8. Поясните, что понимают под капиллярным всасыванием. К какой группе физических свойств его относят?
9. Объясните, какой вывод можно сделать на основе анализа полученного значения коэффициента насыщения пор водой.
10. Опишите график кинетики водопоглощения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

1. Каклюгин А.В., Трищенко И.В. Лабораторный практикум по учебным дисциплинам «Строительные материалы» и «Дорожное материаловедение и технология дорожно-строительных материалов». Часть 1. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2014.
2. Лабораторные определения свойств строительных материалов: учеб. пособие/ В.В. Белов [и др.]. – М.: АСВ, 2008.
3. Оценка качества строительных материалов: учеб. пособие/ К.Н. Попов [и др.]. – М.: АСВ, 2004.
4. Попов Л.Н., Попов Н.Л. Лабораторные работы по дисциплине «Строительные материалы и изделия»: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2003.