

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

А.Р. Гайфуллин, Н.Р. Рахимова

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторных работ
по дисциплинам «Материаловедение» и «Строительные материалы»

Казань
2016

УДК 691
ББК 38.3
Г14

Гайфуллин А.Р., Рахимова Н.Р.

Г14 Основные свойства строительных материалов: Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Материаловедение» и «Строительные материалы» / Сост.: А.Р. Гайфуллин, Н.Р. Рахимова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – 23 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех направлений подготовки.

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТСМИК КГАСУ
Н.М. Морозов

УДК 691
ББК 38.3

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2016
© Гайфуллин А.Р.
Рахимова Н.Р., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Цель лабораторных работ – ознакомление с основными свойствами строительных материалов, изучение и практическое освоение методов их определения, приобретение навыков работы в лаборатории и умения оценки качества строительных материалов по показателям их важнейших физико-технических свойств.

В основу методических указаний положены стандартные методы испытаний свойств строительных материалов с учетом имеющегося на кафедре лабораторного оборудования.

Изучение темы рассчитано на 4–6 часов. Предварительная подготовка студентов к выполнению лабораторных работ заключается в изучении темы по соответствующему пособию и рекомендуемой литературе.

Все работы студенты выполняют самостоятельно звеньями по 2–3 человека. В качестве материала для испытания может применяться природный каменный материал; например, известняк. Для определения истинной плотности студентам предоставляется заранее подготовленный порошок, для определения средней плотности – щебень из горной породы, для определения прочности и истираемости – выпиленные образцы-кубики 5х5х5 см или других размеров.

На занятиях студентами оформляются журналы лабораторных работ. Методы испытаний после их изучения должны быть кратко законспектированы в журнале, записаны формулы для проведения расчетов, выполнены эскизные зарисовки применяемых приборов. Результаты проведенных испытаний и выполненных расчетов в табличной форме записываются в журнал. Выполняется заключение о свойствах материала с сопоставлением их с табличными значениями, приведенными в приложении. Черновые записи и все необходимые вычисления могут производиться на отдельных листах бумаги.

Студенты, не подготовленные к занятию и не имеющие журнала, к работе не допускаются. Пропущенные часы занятий отрабатываются вне расписания в сроки, указанные преподавателем. При сдаче лабораторных работ студентами должны быть предъявлены письменные ответы на контрольные вопросы и решенные задачи из методических указаний по теме, производится контрольный опрос по теме занятий.

Каждая работа после выполнения подписывается студентом, а после ее сдачи – преподавателем. Необходимым условием сдачи лабораторных работ является аккуратное заполнение журнала.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для обоснованного выбора тех или иных строительных материалов, с точки зрения получения наибольшего технико-экономического эффекта при их практическом применении, необходимо знать свойства материалов и учитывать условия, в которых они будут работать в составе строительной конструкции. Свойства материалов чрезвычайно разнообразны.

Для удобства изучения свойства можно подразделить на пять основных групп:

1) физические; 2) химические и химико-физические; 3) механические;

4) технологические; 5) общие эксплуатационные.

Некоторые из свойств (плотность, пористость, прочность) одинаково важны для всех материалов, другие свойства (коррозионная стойкость, морозостойкость) – только для некоторых материалов, в определенных условиях службы.

В настоящих методических указаниях приводятся методики определения некоторых основных свойств строительных материалов: истинной и средней плотности, пористости, истираемости, прочности, морозостойкости и др.

2. ИСТИННАЯ ПЛОТНОСТЬ

Истинной плотностью называется масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без учета пор и пустот. Значения истинной плотности используются для расчетов при определении пористости материала.

Истинная плотность определяется по формуле:

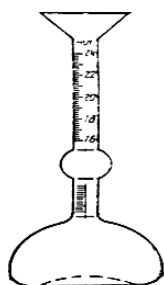
$$\rho = \frac{m}{V}, \quad [\text{г/см}^3], \quad (2.1)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца в абсолютно плотном состоянии, см³.

Материалы для определения истинной плотности дробят, размалывают до тонкого порошка и высушивают при температуре 105–110°C до постоянной массы. Степень измельчения определяется стандартом на материал. Истинную плотность можно определить при помощи объемомера Ле-Шателье (рис. 2.1а) или пикнометра (рис. 2.1б), руководствуясь ГОСТ 8735-88 и ГОСТ 30629-99 в соответствии с методиками, изложенными ниже.

а)



б)

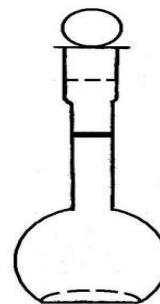


Рис. 2.1. Приборы для определения истинной плотности:

а) объемомер Ле-Шателье; б) пикнометр

2.1. Определение истинной плотности с помощью объемомера Ле-Шателье

При определениях, требующих высокой точности, прибор устанавливают в сосуд с водой при температуре 20°C. Объемомер заполняют до нулевой риски жидкостью, инертной к исследуемому материалу, причем уровень жидкости устанавливают по касательной к вогнутому мениску. Горловину прибора тщательно просушивают бумагой. Для испытания берут навеску порошка 70–90 г (без учета чаши). Навеску порошка взвешивают в чаше на технических весах с точностью до 0,01 г, после чего постепенно всыпают в объемомер небольшими порциями, чтобы не произошло образование пробок.

Порошок прекращают всыпать после того, как уровень жидкости поднимается

до черты с делением 20 мл (см³) или выше, в пределах градуированной части прибора. Оставшуюся часть порошка взвешивают, и по разности масс определяют массу порошка, всыпанного в объемомер.

Вычисление плотности с точностью до 0,01 г/см³ производится по формуле:

$$\rho = (m_1 - m_2) / V, \quad [\text{г/см}^3], \quad (2.2)$$

где **m₁** – масса порошка с чашкой, в которой взвешивался порошок, г,

m₂ – масса остатка порошка с чашкой, г;

V – объем жидкости, вытесненной всыпанным порошком, см³.

Для получения достоверного результата проводится не менее трех испытаний и за окончательный результат принимается среднее арифметическое значение.

Таблица 2.1

Таблица результатов измерений

Наименование показателя	Номер опыта		
	1	2	3
Масса порошка с чашкой, в которой взвешивался порошок, г			
Масса остатка порошка с чашкой, г			
Объем жидкости, вытесненной всыпанным порошком, см ³			
Истинная плотность, г/см ³			
Среднее значение истинной плотности, г/см ³			

2.2. Определение истинной плотности с помощью пикнометра

Чистый сухой пикнометр емкостью 100 см³ взвешивают с точностью до 0,01 г, всыпают в него подготовленный для испытания порошок слоем около 1 см, и пикнометр вторично взвешивают.

В пикнометр наливают дистиллированную воду не более чем наполовину объема, затем кипятят в течение 15–20 мин в песчаной или водяной бане.

В охлажденный до 18–20⁰С пикнометр доливают дистиллированную воду до метки, имеющейся на горловине прибора. Пикнометр взвешивают, затем содержимое его выливают. После промывки пикнометр вновь заполняют до метки дистиллированной водой и еще раз взвешивают.

Истинную плотность определяют с точностью до 0,01 г/см³ по формуле:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_1 + m_4 - m_3}, \quad \text{г/см}^3 \quad (2.3)$$

где **m₁** – масса пикнометра, г;

m₂ – масса пикнометра с порошком, г;

m₃ – масса пикнометра с порошком и водой, г;

m₄ – масса пикнометра с водой, г.

Для получения достоверного результата проводится не менее трех испытаний, и за окончательный результат принимается среднее арифметическое значение.

Таблица 2.2

Таблица результатов измерений

Наименование	Результаты измерений		
	1	2	3
Масса пикнометра, г			
Масса пикнометра с порошком, г			
Масса пикнометра с порошком и водой, г			
Масса пикнометра с водой, г			
Истинная плотность, г/см ³			
Среднее значение истинной плотности, г/см ³			

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ

Средней плотностью называют массу единицы объема материала в естественном состоянии, т.е. вместе с порами и пустотами. Средняя плотность определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ [г/см}^3\text{]}, \quad (3.1)$$

где **m** – масса образца, г;

V – объем образца в естественном состоянии, см³.

Для вычисления средней плотности материала определяют массу образца и его объем в естественном состоянии. Одно и то же количество материала в естественном состоянии занимает больший объем, чем в плотном. Поэтому средняя плотность каменных материалов всегда меньше истинной плотности.

В практике определения средней плотности твердого материала возможны два случая:

- а) образец материала имеет правильную форму;
- б) образец имеет неправильную форму.

Среднюю плотность материала можно определять, руководствуясь ГОСТ 30629-99, в соответствии с изложенной ниже методикой.

3.1. Определение средней плотности образцов правильной формы

Образцы правильной геометрической формы должны иметь наименьшее измерение не менее 10 см, если материал пористый, и не менее 4 см, если материал плотный. Испытания проводят на 5 образцах кубической или цилиндрической формы. Образцы взвешивают на технических весах с точностью до 0,1г, (если масса образца менее 500 г). Перед взвешиванием образцы должны быть высушены до постоянной массы. Для определения объема образцы измеряют с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Например, если измеряемый образец имеет форму куба или параллелепипеда, то каждую грань измеряют в трех местах по длине, ширине, высоте (рис. 3.1). За окончательный размер каждой грани

принимают среднее арифметическое трех измерений. Объем образца получают перемножением средних размеров трех граней образца.

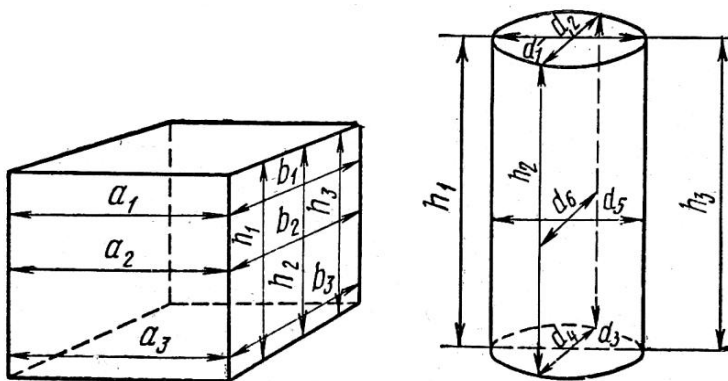


Рис. 3.1. Схема измерения образцов правильной геометрической формы

Среднюю плотность вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad [\text{г/см}^3], \quad (3.2)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца в естественном состоянии, см^3 .

Для обеспечения точности результатов среднюю плотность вычисляют как среднее арифметическое пяти определений.

Таблица 3.1

Таблица результатов измерений

Наименование показателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масса образца, г									
Объем образца в естественном состоянии, см^3									
Средняя плотность, г/см^3									
Наименование материала									

3.2. Определение средней плотности образцов неправильной формы

При работе с образцами неправильной формы сложность представляет измерение объема. В этом случае определение производят методом гидростатического взвешивания или с помощью объемомера.

Точность такого определения в значительной степени зависит от пористости материалов, так как образец, погружаемый в воду, не только вытесняет, но и частично впитывает ее в свои поры, а это приводит к искажению результатов.

3.2.1. Определение средней плотности методом гидростатического взвешивания

Независимо от метода определения средней плотности, перед определением объема образец либо насыщают водой до постоянной массы, т.е. до полного заполнения пор, либо покрывают его поверхность водонепроницаемым слоем предварительно расплавленного парафина.

Опыт выполняют следующим образом. На поверхность предварительно высушенного и взвешенного с точностью до 0,01 г образца небольшой кистью или погружением в расплав наносят тонкий слой парафина. Охлажденный образец снова взвешивают вместе с парафином. Объем парафина на образце вычисляют по формуле:

$$V_{\text{пар}} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{пар}}}, \quad (3.3)$$

где m_1 – масса образца на воздухе без парафина, г;

m_2 – масса образца на воздухе с парафином, г;

$V_{\text{пар}}$ – объем парафина, см^3 ;

$\rho_{\text{пар}}$ – средняя плотность парафина, $\text{г}/\text{см}^3$, (0,93 $\text{г}/\text{см}^3$).

Взвешивание образца в воде осуществляется следующим образом: образец, покрытый парафином, подвешивают к коромыслу весов и погружают в сосуд с водой так, чтобы он не касался стенок, и взвешивают (рис. 3.2.).

Величину средней плотности образца материала определяют по формуле:

$$\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3 - V_{\text{пар}}}, \quad [\text{г}/\text{см}^3], \quad (3.4)$$

где m_1 – масса образца на воздухе без парафина, г;

m_2 – масса образца на воздухе с парафином, г;

m_3 – масса образца с парафином в воде, г;

$V_{\text{пар}}$ – объем парафина, см^3 .

Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое результатов определений средней плотности пяти образцов. Расхождение между результатами параллельных определений средней плотности материала не должно превышать 20 $\text{кг}/\text{м}^3$.

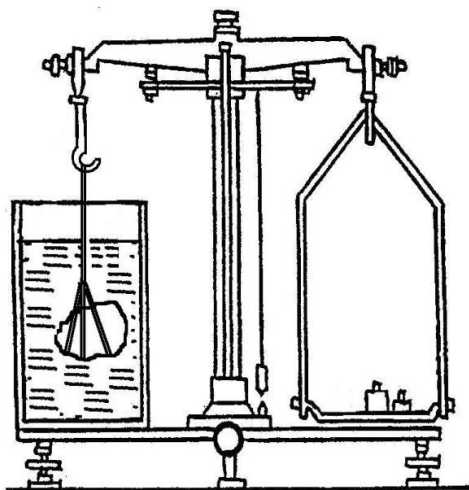


Рис. 3.2. Весы для гидростатического взвешивания

Таблица результатов измерений

Наименование	Результаты испытаний		
	1	2	3
Масса образца на воздухе без парафина, г			
Масса образца на воздухе с парафином			
Масса образца с парафином в воде			
Объем парафина, см ³			
Средняя плотность, г/см ³			
Среднее значение средней плотности, г/см ³			

3.2.2. Определение средней плотности с помощью объемомера

Определить среднюю плотность можно также при помощи объемомера (рис. 3.3).

В объемомер с избытком наполняют воду и ждут, пока избыток стечет. Затем под горловину подставляют взвешенный стакан. Каждый образец высушивают, взвешивают, покрывают, как и в предыдущем опыте, слоем расплавленного парафина, привязывают на прочную нить и вторично взвешивают. При погружении испытуемого образца в объемомер вытесняемая вода будет вытекать из горловины в стакан. После того как вытекание воды прекратится, стакан с водой взвешивают и определяют массу воды, вытесненную образцом. Среднюю плотность образца вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m_1}{V_1 - V_{\text{пар}}}, \quad [\text{г/см}^3], \quad (3.5)$$

где m_1 – масса сухого образца, г;

V_1 – объем образца с парафином (равный массе воды, вытесненной образцом, см³).

$V_{\text{пар}}$ – объем парафина, см³.

Объем парафина $V_{\text{пар}}$, затраченного на покрытие образца, определяют по формуле:

$$V_{\text{пар}} = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{пар}}}, \quad [\text{см}^3], \quad (3.6)$$

где m_1 – масса образца на воздухе без парафина, г;

m_2 – масса образца на воздухе с парафином, г;

$\rho_{\text{пар}}$ – средняя плотность парафина, г/см³, (0,93 г/см³).

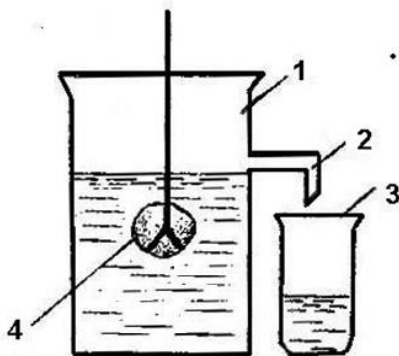


Рис. 3.3. Объемомер:

1 – цилиндрический сосуд; 2 – горловина; 3 – стакан; 4 – образец

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ

Насыпную плотность определяют для сыпучих строительных материалов: цемента, песка, щебня, гравия и др. Насыпная плотность таких материалов может быть определена в рыхлонасыпном, уплотненном и естественном состоянии.

Насыпной плотностью сыпучих материалов называют массу единицы объема материала в насыпном состоянии, т.е. с порами и пустотами, данный параметр можно определять в соответствии с методиками, приведенными в ГОСТ 8735-88 и ГОСТ 8269.0-97.

Насыпную плотность определяют с помощью прибора (рис. 4.1), который состоит из стандартной воронки в виде усеченного конуса и мерного цилиндра объемом 1 л или 10 л. Для испытаний под трубкой воронки устанавливают заранее взвешенный мерный цилиндр. Расстояние между верхним обрезом цилиндра и задвижкой должно быть 50 мм. В воронку насыпают сухой материал, затем открывают задвижку, наполняют цилиндр с избытком, закрывают задвижку и металлической линейкой срезают от середины в обе стороны излишек материала вровень с краями цилиндра. При этом не допускается уплотнение материала. Затем цилиндр с материалом взвешивается с точностью до 1 г. Расчет насыпной плотности материала в рыхлонасыпном состоянии ведут по формуле:

$$\rho_{н.р.} = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad [\text{кг/л}], \quad (4.1)$$

где m_1 – масса цилиндра с материалом, кг;

m_2 – масса цилиндра, кг;

V – объем цилиндра, л.

Испытание повторяют не менее трех раз, и вычисляют конечный результат как среднее арифметическое трех измерений.

При транспортировании и хранении сыпучие материалы уплотняются, при этом значение их насыпной плотности может оказаться на 15–30% выше, чем в рыхлонасыпном состоянии. Определить насыпную плотность в уплотненном состоянии можно по приведенной выше методике, однако, после заполнения цилиндра материалом его следует уплотнить вибрацией в течение 30–60 сек на виброплощадке путем легкого постукивания цилиндра о стол 30 раз. В процессе

уплотнения материал досыпают, поддерживая некоторый избыток его в цилиндре. Далее избыток срезают, определяют массу материала в цилиндре и вычисляют насыпную плотность в уплотненном состоянии.

На основе полученных результатов можно определить уплотняемость материала, которую принято характеризовать коэффициентом уплотнения:

$$K_y = \rho_{н.у} / \rho_{н.р.} \quad (4.2)$$

$\rho_{н.у}$. – насыпная плотность материала в уплотненном состоянии, кг/л,

$\rho_{н.р.}$. – насыпная плотность материала в рыхлонасыпном состоянии, кг/л.

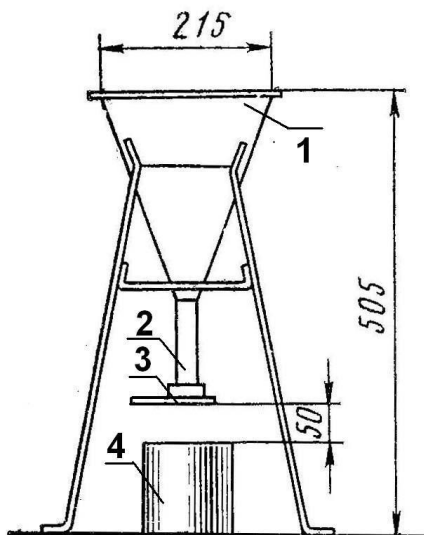


Рис. 4.1. Схема прибора для определения насыпной плотности материала в рыхлонасыпном состоянии: 1 – стандартная воронка; 2 – задвижка; 3 – мерный цилиндр

Таблица 4.1

Таблица результатов измерений

Наименование	Результаты измерений		
	1	2	3
Масса цилиндра с материалом, кг			
Масса цилиндра, кг			
Объем цилиндра, л			
Насыпная плотность материала в рыхлонасыпном состоянии, кг/л			
Насыпная плотность материала в уплотненном состоянии, кг/л			
Коэффициент уплотнения			
Среднее значение насыпной плотности материала в рыхлонасыпном состоянии, кг/л			
Среднее значение коэффициента уплотнения			

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА

При определении водопоглощения материалов из горных пород следует руководствоваться ГОСТ 30629-99. Водопоглощение определяют на пяти образцах кубической формы с ребром 40–50 мм или цилиндрах диаметром и высотой 40–50 мм.

Водопоглощение материала по массе или по объему равно отношению массы воды, поглощенной образцом материала при насыщении, соответственно к массе или объему образца.

Водопоглощение по массе вычисляют по формуле:

$$W_{\text{пог.м}} = (m_2 - m_1) / m_1 * 100\% , \quad (5.1)$$

где m_1 – масса образца в сухом состоянии, кг;
 m_2 – масса образца в насыщенном водой состоянии, кг.

Водопоглощение по объему вычисляют по формуле:

$$W_{\text{пог.м}} = (m_2 - m_1) / v * 100\% , \quad (5.2)$$

где m_1 – масса образца в сухом состоянии, кг;
 m_2 – масса образца в насыщенном водой состоянии, кг;
 V – объем образца, см³.

За окончательный результат принимается среднее арифметическое пяти определений водопоглощения.

Величина водопоглощения по массе может составлять более 100%.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ, ПОРИСТОСТИ И ПУСТОТНОСТИ

Относительная плотность материала характеризует степень заполнения его объема твердым веществом. Относительная плотность вычисляют по формуле:

$$\text{Пл} = \rho_0 / \rho , \quad (6.1)$$

где ρ_0 – средняя плотность материала, кг/м³;
 ρ – истинная плотность материала, кг/м³;

Пористость материала характеризует степень заполнения объема материала порами. Пористость вычисляют по формулам:

$$\text{По} = (1 - \text{Пл}) \cdot 100, [\%] \text{ или} \quad (6.2)$$

$$\text{По} = (1 - (\rho_0 / \rho)) \cdot 100, [\%]. \quad (6.3)$$

Пустотность характеризует степень заполнения объема сыпучего материала пустотами. Пустотность вычисляют по формуле:

$$V_{\text{п}} = (1 - (\rho_{\text{н}} / \rho_0)) \cdot 100, [\%] , \quad (6.4)$$

где $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность материала в рыхлонасыпном состоянии, кг/м³;
 ρ_0 – средняя плотность материала, кг/м³.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ

Истираемость характеризует способность материала изменяться по массе под действием истирающих усилий. На истираемость испытывают материалы, которые применяют для устройства тротуарных плит, лестничных ступеней, полов и др.

При определении истираемости руководствуются ГОСТ 13087-81 или ГОСТ 30629-99. Истираемость определяют на 5 образцах кубической формы с ребром 40–50 мм или на цилиндрах диаметром и высотой 40–50 мм.

Испытание проводят на круге истирания (рис. 7.1). Основной частью прибора является стальной круг, который приводится во вращение с помощью электродвигателя. Образец закладывается в держатель круга истирания и плотно прижимается к поверхности круга специальным грузом из расчета 600 г на см² площади истирания. Образцы материалов при испытании должны пройти 150 м пути при скорости вращения круга не более 35 об/мин. В качестве истирающего абразивного материала применяют нормальный кварцевый песок из расчета 20 г на каждые 30 м пути. Для равномерного истирания через каждые 30 м пути образец поворачивают на 90° и под него подсыпают новую порцию истирающего материала. Ранее подсыпанный истирающий материал с круга убирают.

Истираемость материала характеризуется потерей массы образца, отнесенной к единице площади его истирания, и определяется по формуле:

$$И = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad [\text{г/см}^2], \quad (7.1)$$

где m_1 – масса образца в сухом состоянии, кг;
 m_2 – масса образца в насыщенном водой состоянии, кг;
 F – площадь истирания, см².

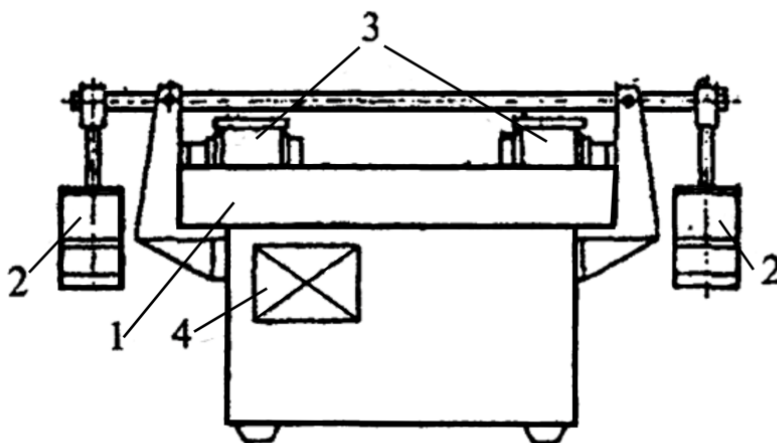


Рис. 7.1. Круг истирания: 1 – истирающий диск; 2 – нагружающее устройство; 3 – испытываемые образцы; 4 – счетчик оборотов

Таблица результатов испытаний

Наименование показателя	1	2
Масса образца до истирания, г		
Масса образца после истирания, г		
Истираемость, г/см ²		
Среднее значение истираемости, г/см ²		

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ И ИЗГИБЕ

Прочностью называют свойство материала сопротивляться разрушению от воздействия внешних сил, вызывающих внутренние напряжения. Под воздействием различных внешних нагрузок материалы в зданиях и сооружениях испытывают различные внутренние напряжения сжатия, растяжения, изгиба и др. Прочность является важным свойством для многих строительных материалов, от ее величины зависит нагрузка, которую может воспринимать данный элемент при заданном сечении. Если материал обладает большей прочностью, то размер сечения строительного элемента может быть уменьшен.

Прочность строительных материалов принято характеризовать пределом прочности при сжатии ($R_{сж}$), при изгибе ($R_{изг}$) и при растяжении (R_p). Определяют ее путем испытания образцов материала соответствующей формы (рис. 8.1а–ж) на гидравлических прессах (рис. 8.2), испытательных изгибающих или разрывных машинах.

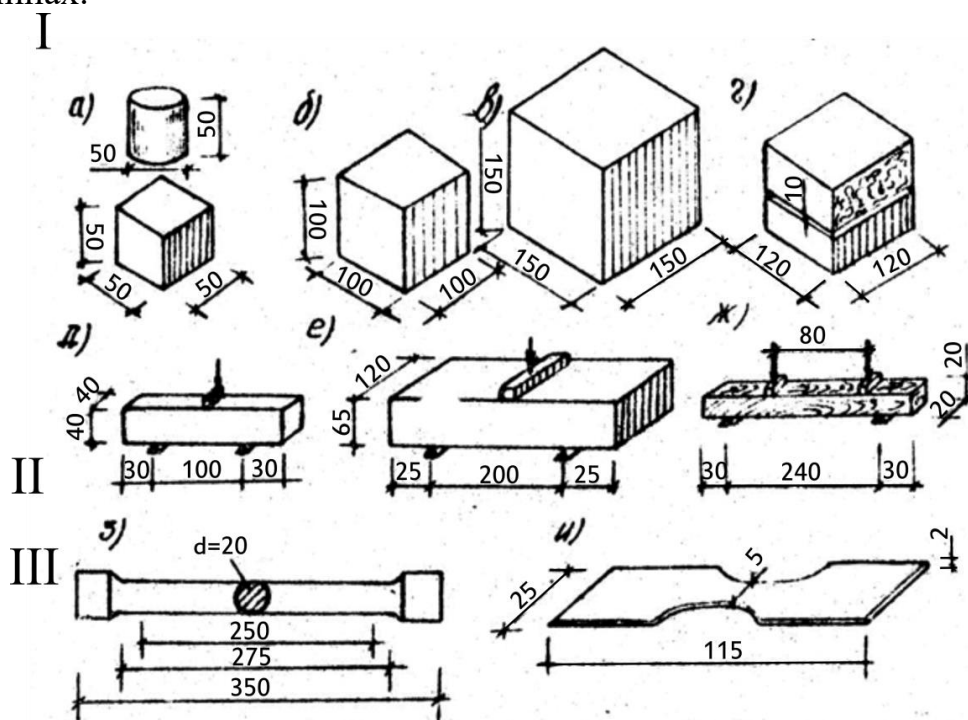


Рис. 8.1. Образцы для испытаний материалов: I – на сжатие; II – на изгиб;

III – на растяжение:

а – плотный природный камень; б – пористый природный камень; в – бетон;
 г – кирпич (куб склеен из двух половинок); д – цементный раствор; е – кирпич;
 ж – древесина; и – сталь; к – пластмасса

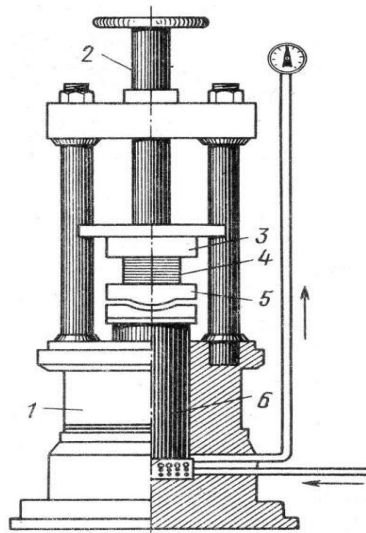


Рис. 8.2. Схема гидравлического пресса для испытания на сжатие:

1 – станина; 2 – винтовое приспособление для зажима образца; 3 – верхняя опорная плита; 4 – испытуемый образец; 5 – нижняя опорная плита с шаровой поверхностью; 6 – поршень

8.1. Определение предела прочности при сжатии

Пределом прочности при сжатии материала называют напряжение, соответствующее сжимающей нагрузке, при которой происходит разрушение материала. Предел прочности при сжатии определяют по формуле:

$$R_{сж} = P_{сж} / F, \quad [\text{МПа}(\text{кгс}/\text{см}^2)], \quad (8.1)$$

где $P_{сж}$ – разрушающая нагрузка, Н(кгс);

F – площадь поперечного сечения образца, м^2 (см^2).

Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ на соответствующие материалы.

Для определения предела прочности при сжатии образцы материала подвергают действию сжимающих внешних сил и доводят до разрушения. Форма и размеры образцов различных строительных материалов должны соответствовать требованиям ГОСТ на данный вид материала. Испытуемые образцы должны быть правильной геометрической формы в виде куба, цилиндра или параллелепипеда. Образцы природных каменных материалов, имеющих форму куба, могут быть приняты с ребром 50, 70, 100, 150 и 200 мм. Образцы из плотных материалов можно принять меньшего размера, а из пористых материалов – большего. Такие образцы-кубы изготавливают с помощью корундовых или алмазных дисковых пил, а образцы-цилиндры – с помощью специальных полых сверл. После изготовления образцы шлифуют так, чтобы противоположные нагружаемые грани были строго параллельны. Правильность плоскостей проверяют угольником и штангенциркулем, образцы маркируют и указывают на них направление сланцеватости (волокнистости). Для испытания образцов материала на сжатие применяют гидравлические прессы (рис. 8.2). Предварительно высушенные перед испытанием образцы измеряют с точностью до 1 мм. Каждый линейный размер куба вычисляют как среднее арифметическое результатов измерений двух средних линий противоположных поверхностей образца. Диаметр цилиндра вычисляют как среднее арифметическое значение результатов четырех измерений: в каждом торце по двум

взаимно перпендикулярным направлениям. По результатам измерений вычисляют площадь сечения образца, перпендикулярную к направлению разрушающего усилия. Направление разрушающего усилия при испытании должно быть принято параллельным направлению сланцеватости или волокнистости образца. Для испытаний образец устанавливают на нижнюю опорную плиту прессы точно по ее центру. Верхнюю опорную плиту при помощи винта опускают на образец, плотно закрепляют его между двумя опорными плитами, включают в действие насос прессы и дают на образец нагрузку, следя за скоростью ее нарастания. Она должна быть 0,5 – 1 МПа в 1 с и обеспечить разрушение через 20–60 сек после начала испытания. Значение разрушающей нагрузки должно составлять не менее 10% предельного развиваемого прессом усилия. В момент разрушения образца стрелка манометра прессы остановится и пойдет обратно. Максимальное показание разрушающей нагрузки фиксируется контрольной стрелкой.

Для каждого материала проводят испытание не менее чем на трех образцах. За окончательный результат принимается среднее арифметическое результатов всех испытаний.

После вычисления пределов прочности при сжатии образцов кубов и образцов цилиндров из природного камня их следует пересчитать и перевести к стандартному – кубу размером 150x150x150 мм. Для этого результаты испытаний умножают на коэффициент масштабности (K_M), указанный в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Переходные коэффициенты масштабности

Размер ребра куба или диаметра и высоты цилиндра, мм	Коэффициент масштабности	
	кубов	цилиндров
200	1,05	-
150	1,00	1,05
100	0,95	1,02
70	0,85	0,91
от 40 до 50	0,75	0,81

8.2. Определение коэффициента размягчения (водостойкости) материала

Физическое состояние материала, в особенности его влажность, оказывает большее влияние на величину предела прочности образца. Прочность большинства природных и искусственных каменных материалов в сухом состоянии выше, чем в насыщенном водой состоянии. Свойство материалов сохранять прочность в водонасыщенном состоянии называется **водостойкостью** и характеризуется **коэффициентом размягчения**, который определяют по формуле:

$$K_p = R_{сж}^B / R_{сж}^C,$$

где $R_{сж}^B$ – предел прочности при сжатии во донасыщенных образцов, МПа (кгс/см²).

$R_{сж}^C$ – предел прочности при сжатии образцов, высушенных до постоянной массы, МПа (кгс/см²).

В соответствии с ГОСТ 30629-99, для определения прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии образцы материалов из горных пород после измерений укладывают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов не менее чем на 20 мм. В таком положении образцы следует выдержать в течение 48 ч. После чего их вынимают из сосуда, удаляют влагу с поверхности влажной тканью, и каждый образец подвергают испытанию на прессе по описанной выше методике. Для испытаний также берут не менее 3 образцов. По результатам испытаний делается заключение о водостойкости материала и области его применения. Строительный материал принято считать водостойким, если коэффициент размягчения его составляет не менее 0,8.

8.3. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе определяют на гидравлических прессах, или на специальных испытательных изгибающих машинах, например, МИИ-100. Образцы изготавливают согласно ГОСТ на испытываемый материал. Например, при испытании цемента, гипса изготавливают образцы-балочки размером 40x40x160 мм (рис. 8.1д), а при испытании древесины – балочки размером 20x20x300 мм (рис. 8.1ж). Нагрузка на образец может передаваться одним или двумя грузами по схемам, которые приводятся соответственно на рис. 8.1д и 8.1ж.

Перед испытанием образцов на них отмечают метками места приложения нагрузок и опирания, определяют размеры сечения в местах приложения нагрузок (ширину и высоту поперечного сечения). Затем, если испытание проводят на прессе на нижней опорной плите укрепляют два опорных катка, на которые устанавливают по меркам испытываемый образец. Между верхней плитой и образцом устанавливают верхнюю планку, по которой передается изгибающая нагрузка. После испытаний на прессе определяется разрушающая изгибающая нагрузка $R_{изг}$, а на машине МИИ-100 сразу определяется величина предела прочности при изгибе $R_{изг}$. В первом случае предел прочности при изгибе определяют по формулам:

а) при одном сосредоточенном грузе и образце-балочке прямоугольного сечения:

$$R_{изг} = 3Pl/2bh^2, \text{ [МПа(кгс/см}^2\text{)]}, \quad (8.3)$$

б) при двух равных грузах, расположенных симметрично оси балочки в 1/3 пролета:

$$R_{изг} = P(1-a)/2bh^2, \text{ [МПа(кгс/см}^2\text{)]},$$

где $P_{изг}$ – разрушающая нагрузка, Н(кгс);

l – пролет между опорами, м (см);

a – расстояние между грузами, м (см);

b – ширина поперечного сечения балочки, м (см);

h – высота поперечного сечения балочки, м (см).

Окончательный результат предела прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний 3 образцов.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНСТРУКТИВНОГО КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ

Коэффициент конструктивного качества материала (ККК) материала характеризует его конструктивные свойства. Коэффициент конструктивного качества определяют по формулам:

$$\text{ККК} = \frac{R}{\rho_0}, \text{ [МПа]}, \quad (9.1)$$

где R – предел прочности материала, МПа;

ρ_0 – средняя плотность материала, г/см³, подставляемая в формулу в виде безразмерной величины.

Наиболее эффективные конструкционные материалы имеют более высокую прочность при малой средней плотности. Повышения ККК можно добиться снижением средней плотности материала и увеличением его прочности.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ

Морозостойкость характеризует способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. Основная причина разрушения влажного материала при замораживании заключается в давлении на стенки пор воды при ее замерзании, составляющем десятки и сотни МПа и приводящем к разрушению материала.

Определение морозостойкости материалов из горных пород производят в соответствии с ГОСТ 30629-99. Для этого готовят образцы кубической формы с ребром 40–50 мм или цилиндрической – диаметром и высотой 40–50 мм. Испытание проводят в следующей последовательности. Образцы укладывают в ванну на решетку в один ряд и заливают водой с температурой $20 \pm 5^\circ\text{C}$ так, чтобы уровень воды в ней был выше верха образцов на 20 мм. После выдержки образцов в течение 48 часов, воду сливают. Пять образцов испытывают на сжатие по стандартной методике, ванну с остальными образцами помещают в холодильную камеру и доводят температуру до минус $17\text{--}25^\circ\text{C}$. При установившейся температуре в пределах минус $17\text{--}25^\circ\text{C}$ образцы выдерживают 4 часа, после чего ванну вынимают из камеры и наливают в нее проточную или сменяемую воду с температурой $20 \pm 5^\circ\text{C}$, и выдерживают до полного оттаивания образцов, но не менее 2 часов. Одно замораживание и одно оттаивание считаются за один цикл. Циклы испытаний повторяют, и в зависимости от ожидаемой величины морозостойкости для данного материала после 15, 25, 60 или более циклов по пять образцов подвергают испытанию на сжатие по ранее изложенной методике.

По результатам испытаний вычисляют потерю прочности образцов по формуле:

$$\Delta = (R_{\text{сж}} - R_{\text{м}}) / R_{\text{сж}}, \quad (9.2)$$

где $R_{\text{сж}}$ – среднее арифметическое значение прочности на сжатие пяти образцов в насыщенном водой состоянии, [МПа(кгс/см²)];

$R_{\text{м}}$ – среднее значение прочности на сжатие пяти образцов после их испытания на морозостойкость, [МПа (кгс/см²)].

Если среднее значение потери прочности пяти образцов при сжатии после попеременного их замораживания и оттаивания не превышает 20% при установленном числе циклов, то такой материал отвечает соответствующей марке по морозостойкости. При потере прочности свыше 20% материал не отвечает соответствующей марке по морозостойкости. Морозостойкость может оцениваться также по потере массы образцами из испытуемого материала. В этом случае после насыщения водой образцы (не менее 5) взвешивают, а затем после соответствующего количества циклов замораживания-оттаивания снова взвешивают. По результатам вычисляют потерю массы образцов по формуле:

$$\Delta = (m_1 - m_2) / m_1, \quad (9.3)$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;
 m_2 – масса образца после испытания, г.

Пределом морозостойкости считается то наибольшее количество циклов, которое материал выдержал при потере массы не более 5%.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Для проведения работ необходимо располагать следующим оборудованием и материалами:

- | | |
|---|-----------|
| 1) весы технические с разновесами – 4–5 компл.; | |
| 2) пикнометры 100–200 мл | 4 шт.; |
| 3) объемомеры Ле-Шателье | 4 шт.; |
| 4) круг истирания | 1 шт.; |
| 5) пресс гидравлический ПСУ-10 | 1 шт.; |
| 6) машина испытательная изгибающая МИИ-100 | 1 шт.; |
| 7) электроплитка | 1 шт.; |
| 8) весы гидростатические | 2 компл.; |
| 9) штангенциркуль | 2 шт.; |
| 10) чашка с парафином | 1 шт.; |
| 11) образцы для испытаний на сжатие, изгиб, истирание | 8 шт.; |
| 12) порошок известняка | 1 кг. |

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и ознакомившиеся с инструкцией по эксплуатации приборов и оборудования. Особое внимание следует обратить на безопасные приемы работы на круге истирания. К работе допускаются студенты только под руководством преподавателя.

В случае выявления неисправности или поломки оборудования, работы следует прекратить, оборудование обесточить, о случившемся сообщить заведующему лабораторией.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Относительная плотность и пористость материала, методы определения.
3. Влияние влажности строительных материалов на их свойства.
4. Водопоглощение строительных материалов, методы определения.
5. Коэффициент размягчения строительных материалов, методы определения.
6. Водонепроницаемость, гигроскопичность; привести примеры водонепроницаемых строительных материалов.
7. Морозостойкость строительных материалов. Факторы, влияющие на морозостойкость.
8. Методы определения морозостойкости строительных материалов.
9. Теплопроводность строительных материалов.
10. Огнестойкость строительных материалов, группы строительных материалов по огнестойкости.
11. Определение предела прочности при сжатии и при изгибе природных каменных материалов.
12. Огнеупорность строительных материалов. Группы строительных материалов по огнеупорности.
13. Прочность материалов. Факторы, влияющие на прочность.
14. Привести примеры строительных материалов, хорошо работающих на сжатие и изгиб.
15. Неразрушающие методы контроля прочности строительных материалов.
16. Какая существует зависимость между прочностью и плотностью материала?
17. Упругость, пластичность и хрупкость материалов.
18. Твердость, истираемость, износ материалов.
19. Долговечность, химическая стойкость материалов.
20. Коэффициент конструктивного качества материалов.

ЗАДАЧИ

1. Образец камня неправильной формы весил на воздухе 80 г. После покрытия поверхности образца парафином масса его в воде составила 37 г. На парафинирование образца израсходовано парафина 0,75 г. (плотность парафина 0,9 г/см³). Вычислить среднюю плотность камня, определить его пористость, если истинная плотность 2,6 г/см³.

2. Цилиндрический образец горной породы диаметром и высотой 5 см весит в сухом состоянии 245 г. После насыщения водой его масса увеличилась до 249 г. Определить среднюю плотность камня и его водопоглощение (объемное и по массе). Образец камня в сухом состоянии весит 77 г, а после насыщения водой – 79 г. Вычислить среднюю плотность и пористость, если его плотность 2,67 г/см³, а объемное водопоглощение – 4,28%.

3. Гидравлический пресс имеет измерительные шкалы на 50,150 и 300 т. Подобрать шкалу прессы для испытаний на прочность при сжатии образцов бетона, изготовленных в виде кубов с ребром 15 см после 28 суток твердения. Известно, что проектная марка бетона – 40 МПа (400 кгс/см²).

4. Средний предел прочности при сжатии образца камня-песчаника в сухом состоянии равен 145 МПа, а после насыщения водой – 136 МПа. Определить коэффициент размягчения песчаника и сделать заключение о его водостойкости.

5. На кирпичный столб сечением 50х50 см приложена вертикальная нагрузка в 36 т. Прочность кирпича в сухом состоянии на сжатие (марка) 15 МПа (150 кгс/см²), а предельно допустимая нагрузка на каждый см² сечения столба не должна превышать 10% прочности кирпича. Определить, выдержит ли, находясь в воде, столб указанную нагрузку, если коэффициент размягчения кирпича равен 0,85.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные материалы: Учебник / Под общей ред. В.Г. Микульского.– М.: Изд-во АСВ, 2002. – 536 с.
2. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Высшая школа, 1983. – 487с.
3. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов. М.: Высшая школа, 1984. –168 с.
4. Скрамтаев Б.Г. и др. Примеры и задачи по строительным материалам. – М.: Высшая школа, 1976. – 123с.
5. Вайнштейн М.З. Строительные материалы. Сб. примеров и задач. Йошкар-Ола, МарПИ, 1991. – 197с.
6. ГОСТ 30629-99. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методыиспытаний
7. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
8. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов строительного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
9. ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения истираемости.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Средние значения истинной плотности некоторых строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, кг/м ³
Гранит	2600 – 2900
Известняк	2400 - 2600
Песок кварцевый	2600 – 2700
Портландцемент	2900 – 3100
Кирпич глиняный	2500 – 2600
Древесина	1500 – 1600

Таблица 2

Средняя плотность некоторых строительных материалов в воздушно-сухом состоянии

Наименование материала	Средняя плотность, кг/м ³
Гранит	2500 – 2700
Известняк	1800 – 2400
Кирпич глиняный	1600 – 1900
Кирпич диатомитовый	600 – 800
Бетон обычный	2000 – 2400
Шлакобетон	1200 – 1600
Песок сухой	1450 – 1650
Гравий	1400 – 1700
Керамзит	300 – 900
Сталь	7850
Дуб	700 – 900
Сосна	400 – 600
Минеральная вата	200 – 300
Совелит	350 – 500
Мипора (поропласт)	20 – 40

Таблица 3

Показатели истираемости некоторых материалов

Материал	Истираемость, г/см ²
Гранит	0,1 – 1,5
Кварцит	0,06 – 0,12
Керамические плитки для полов	0,25 – 0,3
Известняк	0,3 – 0,8
Клинкер дорожный	0,22 – 0,43

Гайфуллин А.Р., Рахимова Н.Р.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторных работ
по дисциплинам «Материаловедение» и «Строительные материалы»

Редактор В.Н. Слестникова

Издательство

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать 15.08.16

Формат 60×84/16

Заказ № 229

Печать ризографическая

Усл.-печ. л. 1,5

Тираж 50 экз.

Бумага офсетная № 1

Уч.-изд. л. 1,5

Отпечатано в полиграфическом секторе

Издательства КГАСУ.

420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

