

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
к лабораторным работам

Составители Н.К. Скрипникова, М.Л. Тогидний

Томск 2013

Методы определения основных свойств строительных материалов: методические указания к лабораторным работам / Сост. Н.К. Скрипникова, М.Л. Тогидний. Томск: Изд-во Томского архитектурно-строительного университета, 2013. – 20 с.

Рецензент д.т.н., проф. Г.Г. Волокитин

Редактор д.х.н., проф. Т.Д. Малиновская

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Новые материалы и технологии» для студентов специальности 291300 «Механизация и автоматизация в строительстве», 250400.01 «Технология деревообработки»

Печатается по решению методического семинара кафедры прикладной механики и материаловедения № 6 от 18.02.2013г.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе В.В. Дзюбо

с 01.09.2013
до 01.09.2018

Оригинал макет подготовлен авторами.

Подписано в печать

Формат 60×90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.

Уч.–изд. л. _____. Тираж 50 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.

634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

ВВЕДЕНИЕ

При выборе материала и обосновании целесообразности применения в строительной конструкции учитывают его способность сопротивляться реальным нагрузкам без нарушения сплошности и размеров. Одни материалы успешно сопротивляются сжимающим усилиям, другие – растягивающим, которые возникают под действием нагрузки или других силовых факторов. Аналогичная сопротивляемость материалов характерна при воздействии сил, способных вызвать изгиб, сдвиг, раскалывание и т. п. Материал должен надежно сопротивляться этим воздействующим силам при работе конструкции в эксплуатационный период.

Под свойствами строительных материалов понимают их способность определённым образом реагировать на отдельные или совокупные внешние или внутренние воздействия – силовые, тепловые, усадочные и т.д. Свойства материала определяются его составом и структурой.

Свойства материалов обычно классифицируют: на механические, физические, химические, которые находятся в прямой зависимости от структуры материала. В свою очередь названная группа свойств определяет такие специфические свойства материалов, как технологические и эксплуатационные.

Числовые значения свойств получают при лабораторных испытаниях материалов с помощью соответствующих приборов и аппаратов. Испытания производят с разрушением специально подготовленных образцов или отдельных элементов конструкции или без их разрушения, т.е. расчетными методами.

Цель лабораторных работ

Основной целью работ является изучение методов определения основных показателей свойств строительных материалов, ознакомление с приборами, применяемыми для этого.

Содержание лабораторных работ

Для изучения основных свойств строительных материалов студенты проводят следующие работы:

1. Определение механических свойств

- 1.1. Определение предела прочности при сжатии.
- 1.2. Определение предела прочности при изгибе.

2. Определение физических свойств

- 2.1. Определение средней плотности на образцах правильной геометрической формы.
- 2.2. Определение средней плотности на образцах неправильной геометрической формы.
- 2.3. Определение истинной плотности материала.
- 2.4. Определение насыпной плотности материала.
- 2.5. Определение пористости материала.
- 2.6. Определение водопоглощения материала.
- 2.7. Определение коэффициента теплопроводности по

В.П. Некрасову.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Механические свойства характеризуются способностью материала сопротивляться всем видам внешних воздействий с приложением силы. По совокупности признаков различают прочность материала при сжатии, изгибе, ударе, кручении и т.д.

1.1. Определение предела прочности при сжатии

Предел прочности при сжатии – это предельное напряжение, соответствующее нагрузке, при которой происходит разрушение образца материала.

Предел прочности при сжатии определяется по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, \quad (1.1)$$

где $R_{\text{сж}}$ – предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см²);

P – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

F – площадь поперечного сечения образца, м² (см²).

Примечание. 1 кгс/см² = 0,1 МПа.

Разрушающую нагрузку определяют на специальных гидравлических прессах.

Форма и размеры образцов различных строительных материалов должны соответствовать требованиям стандарта для каждого вида материала.

В данной работе предел прочности при сжатии определяют на образцах-кубах из бетона и кирпича.

При испытании образцов выбирают опорные грани, которые будут прилегать к плитам пресса, отмечают их мелом и ставят номер образца. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки материала в формы, а сами грани были параллельными между собой.

Измерения образцов производят штангенциркулем или металлической линейкой с точностью до 1 мм. Каждый линейный

размер образца вычисляют как среднее арифметическое результатов трех измерений (по середине и концам граней).

Подготовленные образцы устанавливают по центру нижней плиты пресса. Помеченная грань испытуемого образца и верхняя плита пресса должны быть параллельны. Производят испытание. Результаты испытаний заносят в табл. 1

Таблица 1

№ образца	Среднеарифметические значения размеров образца		Площадь поперечного сечения образца $F, \text{см}^2$	Разрушающая нагрузка $P_{сж}, \text{Н}$	Предел прочности при сжатии $R_{сж}, \text{МПа}$	Среднеарифметическое значение прочности образца $\bar{R}_{сж}, \text{МПа}$
	Длина $a, \text{м}$	Ширина $b, \text{м}$				

1.2. Определение прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе – это предельное напряжение, соответствующее нагрузке, при которой происходит излом образца материала.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) определяется по формуле

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (1.2)$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца МН (кгс);

l – расстояние между осями опор (20 см);

b – ширина образца;

h – высота образца посередине пролета.

Образец устанавливают на двух опорах пресса. Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно рис.1.

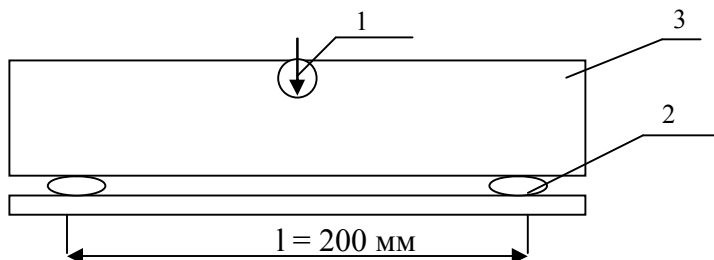


Рис.1. Схема испытания образца на изгиб:

1 – нагрузка на образец; 2 – опоры;

3 – испытуемый образец

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 с после начала испытания.

Предел прочности при изгибе образцов в партии вычисляют с точностью до 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) как среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

Значения пределов прочности при изгибе заносятся в табл. 2.

Таблица 2

№ образца	Среднеарифметические значения размеров образца		Площадь поперечного сечения образца $F, \text{ см}^2$	Разрушающая нагрузка $P_{сж}, \text{ Н}$	Предел прочности при изгибе $R_{изг}, \text{ МПа}$	Среднеарифметическое значение прочности $\bar{R}_{изг}, \text{ МПа}$
	Высота образца $h, \text{ м}$	Ширина $b, \text{ м}$				

При вычислении предела прочности при изгибе образцов в партии не учитывают образцы, пределы прочности которых имеют отклонение от среднего значения предела прочности всех образцов более чем на 50% и не более чем по одному образцу в каждую сторону.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Строительные материалы обладают комплексом физических свойств, т.е. способностью реагировать на воздействие физических факторов – тепловых, водной среды, электрических, излучения и др. Ниже будут рассмотрены некоторые свойства, методы и приборы для их оценки в числовых показателях.

2.1. Определение средней плотности на образцах правильной геометрической формы

Средняя плотность материала – физическая величина, определяемая отношением массы образца ко всему объему, занимаемому им вместе с порами и пустотами, выражается соотношением

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad (2.1)$$

где ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³;

m – масса образца, кг;

V – объем образца в естественном состоянии, м³.

Чтобы определить среднюю плотность на образце правильной геометрической формы измеряют его длину, ширину и высоту; вычисляют объем, взвешивают и по формуле (1) определяют среднюю плотность.

В данной работе испытывают следующие материалы:
– силикатный и керамический кирпич;

– огнеупоры;

– бетон.

Результаты испытания заносят в табл. 3.

Таблица 3

Наименование материала	№ образца	Размеры образца, м			Объем образца $V_{\text{вм}}^3$	Масса образца m , кг	Средняя плотность ρ_m , кг/м ³	Средняя арифметическая величина плотности $\bar{\rho}_m$, кг/м ³
		Длина a	Ширина b	Высота h				
Силикатный кирпич	1							
	2							
	3							
Шамот	1							
	2							
	3							
Бетон	1							
	2							
	3							

Для точного измерения объёма удобнее принимать образцы правильной геометрической формы. При влажных образцах отмечается величина влажности, при которой определялась средняя плотность.

2.2. Определение плотности образца неправильной формы способом гидростатического взвешивания

Способ гидростатического взвешивания основан на измерении объема по массе вытесненной им жидкости (чаще всего, воды).

Для этого необходимо взвесить образец на воздухе и в жидкости известной плотности, объем V вычислить по формуле

$$V = \frac{m - m_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}, \quad (2.2)$$

где m и $m_{\text{ж}}$ – масса образца, взвешенного соответственно на воздухе и в жидкости, кг;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Средняя плотность образца неправильной формы вычисляется по формуле:

$$\rho_{\text{м}} = \frac{m}{V} = \frac{m \cdot \rho_{\text{ж}}}{m - m_{\text{ж}}}. \quad (2.3)$$

Изложенный способ применяется в случае, когда испытанию подвергается материал со сплошной структурой (т.е. без пор и пустот).

2.3. Определение истинной плотности материала

Истинная плотность материала (т.е. без учета имеющихся в нем пор и пустот) определяется как отношение массы к абсолютному объему

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{а}}}, \quad (2.4)$$

где ρ – истинная плотность, кг/м³;

m – масса образца сухого материала, кг;

$V_{\text{а}}$ – объем образца, м³.

В данной работе определяют истинную плотность керамического кирпича пикнометрическим методом. Для этого из предварительно подготовленной пробы берут навеску порошка массой 10 г и помещают в чистый высушенный пикнометр. Пикнометр с порошком заливают примерно до половины дистиллированной водой, переносят на песчаную баню, устанавливают в несколько наклонном положении и нагревают до слабого кипения, которое поддерживают в течение 15–20 минут. Кипячение производят для удаления воздуха, содержащегося между частицами порошка.

Затем пикнометр охлаждают до комнатной температуры, доливают до метки на горлышке дистиллированной водой, обтирают и взвешивают.

После этого пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют до метки дистиллированной водой и снова взвешивают. Истинную плотность вычисляют с точностью до 1 кг/м^3 (г/м^3) по формуле

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_{\text{в}}}{m + m_2 - m_1}, \quad (2.5)$$

где ρ – истинная плотность керамического кирпича, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, равная 1000 кг/м^3 ;

m – масса порошка, кг;

m_1 – масса пикнометра с порошком и водой, кг;

m_2 – масса пикнометра только с водой, кг.

Затем вычисляют среднее арифметическое значение трех испытаний. Полученные данные заносят в табл. 4.

Таблица 4

Опытные данные по определению истинной плотности керамического кирпича

№ опыта	Масса, кг			Истинная плотность кирпича, кг/м^3 ρ	Среднеарифметическое значение плотности, кг/м^3 $\bar{\rho}$
	порошка	пикнометра с водой и порошком	пикнометра с водой		
	m	m ₁	m ₂		

Значения истинной плотности некоторых строительных материалов приведены в прил. 1.

2.4. Определение насыпной плотности

Сыпучие материалы (песок, щебень, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью – отношением массы зернистых и порошкообразных материалов ко всему занимаемому ими объёму, включая пространство между частицами. В качестве примера рассмотрим определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии.

Насыпная плотность цемента в зависимости от степени уплотнения колеблется в широких пределах, и в связи с этим различают насыпную плотность в рыхлом и уплотненном состоянии.

Для определения насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии используют стандартную воронку в виде усеченного конуса с поддоном. Для определения насыпной плотности в воронку насыпают сухой цемент, открывают задвижку и заполняют заранее взвешенный мерный цилиндр с верхом. Закрывают задвижку и линейкой срезают от середины в обе стороны излишек цемента вровень с краями цилиндра. Затем цилиндр с мате-

риалом взвешивают с точностью до 1 г. Испытания повторяют 3 раза и насыпную плотность определяют по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (2.6)$$

где m_1 – масса цилиндра с цементом, кг;

m_2 – масса цилиндра без цемента, кг;

V – объем цилиндра, м^3 .

Результаты испытаний заносят в табл. 5

Определение насыпной плотности цемента в уплотненном состоянии

Высушенный цемент насыпают непосредственно в мерный сосуд, на который предварительно надевают насадки. Заполненный цементом цилиндр помещают в деревянный ящик с крышкой, ставят на встряхивающий столик и встряхивают 50 раз. Цилиндр вынимают из ящика, срезают избыток цемента линейкой и взвешивают. Вновь надевают насадку, досыпают излишек цемента и производят повторное уплотнение. Взвешивание и уплотнение повторяют до постоянной массы в уплотненном состоянии. Опыт повторяют 3 раза и вычисляют насыпную плотность в уплотненном состоянии.

Результаты испытаний заносят в табл. 5

Таблица 5

№ опыта	Состояние цемента	Масса сухого сосуда, кг	Масса сосуда с цементом, кг	Объем сосуда, м^3	Насыпная плотность цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$	Среднее арифметическое значение насыпной плотности
1 2 3	Рыхлое					
1 2 3	Уплотненное					

От плотности материалов в значительной мере зависят их технические свойства, например прочность, теплопроводность. Этими данными пользуются при определении толщины ограждающих конструкций отапливаемых зданий, размера строительных конструкций, расчётах транспортных средств, подъёмно-транспортного оборудования и др.

Значения средней плотности строительных материалов находятся в широких пределах (см. прил. 2).

2.5. Определение пористости

Пористость – степень заполнения объёма материала порами. Величину пористости вычисляют по формуле

$$\Pi = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \cdot 100, \quad (2.7)$$

где Π – пористость, %;

ρ – истинная плотность, кг/м³;

ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³.

Поры – это мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. Поры бывают открытые и закрытые, мелкие и крупные. Мелкие поры, заполненные воздухом, придают строительным материалам теплоизоляционные свойства. Если требуется выяснить, являются ли поры замкнутыми или сквозными, как распределены они в объёме материала, какое имеется реальное соотношение пор разных диаметров, тогда производят дополнительные исследования с применением специальных методов: сорбционного, ртутной порометрии и др.

По величине пористости можно судить о других важных свойствах материала: плотность, прочность, водопоглощение, долговечность.

2.6. Определение водопоглощения

Водопоглощение – способность материала впитывать в себя воду при непосредственном контакте с ней.

Различают водопоглощение по массе и объему, для вычисления, которых пользуются следующими формулами:

$$W_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100 \% \quad (2.8)$$

$$W_O = \frac{m_n - m_c}{V_c \cdot \rho_v} \cdot 100 \% \quad (2.9)$$

где W_M – водопоглощение по массе, %;

W_O – водопоглощение по объему, %;

m_n – масса образца, насыщенного водой, кг;

m_c – масса сухого образца, кг;

V_c – объем сухого образца, м³;

ρ_v – плотность воды, равная 1000 кг/м³.

В данной работе определяют водопоглощение силикатного кирпича, шамота, бетона. Для этого у каждого образца определяют массу, измеряют размеры, вычисляют объем. Затем образцы маркируют и погружают в емкость с водой на 48 часов. Уровень воды в емкости должен быть на 2–10 см выше верха образца. В течение этого времени образцы насыщаются водой.

После насыщения водой образцы вынимают, немедленно обтирают влажной мягкой тканью и взвешивают. Вода, вытекаемая из образцов на чашку весов, должна включаться в массу насыщенного образца.

Водопоглощение всегда меньше истинной пористости, так как часть пор оказывается закрытой, не сообщающейся с окружающей средой и не доступной для воды. Объемное водопоглощение всегда меньше 100%, а водопоглощение по массе может быть более 100%.

Результаты опытов заносят в табл. 6.

Таблица 6

Наименование материала	№ образца	Масса, кг		Объем сухого образца V_c, M^3	Водопоглощение, %		Среднеарифметическое значение водопоглощения	
		сухого m_c	насыщенного m_n		по массе W_m	по объему W_0	по массе $W_{ns}, \%$	по объему $W_{0s}, \%$
Шамот	1							
	2							
	3							
Силикатный кирпич	1							
	2							
	3							
Бетон	1							
	2							
	3							

Водопоглощение строительных материалов изменяется главным образом в зависимости от объема пор, их вида и размеров.

В результате насыщения водой свойства материалов значительно изменяются: увеличивается плотность и теплопроводность.

2.7. Определение коэффициента теплопроводности

Теплопроводность – способность материала проводить через свою толщу тепловой поток, возникающий под влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Это свойство характеризуется теплопроводностью λ , которая показывает количество теплоты, проходящей через плоскую стенку толщиной 1м , площадью 1м^2 при перепаде температур на

противоположных поверхностях в 1 °С в течение 1ч. Величина λ имеет размерность Вт/(мК) и может служить убедительной характеристикой при оценке теплозащитных свойств строительных материалов. Она зависит, главным образом, от пористости материала: содержащийся в порах воздух является малотеплопроводной средой. Воздух при атмосферном давлении и температуре +20 °С имеет теплопроводность

$\lambda = 0,023$ Вт/(мК), а при температуре 100 °С – 0,036 Вт/(мК), при 1000°С – 0,0788 Вт/(мК).

На теплопроводность значительное влияние оказывает влажность. Влажные материалы более теплопроводны, нежели сухие. Объясняется это тем, что теплопроводность воды (0,590 Вт/(мК)) в 25 раз выше теплопроводности воздуха. Теплопроводность характеризует теплофизические свойства материалов, определяя их принадлежность к классу теплоизоляционных (А – до 0,082; Б – 0,082 – 0,116 и т.д.), конструктивно - теплоизоляционных и конструктивных. В прил. 3 приведена теплопроводность некоторых строительных материалов.

На практике ориентировочно оценить теплопроводность материала можно по его плотности. Известная формула В.П. Некрасова связывает теплопроводность материала с его плотностью

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (2.10)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(мК);

d –плотность материала.

В данной работе предлагается вычислить коэффициент теплопроводности для материалов, плотность которых была определена на предыдущих лабораторных занятиях. Форма записи результатов свободная.

Контрольные вопросы

1. Что такое истинная плотность и при помощи какого прибора определяют истинную плотность?
2. Что такое средняя плотность и как ее определяют у образцов правильной геометрической формы?
3. Чем отличается средняя плотность от истинной?
4. Что такое водопоглощение? Как оно определяется?
5. Изложите методику определения предела прочности при сжатии.
6. Как определяется коэффициент теплопроводности?
7. Как определяется предел прочности при изгибе?
8. Дать понятие насыпной плотности материала.
9. Методика определения насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии?
10. Методика определения насыпной плотности цемента в уплотненном состоянии?

Список рекомендуемой литературы

1. Попов Л.Н., Попов К.Л. Лабораторные работы по дисциплине «Строительные материалы и изделия». – М.: Стройиздат, 2005. – 219 с.
2. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: Учебное пособие для студентов строительных специальностей.– М.: Высш. школа, 2004. – 701 с.
3. Корчагина О.А., Однолько В.Г. Материаловедение. Бетоны и строительные растворы. Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. – 80 с.
4. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2007. – 535 с.
5. Баженов В.К., Милых Т.И. Материаловедение Учебное пособие. – М.: РГОТУПС, 2003. – 101с.
6. Акимова Т.Н., Котлярский Э.В. Общие свойства строительных материалов: «Методические разработки». Изд-во МАДИ (ГТУ), 2005. – 38 с.

Приложение 1

Средняя плотность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Средняя плотность, кг/м ³	Наименование материала	Средняя плотность, кг/м ³
Сталь	7800-7850	Бетон легкий	500-1800
Гранит	2600-2800	Керамзит	300-900
Бетон тяжелый	1800-2500	Сосна	500-600
Кирпич глиняный	1600-1800	Минеральная вата	200-400
Песок	1450-1650	Поропласты	20-100
Вода	1000		

Приложение 2

Истинная плотность строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, кг/м ³	Наименование материала	Истинная плотность, кг/м ³
Сталь	7800-7900	Кирпич глиняный	2500-2800
Портландцемент	2900-3100	Стекло	2500-3000
Гранит	2700-2800	Известняк	2400-2600
Песок кварцевый	2600-2700	Древесина	1500-1600

Приложение 3

Теплопроводность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Сталь	58	Вода	0,59
Гранит	2,9-3,3	Бетон легкий	0,35-0,8
Бетон тяжелый	1,0-1,6	Бетон теплоизоляционный	0,08-0,3
Кирпич керамический	0,8-0,9	Газостекло	0,06-0,08