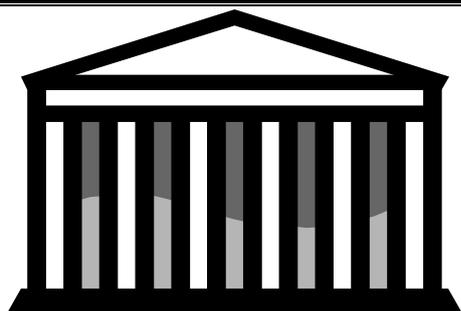


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»



**Кафедра технологии строительных
материалов, изделий и конструкций**

**КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТАВА, СТРУКТУРЫ
И СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для бакалавров направления
020300.62 «Химия, физика и механика материалов»

ВОРОНЕЖ -2013

Составители Г.С. Славчева
УДК 666.9(07)

Комплексная диагностика состава, структуры и свойств строительных материалов [Текст]: [Текст]: мет. указания к выполнению лабораторных работ для бакалавров направления 020300.62 - Химия, физика и механика материалов // Воронеж. гос. арх. – строит. ун-т; Сост.: Г.С. Славчева. - Воронеж, 2014.- 31 с.

Методические указания предназначены для закрепления на практике, полученных теоретических знаний о современных методах оценки состава, структуры и свойств строительных материалов; формирования навыков в разработке алгоритма диагностики и тестирования состава, структуры и свойств материала; формирования практических навыков работы по испытанию свойств и исследованию состава и структуры строительных материалов.

Ил. 9. Табл. 9. Библиогр.: 13 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Изучение и выбор методов испытаний различных групп свойств строительных материалов. Разработка программы испытаний.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Практическое освоение комплекса методов оценки физических и теплотехнических свойств строительных материалов...	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Практическое освоение комплекса методов оценки показателей сопротивления разрушению строительных материалов...	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Практическое освоение комплекса методов оценки деформативных характеристик строительных материалов	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. Практическое освоение методов анализа состава и структуры строительных материалов.....	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Рентгенограммы образцов цементного камня.....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Рентгенограммы образцов силикатного камня	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Рентгенограммы образцов силикатного микробетона, полученного с использованием хвостов обогащения	28
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Идентификационные характеристики соединений, входящих в состав цементирующих веществ цементного камня.....	29

ВВЕДЕНИЕ

Цель методических указаний к выполнению лабораторных работ по курсу «Комплексная диагностика состава, структуры и свойств строительных материалов» закрепить на практике комплекс представлений, необходимых для установления технического состояния или уровня качества материалов и конструкций на их основе, выявить причины данного состояния или уровня свойств материала

В предлагаемом цикле лабораторных работ студент должен:

- 1) изучить процедуру и алгоритм диагностики структуры и свойств строительных материалов;
- 2) освоить методы испытаний различных групп свойств строительных материалов;
- 3) изучить основные методики исследования состава и структуры строительных материалов.

Лабораторные работы рассчитаны на 14 часов учебных занятий. Принято следующее распределение часов на выполнение лабораторных работ.

Таблица

Номер работы	Наименование работы	Объем работы в часах
1	Изучение и выбор методов испытаний различных групп свойств строительных материалов. Разработка программы испытаний	2
2	Практическое освоение комплекса методов оценки физических и теплотехнических свойств строительных материалов	4
3	Практическое освоение комплекса методов оценки показателей сопротивления разрушению строительных материалов	2
4	Практическое освоение комплекса методов оценки деформативных характеристик строительных материалов	4
5	Практическое освоение методов анализа состава и структуры строительных материалов	2

Подготовка к каждой лабораторной работе включает изучение теоретических положений, ознакомление с методикой выполнения лабораторной работы.

По выполненным лабораторным работам составляется отчет, который защищается перед преподавателем. В отчете необходимо привести:

- 1) название работы;
- 2) цель работы;
- 3) перечень используемого оборудования и материалов;
- 4) методику выполнения работы;
- 5) результаты работы в виде необходимых расчетов, таблиц, графических зависимостей;
- б) выводы.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ И ВЫБОР МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ

1.1. Цель работы

1. Изучение порядка выбора и назначения методов определения свойств строительных материалов.
2. Разработка программы комплексной оценки свойств на примере конкретного строительного материала.

1.2. Рабочее задание

Для комплексной оценки качества конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного ячеистого бетона марки по средней плотности D1200 выбрать и назначить показатели свойств и соответствующие методы их определения. Разработать рабочую программу комплексных лабораторных испытаний свойств поризованного бетона. Изготовить образцы из поризованного бетона.

1.3. Порядок выполнения работы

1. Проанализировать технические требования к свойствам конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного ячеистого бетона (ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия). Установить нормируемые номенклатуру и показатели физико-технических свойств неавтоклавного ячеистого бетона марки по средней плотности D1200 исходя из возможной области их применения.

2. Проанализировать виды эксплуатационных воздействий на материал в зависимости от области его применения и в случае необходимости выявить дополнительные его характеристики, нуждающиеся в определении и контроле. Результаты анализа оформить в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1

Эксплуатационные воздействия на конструкцию из неавтоклавного ячеистого бетона

Вид конструкции	Виды воздействий с оценкой их возможного уровня	Наименование и количественное значение свойства
Наружные стены	1	
	2	
	...	
Внутренние стены	1	
	2	
	...	
Перекрытия	1	
	2	
	...	

3. Изучить и проанализировать нормируемые ГОСТ 25485-89 методы контроля физико-технических показателей ячеистого бетона:

- прочность на сжатие и растяжение - по **ГОСТ 10180**;
- среднюю плотность - по **ГОСТ 12730.1** или **ГОСТ 17623**;
- отпускную влажность - по **ГОСТ 12730.2, ГОСТ 21718**;
- морозостойкость - по прил. 3;
- усадку при высыхании – по прил. 2;
- теплопроводность - по **ГОСТ 7076**, отбор проб - по **ГОСТ 10180**;
- сорбционную влажность - по **ГОСТ 24816** и **ГОСТ 17177**;
- паропроницаемость - по **ГОСТ 25898**;
- призмную прочность - по **ГОСТ 24452**;
- модуль упругости - по **ГОСТ 24452** и (или) при. 5.

4. Выбрать методы определения и контроля дополнительных (не нормируемых ГОСТ 25485-89) характеристик ячеистого бетона.

5. Разработать программу комплексных исследований физико-технических свойств конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного ячеистого бетона.

6. Изготовить образцы неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200 для лабораторных испытаний показателей физико-технических свойств. Расход сырьевых компонентов приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Расход сырьевых компонентов для ячеистого неавтоклавного бетона

На 1 м ³	На замес V=4,5 л
Цемент = 488 кг	Цемент = 2200 г
Песок = 844 кг	Песок = 3800 г
Вода = 0,222 м ³	Вода = 1000 мл
Воздухововлекающая добавка = 0,00478 м ³	Воздухововлекающая добавка = 21,5 мл

1.4. Выводы по работе

Результатом работы является создание программы комплексных исследований физико-технических свойств неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200, которую оформляют в форме табл. 1.3.

Таблица 1.3

Программа исследований свойств неавтоклавного ячеистого бетона

Наименование свойства	Метод испытания	Размер и количество образцов

Лабораторная работа № 2

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСВОЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

2.1. Цель работы

1. Освоение методик определения физико-технических показателей конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов.
2. Оценка физико-технических показателей неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200.

2.2. Оборудование, инструменты и материалы

- Весы лабораторные по ГОСТ 24104-2001;
- шкаф сушильный по ГОСТ 13474-83;
- эксикаторы по ГОСТ 25336-82;
- противни;
- хлористый кальций по ГОСТ 450-77.
- емкость для насыщения образцов водой;
- стаканчики стеклянные для взвешивания типа СВ или СН по ГОСТ 7148-70;
- ареометры без шара с оцифровкой шкалы А1 или А2, ценой деления шкалы 1 кг/м^3 по ГОСТ 1300-74;
- кислота серная по ГОСТ 4204-77;
- проволочная щетка или абразивный камень;
- камера морозильная (по ГОСТ 10060-87);
- камера для оттаивания образцов;
- ванна для насыщения образцов.

2.3. Рабочее задание

Произвести оценку следующих физических и теплотехнических характеристик неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200:

➤ средней плотности по ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности, ГОСТ 27005—86. Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности;

➤ влажности после твердения по ГОСТ 12730.2-78. Бетоны. Методы определения влажности;

➤ сорбционной влажности по ГОСТ 24816-81. Материалы строительные. Методы определения сорбционной влажности;

➤ капиллярного насыщения по ГОСТ 12852-67. Бетоны ячеистые. Методы определения капиллярного насыщения;

- водопоглощения базовым способом по ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения;
- теплопроводности ГОСТ 7076-87. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности;
- морозостойкости по прил. 3 ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые.

2.4. Методика выполнения работы

2.4.1. Определение средней плотности

Плотность бетона определяют испытанием образцов в соответствии с ГОСТ 12730.1-78 и ГОСТ 27005—86 в состоянии естественной влажности или нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, нормальном, водонасыщенном. Плотность изготовленных образцов в работе необходимо оценить в состоянии естественной влажности и в сухом состоянии.

При определении плотности бетона в состоянии *естественной влажности* (формула 2.1) образцы испытывают сразу же после их отбора или хранят в паронепроницаемой упаковке или герметичной таре, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в 2 раза. Плотность бетона при *нормируемом влажностном состоянии* определяют испытанием образцов, имеющих нормируемую влажность или произвольную влажность, с последующим пересчетом полученных результатов на нормированную влажность по формуле 2.2. При определении плотности бетона в *сухом состоянии* образцы высушивают до постоянной массы в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.2-78.

2.4.2. Определение влажности после твердения

Влажность бетона определяют в соответствии с ГОСТ 12730.2-78 испытанием образцов или проб, полученных дроблением образцов после их испытания на прочность по ГОСТ 27005—86.

Влажность бетона пробы (образца) по массе W_m в процентах вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$W_m = \frac{m_e - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где m_e — масса пробы (образца) бетона до сушки, г;

m_c — масса пробы (образца) бетона после сушки, г.

Влажность бетона пробы (образца) по объему W_o в процентах вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$W_o = \frac{W_m \rho_o}{\rho_g}, \quad (2.2)$$

где ρ_o — плотность сухого бетона, определенная по ГОСТ 12730.1-78, г/см³;

ρ_g — плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

2.4.3. Определение сорбционной влажности, капиллярного насыщения и водопоглощения

Сорбционную влажность материала определяют по методике, приведенной в ГОСТ 24816-81. Сущность метода определения сорбционной влажности заключается в доведении образцов материала, предварительно высушенных до постоянной массы, до равновесного состояния в искусственно созданных в эксикаторах паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 40, 60, 80, 90, 97 % при температуре 20°C и в последующем определении влажности этих образцов путем взвешивания. Сушку производят по ГОСТ 12730.2-78.

Сорбционную влажность образца материала (W_c) в процентах вычисляют по формуле

$$W_c = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_1} \cdot 100, \quad (2.3)$$

где m_1 - масса бюкса с образцом материала после окончания процесса сорбции, г;
 m_2 - масса бюкса с образцом материала после высушивания образца до постоянной массы, г;

m_3 - масса высушенного до постоянной массы бюкса, г.

Капиллярное насыщение определяют испытанием образцов размером 4×4×16 см, высушенных до постоянной массы. Сушку производят по ГОСТ 12730.2-78.

Образцы помещают в емкость, наполненную водой с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был ниже верхнего уровня уложенных образцов примерно на 20 мм. Температура воды в емкости должна быть (20 ± 2) °C. Образцы взвешивают через 1, 3, 7, 14, 28, 48, 72 часа капиллярного насыщения на обычных весах с погрешностью не более 0,1 %. Испытание проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1 %.

Величину капиллярного насыщения, г/см³, поверхности отдельного образца определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$KH = \frac{m_{вл} - m_c}{S_{обр}} \quad (2.4)$$

где $m_{вл}$ — масса образца бетона после капиллярного насыщения, г;

m_c — масса образца бетона после сушки, г;

$S_{обр}$ — площадь поверхности образца бетона.

Размеры и количество образцов для определения водопоглощения принимают по ГОСТ 12730.3-78 (4×4×16 см или образцы неправильной формы, отобранные после испытаний на прочность). Испытание образцов ячеистого бетона проводят в состоянии естественной влажности или высушенных до постоянной массы. Сушку образцов производят по ГОСТ 12730.2-78.

Водопоглощение бетона отдельного образца по массе, W_m , в процентах определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле (2.1). Водопоглощение бетона от-

дельного образца по объему W_0 в процентах определяют с погрешностью до 0,1 % по формуле (2.2). Водопоглощение бетона серий образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

2.4.4. Определение теплопроводности

Сущность метода заключается в создании теплового потока, направленного перпендикулярно к наибольшим граням плоского образца определенной толщины, измерении плотности стационарного теплового потока и температур на противоположных гранях образца. Теплопроводность определяют на пяти образцах, высушенных до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Образцы для определения теплопроводности изготавливают в виде пластины размером в плане от $(100 \pm 1) \times (100 \pm 1)$ мм до $(250 \pm 1) \times (250 \pm 1)$ мм и толщиной от 6 мм до 20 мм (при размерах образца 100×100 мм) и от 20 мм до 45 мм (при размерах образца 250×250 мм). Допускается изготавливать образцы в виде диска диаметром от (100 ± 1) мм до (250 ± 1) мм. Разнотолщинность и отклонение от плоскостности наибольших граней образца не должны превышать 0,5 мм.

Образцы, имеющие разнотолщинность и отклонение от плоскостности более 0,5 мм, шлифуют, а затем высушивают и взвешивают. Толщину образца (высоту рамки) измеряют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм в четырех углах на расстоянии (50 ± 5) мм от вершины угла и посередине каждой стороны. За толщину образца принимают среднее арифметическое значение результатов всех измерений. Размеры образца (внутренние размеры рамки) в плане измеряют линейкой с погрешностью не более 0,5 мм.

Для определения теплопроводности применяют установку ИТП-МГ4 «250» или ИТП-МГ4 «100» (рис. 2.1) или другое устройство, аттестованное в установленном порядке; образцовые меры теплопроводности из органического стекла по ГОСТ 17622—72 и оптического кварцевого стекла по ГОСТ 15130—86 со свидетельствами о государственной поверке.

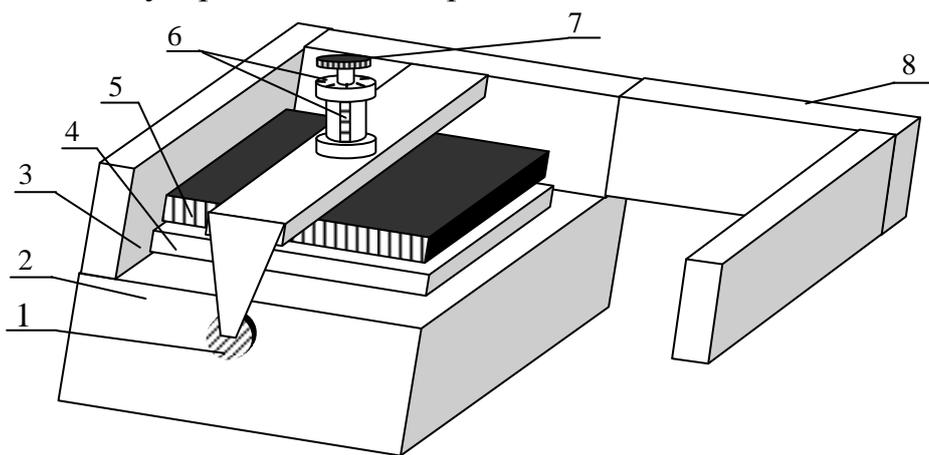


Рис. 2.1. Общий вид установки для определения теплопроводности ИТП-МГ4 «250» (ИТП-МГ4 «100»):

- 1 – эксцентриковый замок; 2 – холодильник; 3 – теплоизоляция; 4 – образец;
- 5 – нагреватель; 6 – отсчетное устройство; 7 – прижимной винт;
- 8 – Г-образная стенка.

Образец устанавливают между теплообменниками 2 и 5 (см. рис. 2.1). Расположение образца — горизонтальное. Вращая прижимной винт 7 по часовой стрелке, зажимают образец до срабатывания трещотки динамометрического устройства. При этом давление, создаваемое на испытываемый образец, составляет 2,5 кПа. Погрешность создания давления не превышает 1,5 %.

Устанавливают заданные значения температуры холодильника и нагревателя, которые отражаются в соответствующих строках индикатора. Перепад температуры на поверхностях высушенного образца должен быть 10 — 30 °С. Диапазон регулирования температур:

холодильника – $T_x = (5 \dots 25) \pm 0,1$ °С;

нагревателя – $T_n = (25 \dots 60) \pm 0,1$ °С.

Средняя температура образца – от плюс 15 до плюс 42,5 °С.

Кратковременным нажатием кнопки ПУСК прибор запускается в работу. В дальнейшем, управляя нагревателем и холодильником, программное устройство прибора устанавливает на поверхности образца температуры T_x и T_n и поддерживает их с точностью $\pm 0,1$ °С до тех пор, пока тепловой поток, проходящий через испытываемый образец, не стабилизируется. В дальнейшем наблюдение за тепловым потоком осуществляется автоматически, таймер в нижней строке индикатора отсчитывает время наблюдений – 1800 с, по истечении которого производится автоматическое вычисление определяемых значений коэффициента теплопроводности и термического сопротивления по формулам

$$\lambda = \frac{H \cdot q}{T_n - T_x}, \quad (2.5)$$

$$R_n = \frac{T_n - T_x}{q} - 2R_k, \quad (2.6)$$

где λ — коэффициент теплопроводности образца, Вт/(м·К);

H — толщина образца в процессе испытания, м;

R_n — термическое сопротивление испытываемого образца, м²·К/Вт;

R_k — термическое сопротивление контакта между лицевой гранью образца и рабочей поверхностью плиты прибора, м²·К/Вт, $R_k = 0,005$ м²·К/Вт (для теплоизоляционных материалов и изделий не учитывают);

q — плотность стационарного теплового потока, проходящего через образец, Вт/м²;

T_n — температура горячей лицевой грани испытываемого образца, К;

T_x — температура холодной лицевой грани испытываемого образца, К.

Теплопроводность материала или изделия вычисляют как среднее арифметическое значение теплопроводности испытанных образцов. Погрешность определения теплопроводности ($\Delta\lambda$) данным методом составляет не более 7 %.

2.4.4. Определение морозостойкости

Морозостойкость ячеистых бетонов определяют по методике, приведенной в прил. 3 ГОСТ 25485-89. Морозостойкость бетона контролируют путем испытания образцов-кубов размерами 100x100x100 мм. Число образцов для испытаний составляет не менее двадцати одного. Продолжительность одного цикла замораживания при установившейся температуре в камере минус (18 ± 2) °С должна быть не менее 4 ч.

Относительное снижение прочности R_{rel} , %, основных образцов рассчитывают по формуле

$$R_{rel} = \left(1 - \frac{\overline{R}_{min}}{\overline{R}_{mik}} \right) \cdot 100, \quad (2.7)$$

где \overline{R}_{min} - среднее значение прочности основных образцов после заданного числа циклов испытаний, МПа;

\overline{R}_{mik} - среднее значение прочности контрольных образцов, МПа.

Потерю массы (m , %, образцов вычисляют по формуле

$$\Delta m = \frac{m_n (1 - w_n) - \overline{m}_n (1 - \overline{w}_n)}{m_n (1 - w_n)}, \quad (2.8)$$

где m_n – среднее значение массы основных образцов, г, после водонасыщения;

w_n – среднее значение влажности контрольных образцов, в частях от единицы, после водонасыщения;

\overline{m}_n – среднее значение массы основных образцов, г, после прохождения установленного или промежуточного числа циклов;

\overline{w}_n – среднее значение влажности основных образцов, в частях от единицы, после прохождения установленного или промежуточного числа циклов.

2.5. Результаты работы

Полученные результаты испытаний приводятся в виде табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты испытаний образцов ячеистого неавтоклавного бетона

Наименование свойства	Нормативное значение	Полученное значение

2.6. Выводы по работе

На основании полученных данных делается заключение о соответствии показателей физических и теплотехнических свойств неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200 нормативным требованиям.

Лабораторная работа № 3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Цель работы

1. Освоение методов определения и контроля прочностных показателей конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов.
2. Оценка прочностных показателей неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200.

3.2. Оборудование, инструменты и материалы

- Формы;
- испытательная машина или пресс (способные фиксировать нагрузки, начиная со 100 Н);
- весы лабораторные по ГОСТ 24104—80;
- штангенциркули по ГОСТ 166—80;
- поверочные угольники по 90° по ГОСТ 3749—77;
- устройство для образования искусственного надреза.

3.3. Рабочее задание

Произвести оценку следующих прочностных характеристик неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200:

- прочности при сжатии и растяжении при изгибе по ГОСТ 10180—90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам;
- показателя трещиностойкости (критического коэффициента интенсивности напряжений при нормальном отрыве (K_{Ic})) согласно авторской методике ВГАСУ [2].

3.4. Методика выполнения работы

3.4.1. Определение прочности при сжатии и растяжении при изгибе

Прочность при сжатии определяется в соответствии с ГОСТ 10180—90 путем испытания трех образцов размером 100×100×100 мм. Прочность при растяжении при изгибе определяется путем испытания образцов размером 40×40×160 мм.

Отклонения между собой значений средней плотности бетона отдельных серий и средней плотности отдельных образцов в каждой серии к моменту их испытания не должны превышать 50 кг/м³. При несоблюдении этого требования результаты испытаний не учитывают. Перед испытанием образцы взвешивают с целью определения их средней плотности по ГОСТ 12730.1. При автоматическом определении массы образцов погрешность принимают по среднему классу точности по ГОСТ 23676.

Прочность материала при сжатии и растяжении при изгибе определяют как среднеарифметическое значение прочностных показателей всех испытанных образцов.

3.4.2. Определение трещиностойкости

Коэффициент интенсивности напряжений – это критерий пропорциональности напряжений, обуславливающий начало развития трещины. Критический коэффициент интенсивности напряжений при нормальном отрыве (вязкость разрушения) ячеистого бетона определяют путем испытания специальных образцов-призм с надрезом, выполняющим роль инициатора развития магистральной трещины в образце при нагружении его по схеме трехточечного сосредоточенного изгиба [8].

Форма и размеры образцов должны соответствовать указанным в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Геометрические параметры образцов, испытываемых на вязкость разрушения

Форма	Параметр	Геометрический размер, мм	Соотношение параметров
Призма	Толщина, t	40	-
	Высота, h	80	$2t$
	Длина, L	400	$4h+2t$
	Расстояние между опорами, S	320	$4h$
	Глубина надреза, l	28-32	$(0,35\div 0,40)h$

Допускается применение образцов больших размеров. Отклонение размеров образцов от номинальных, указанных в табл. 3.2, не должно превышать $\pm 1\%$. Неплоскостность опорных поверхностей образцов не должна превышать 0,1 мм на 100 мм длины. Неперпендикулярность смежных граней образцов, а также плоскости искусственного надреза не должны превышать 1 мм на 100 мм длины.

Искусственный надрез (трещина) создается с помощью алмазного диска или ножовочного полотна. Ширина пропила должна быть не более 1 мм. Вершина искусственного надреза (длиной 1,5—2 мм) должна иметь ширину не более 0,1 мм с тем, чтобы радиус основания искусственной трещины (r) был не более 0,05 мм. Образцы изготавливают сериями. Серия должна состоять не менее, чем из шести образцов.

Проведение испытаний

При испытании в качестве опор применяют стальные цилиндры диаметром 25—30 мм и длиной не менее толщины образца. Непрямолинейность образующей цилиндрической опоры, прилегающей к образцу, а также ее непараллельность относительно опорной плоскости должны быть не более 0,05 мм на 100 мм длины.

Образцы перед испытанием должны в течение суток находиться в помещении лаборатории при температуре $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ (для выравнивания температуры материала и помещения). Грани образцов перед испытанием шлифуют с помощью специальной фрезы или карборундового диска. Образцы с дефектами в зоне искусственного надреза и на пути вероятного распространения трещины бракуют и к испытаниям не допускают. Измерение размеров образцов производят с погрешностью не более $\pm 0,5\%$. Размеры поперечного сечения и длину надреза образца

определяют после его разрушения.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале 20—80 % от максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой. При испытании образцы призм устанавливают на плиту или балку испытательной машины в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.1. Металлические цилиндры-опоры должны устанавливаться строго перпендикулярно продольной оси образцов-призм. Плоскость искусственного надреза должна совпадать с продольной осью верхнего металлического цилиндра.

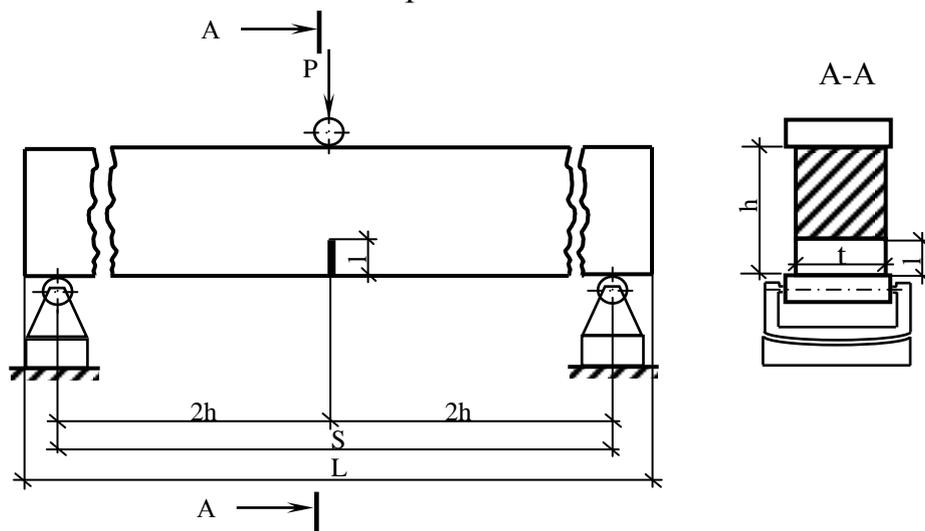


Рис. 3.1. Схема испытаний образца на вязкость разрушения при нормальном отрыве

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью ($2 \pm 0,5$) Н/с до момента разрушения образца. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытаний, принимают за величину разрушающей нагрузки.

Обработка результатов

Высоту, толщину образца и длину искусственного надреза определяют как среднее арифметическое значение результатов трех измерений в плоскости разрушения. Вязкость разрушения, K_{Ic} , вычисляют для каждого образца по формуле

$$K_{Ic} = \alpha \cdot \frac{P_c}{th^{1/2}} Y_2 k_\omega k_t \quad (3.1)$$

где K_{Ic} – вязкость разрушения (критический коэффициент интенсивности напряжений), МН/м^{3/2};

P_c – нагрузка, соответствующая условию страгивания трещины, МН (может быть принята равной 0,9—0,95 от разрушающей);

Y_2 – коэффициент К-тарифовки, зависящий от соотношения l/h , где l — длина искусственного надреза, м;

k_ω – коэффициент, учитывающий влажность бетона образца, для поризованно-

го бетона в состоянии естественной влажности $k_{\sigma} = 1$;

k_t – коэффициент, учитывающий температуру бетона и среды, для $t=20^{\circ}\text{C}$ $k_t=1$;

α – масштабный коэффициент вязкости разрушения ячеистого бетона в образцах базового размера.

Численные значения коэффициента К-тарировки Y_2 , учитывающего геометрические размеры образца, принимают по табл. 3.2. Значение масштабного коэффициента α в образцах базового размера равно 1,0.

Таблица 3.2

Численные значения коэффициента Y_2 в зависимости от длины трещины

l/h	Коэффициент Y_2									
	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,350	6,91	6,93	6,95	6,97	6,98	7,00	7,01	7,03	7,05	7,07
0,360	7,09	7,11	7,13	7,15	7,17	7,18	7,20	7,22	7,24	7,26
0,370	7,28	7,30	7,32	7,34	7,36	7,38	7,40	7,42	7,44	7,46
0,380	7,48	7,50	7,52	7,54	7,56	7,58	7,60	7,62	7,64	7,66
0,390	7,68	7,70	7,72	7,74	7,76	7,78	7,80	7,82	7,84	7,86
0,400	7,89	7,91	7,93	7,95	7,97	8,00	8,02	8,04	8,06	8,08
0,410	8,11	8,13	8,15	8,18	8,20	8,23	8,25	8,27	8,29	8,32
0,420	8,34	8,36	8,39	8,41	8,43	8,46	8,48	8,50	8,53	8,55
0,430	8,58	8,60	8,62	8,65	8,68	8,71	8,74	8,75	8,78	8,81
0,440	8,84	8,87	8,90	8,92	8,95	8,97	8,99	9,02	9,05	9,07
0,450	9,10	9,13	9,15	9,18	9,21	9,23	9,26	9,29	9,32	9,35

3.5. Результаты работы

Полученные результаты испытаний ячеистого бетона приводятся в виде табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты испытаний образцов ячеистого неавтоклавного бетона

Наименование свойства	Нормативное значение	Полученное значение

3.6. Выводы по работе

На основании полученных данных делается заключение о соответствии показателей сопротивления разрушению неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200 нормативным требованиям.

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1. Цель работы

1. Освоение методов определения и контроля деформативных характеристик конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов.
2. Оценка деформативных показателей неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200.

4.2. Оборудование, инструменты и материалы

- Испытательные машины или нагружающие установки и устройство для испытания бетона на растяжение при изгибе по ГОСТ 10180 - 90;
- проводниковые тензорезисторы базой 20 мм на бумажной основе по ГОСТ 21616- 91;
- электрический силоизмеритель, например тензорезисторный датчик силы по ГОСТ 15077. Погрешность силоизмерителя не должна превышать $\pm 1 \%$;
- промежуточный измерительный преобразователь, например, тензометрический усилитель и согласованный с ним двухкоординатный самопишущий прибор по ГОСТ 24178-78;
- клей для наклейки тензорезисторов, например БФ-2, по ГОСТ 12172-88;
- приборы и средства для взвешивания образцов, их измерения, определения точности геометрии и т.д. по ГОСТ 10180-90.
- штатив с индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм и ходом штока 10 мм
- шкаф сушильный лабораторный;
- эксикатор;
- ванна с крышкой;
- карбонат калия безводный по ГОСТ 4221.

4.3. Рабочее задание

Произвести оценку следующих деформативных характеристик неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200:

➤ модуля упругости по прил. 5 ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия;

➤ предельной растяжимости по прил. 5 ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия;

➤ величины деформаций влажностной усадки по прил. 2 ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия.

4.4. Методика выполнения работы

4.4.1. Определение модуля упругости и предельной растяжимости

Модуль упругости определяют на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм в соответствии с ГОСТ 25485-89. Метод определения модуля упругости и предельной растяжимости основан на равенстве значений модуля упругости бетона при сжатии и растяжении с использованием графика (диаграммы) зависимости "нагрузка - деформация" растягиваемой поверхности образца, записанного при его непрерывном нагружении с постоянной скоростью до разрушения.

Проведение испытаний

На образцах выбирают грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения, и растягиваемую поверхность, на которую должен быть наклеен тензорезистор. Образцы взвешивают (погрешность в пределах $\pm 1\%$) и устанавливают в устройство для испытания согласно схеме, приведенной на рис. 4.1.

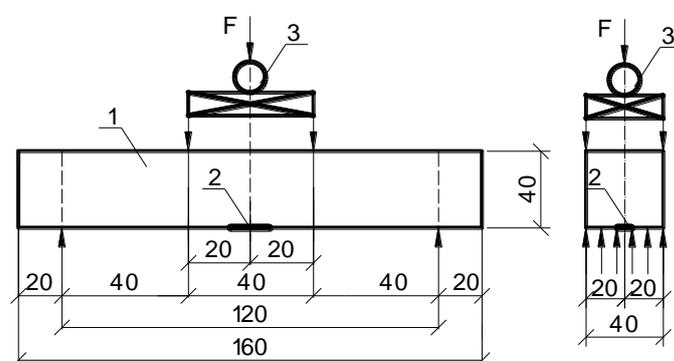


Рис. 4.1. Схема нагружения испытательного образца:
1 - испытательный образец; 2 - тензорезистор базой 20 мм;
3 - электрический силоизмеритель

Тензорезистор подсоединяют к измерительной системе. Устанавливают масштаб записи на двухкоординатном самописце. Ожидаемое разрушающее усилие (масштаб вертикальной оси) устанавливают испытанием одного-двух образцов без тензорезисторов. Ожидаемую максимальную деформацию (масштаб горизонтальной оси) принимают равной 1,2 мм/м. Образец нагружают непрерывно возрастающей нагрузкой, обеспечивающей скорость прироста напряжений в образце $(0,05 \pm 0,2)$ МПа/с $[(0,5 \pm 0,2)$ кгс/(см² · с)], записывают диаграмму "нагрузка - деформация" растянутой поверхности образца до момента его разрушения.

Обработка результатов

Модуль упругости определяют для каждого образца по записанной диаграмме "нагрузка - деформация" растянутой поверхности образца ϵ_{bt} следующим образом:

к кривой $F - \epsilon_{bt}$ проводят касательную в ее начальной точке при $F = 0$ (см. рис. 4.2).

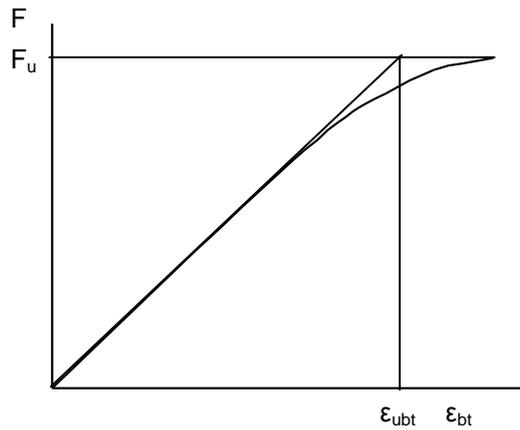


Рис. 4.2. График зависимости деформации бетона растянутой поверхности образца от изгибающей нагрузки:

F - нагрузка; F_u - разрушающая нагрузка; ϵ_{bt} - деформация растянутой поверхности образца; ϵ_{ubt} - предельная относительная деформация

Касательная отсекает на линии, соответствующей разрушающей нагрузке F_u , отрезок, длина которого равняется упругой составляющей предельной относительной деформации растяжения ϵ_{ubt} ; значение модуля упругости E_b рассчитывают по формуле

$$E_b = R_{bt} / \epsilon_{ubt}, \quad (4.1)$$

где R_{bt} - значение прочности на растяжение при изгибе, МПа (кгс/см²), рассчитываемое по формуле

$$R_{bt} = M_u / W = F_u l / 6W, \quad (4.2)$$

где M_u - разрушающий изгибающий момент, Н · м (кгс · см);

F_u - разрушающая нагрузка, Н (кгс);

l - расстояние между опорами, м (см);

W - момент сопротивления поперечного сечения образца, м³ (см³), рассчитываемый по формуле

$$W = bh^2 / 6, \quad (4.3)$$

где b - ширина поперечного сечения образца, м (см);

h - высота поперечного сечения образца, м (см).

Модуль упругости бетона в серии определяют как среднее арифметическое значение модуля упругости всех испытанных образцов.

4.4.2. Определение влажностной усадки

Сущность метода заключается в определении изменения длины образца бетона при изменении его влажности от 35 до 5 % по массе. Усадку при высыхании бетона определяют испытанием серии из трех образцов-призм размерами 40×40×160 мм в соответствии с прил. 2 ГОСТ 25485-89.

Проведение испытаний

Образцы насыщают водой погружением в горизонтальном положении в воду температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 3 сут на глубину 5-10 мм. После насыщения образцы выдерживают в плотно закрытом эксикаторе над водой при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 3 сут. Непосредственно после извлечения из эксикатора образцы взвешивают и делают начальный отсчет по индикатору. Серию образцов помещают в плотно закрытый эксикатор, расположенный над безводным карбонатом калия. В течение первых четырех недель определяют изменение длины и массы образцов каждые 3 - 4 сут. В дальнейшем измерения проводят не реже одного раза в неделю до достижения образцами постоянной массы. Массу образцов считают постоянной, если результаты двух последовательных взвешиваний, проведенных с интервалом в одну неделю, отличаются не более чем на 0,1 %. После окончания измерения усадки образцы высушивают при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов

Для каждого образца вычисляют:

1) значение усадки при высыхании ε_i , мм/м, после каждого измерения по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{l_0 - l_i}{L} \cdot 1000, \quad (4.4)$$

где l_0 - начальный отсчет по индикатору после водонасыщения образца, мм;

l_i - отсчет по индикатору после i дней выдержки образца в эксикаторе над карбонатом калия, мм;

L - длина образца, м;

2) влажность бетона (по массе), w_i , %, после завершения испытания для каждого срока измерения по формуле

$$w_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (4.5)$$

где m_i - масса влажного образца после i дней выдержки в эксикаторе над карбонатом калия, г;

m_0 - масса образца, г, высушенного при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

По значениям ε_i и w_i строят для каждого образца кривую усадки. По нему определяют усадку при высыхании образца от влажности ε_i , мм/м, в интервале от

35 до 5 % по массе по формуле

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_5 - \varepsilon_{35}, \quad (4.6)$$

где ε_5 - значение усадки при высыхании образца от его водонасыщенного состояния до влажности 5 % по массе, мм/м;

ε_{35} - значение усадки при высыхании образца от его водонасыщенного состояния до влажности 35 % по массе, мм/м.

4.5. Результаты работы

Полученные результаты испытаний приводятся в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты определения деформативных свойств
ячеистого неавтоклавного бетона

Наименование свойства	Нормативное значение	Полученное значение

4.5. Выводы по работе

На основании полученных данных делается заключение о соответствии величин модуля упругости, предельной растяжимости, усадки при высыхании неавтоклавного цементного поризованного бетона марки по средней плотности D1200 нормативным требованиям.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Цель работы

1. Изучение сущности рентгенофазового метода анализа минералогического состава и структуры строительных материалов.
2. Исследование методом рентгенофазового анализа состава цементных и силикатных материалов.

5.2. Оборудование, инструменты и материалы

- Рентгеновский дифрактометр ДРОН -2,0,
- весы технические лабораторные с точностью взвешивания $\pm 0,1$ г.

5.3. Рабочее задание

По данным прил. I, II и III определить минералогический состав цементных и силикатных материалов.

5.4. Методика выполнения работы

Под рентгеновскими методами анализа понимается совокупность разнообразных методов исследования, в которых используется рентгеновское излучение - поперечные электромагнитные колебания с длиной волны $10^{-2} - 10^2 \text{ \AA}$.

Применение рентгеновского излучения для исследования кристаллических веществ основано на том, что длина его волны сопоставима с расстоянием между упорядоченно расположенными атомами в решетке кристалла, которая является для него естественной дифракционной решеткой. Сущность рентгеновских методов анализа заключается в изучении дифракционной картины, получаемой при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов.

Съемка рентгенограмм производится с помощью дифрактометра - прибора, регистрирующего дифракционную картину с помощью счетчиков квантов рентгеновских лучей. Схема дифрактометрической съемки плоского образца приведена на рис. 5.1.

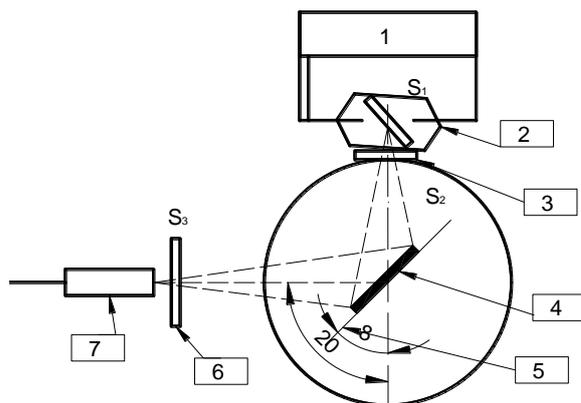


Рис. 5.1. Схема дифрактометрической съемки плоского образца:
1 - генератор рентгеновских лучей; 2 - рентгеновская трубка; 3 - диафрагма первичного рентгеновского луча, 4 - исследуемый образец; 5 - диафрагма дифрагированного рентгеновского луча; 6 - счетчик рентгеновских квантов; 7 - самописец

Принцип работы дифрактометра заключается в следующем. Расходящийся пучок рентгеновских лучей, пройдя ограничительные щели S_1 и S_2 , дифрагирует от плоскости образца 4 и фокусируется на входной щели S_3 счетчика рентгеновских квантов. Фокус рентгеновской трубки 2, плоскость образца 4 и входная щель

счетчика 6 находятся на одной окружности радиуса R , расположенной в горизонтальной плоскости.

Показания счетчика регистрируются на диаграммной ленте самописца 7, которая движется синхронно с вращением счетчика 6.

Типичная рентгенограмма представлена на рис 5.2. Рентгенограмма поликристаллического вещества представляет собой серию дифракционных максимумов над плавной линией фона. Дифракционный максимум является отражением от плоскостей кристалла какого-либо вещества с определенным межплоскостным расстоянием d .



Рис. 5.2. Типичная рентгенограмма поликристаллического вещества

Различают качественный и количественный методы рентгенофазового анализа.

Задача *качественного рентгенофазового анализа* - определение (идентификация) природы кристаллических фаз, содержащихся в исследуемом материале. Анализ основан на том, что каждое индивидуальное кристаллическое соединение дает специфическую рентгенограмму с определенным набором линий (дифракционных максимумов) и их интенсивностью. В настоящее время имеются достоверные рентгенографические данные о большинстве известных кристаллических соединений, которые приводятся в справочной литературе. Сущность качественного рентгенофазового анализа сводится к сопоставлению экспериментально определенных значений межплоскостных расстояний (d) и относительных интенсивностей (I) линий с эталонными рентгенограммами. Если на полученной при исследовании образца рентгенограмме присутствуют дифракционные максимумы со значениями d и I , характерными для определяемого соединения, то они присутствуют и в исследуемом материале.

Количественный рентгенофазовый анализ, в задачу которого входит определение количественного содержания отдельных фаз в многофазовых поликристаллических материалах, основан на зависимости интенсивности определяемых дифракционных максимумов (отражений) от содержания определяемой фазы. С увеличением содержания той или иной фазы интенсивность ее отражений

увеличивается. На этом основан рентгеновский метод определения степени гидратации вяжущих веществ.

При использовании рентгеновского метода определения степени гидратации вяжущих веществ измеряется интенсивность линии гидратных новообразований в твердеющем вяжущем веществе к определенному моменту времени, она сопоставляется с интенсивностью той же линии в полностью прогидратированном веществе. Отношение интенсивностей указанных линий характеризует степень гидратации вяжущего.

Проведение испытаний

Для рентгенофазового анализа должны быть подготовлены представительные пробы образцов цементного поризованного бетона $m \approx 2$ г.

Для прекращения процесса гидратации производится предварительное обезвоживание подготовленных проб этиловым спиртом и серным эфиром с последующей сушкой. Затем материал растирают в агатовой ступке агатовым пестиком и просеивают через сито № 0063; растирание ведется до полного прохождения его через сито. Пробы образцов до анализа хранятся в эксикаторе.

Для проведения рентгенофазового анализа порошкообразный материал запрессовывается в специальную кювету и помещается в держатель рентгеновского дифрактометра. В процессе рентгеновской съемки образца в дифрактометре ДРОН-2,0 дифракционные максимумы регистрируются на диаграммной ленте самопишущего потенциометра. Затем полученная запись дифракционной картины (рентгенограмма образца) расшифровывается.

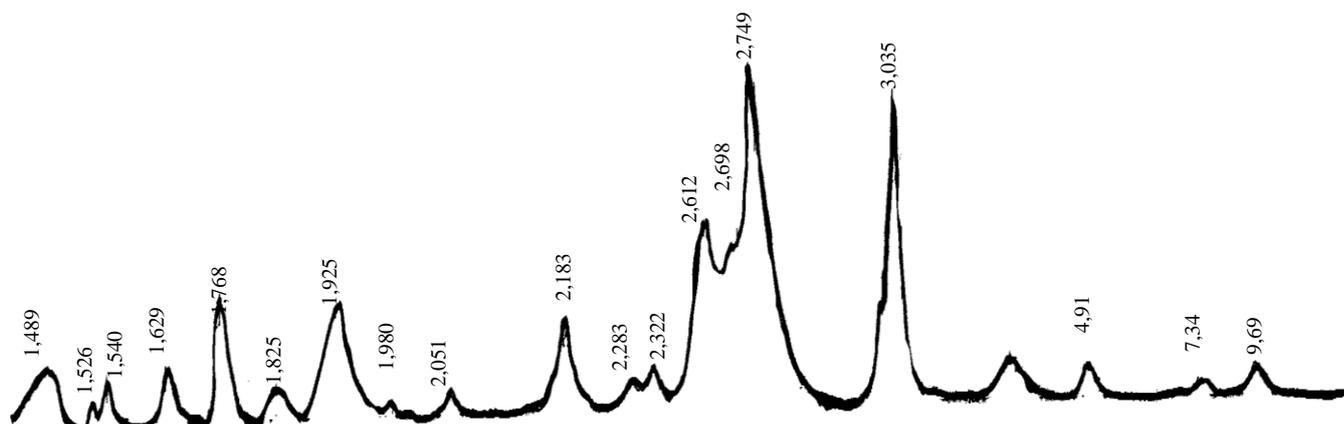
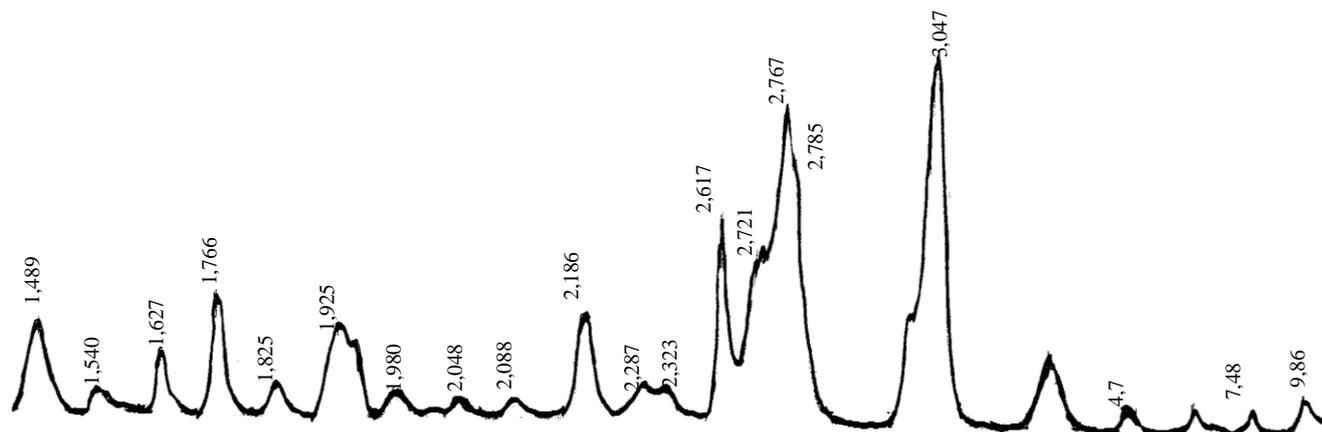
5.5. Выводы

По результатам данных рентгенофазового анализа и ДТА необходимо сделать вывод о минералогическом составе новообразований цементных и силикатных материалов.

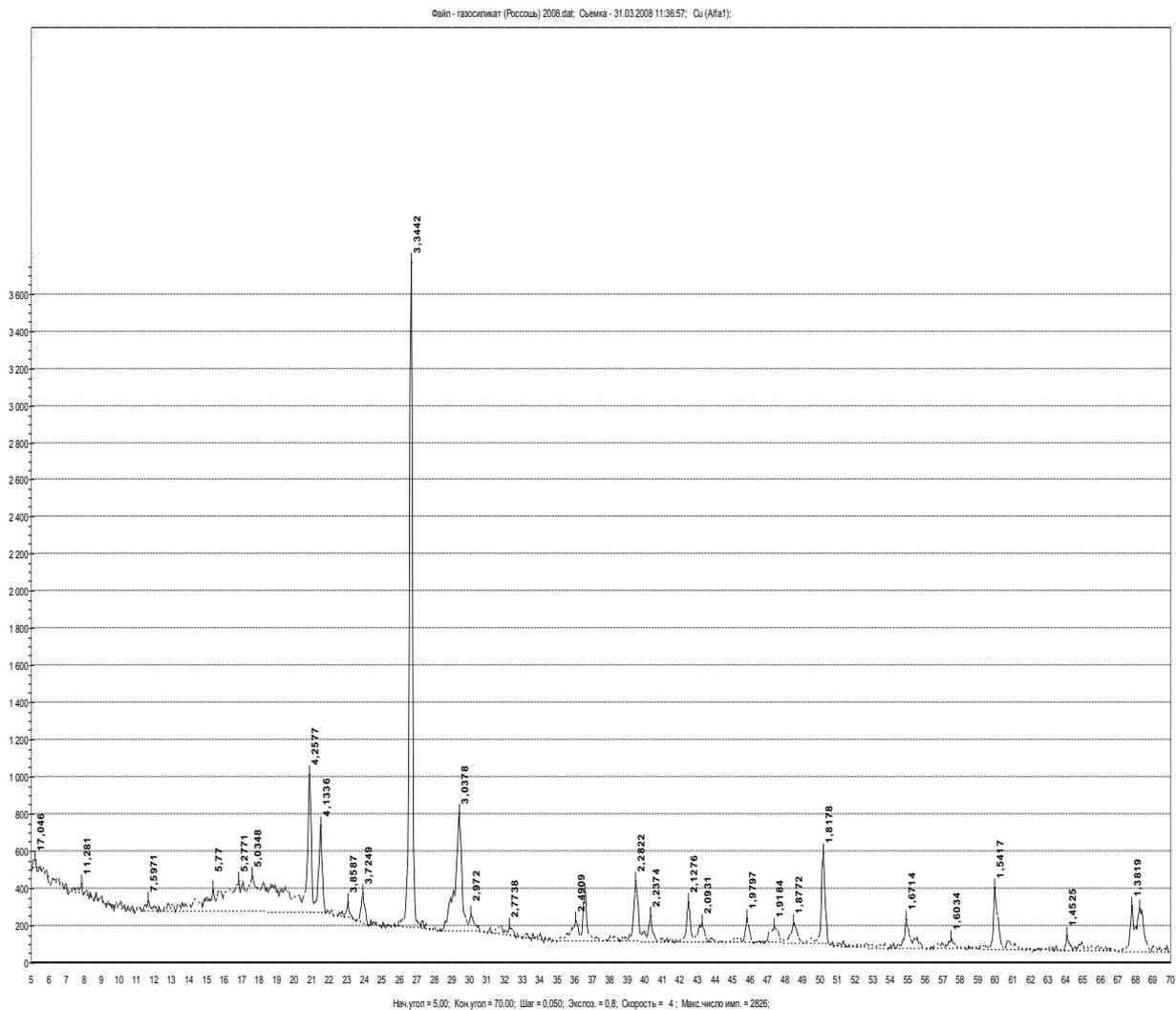
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности. – Введ. 1978 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 22 с.
2. ГОСТ 12730.2-78. Бетоны. Методы определения влажности. – Введ. 1978 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 22 с.
3. ГОСТ 24816-81. Материалы строительные. Методы определения сорбционной влажности. – Введ. 1978 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 22 с.
4. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения. – Введ. 1978 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 22 с.
5. ГОСТ 7076-87. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности. – Введ. 1987 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 14 с.
6. ГОСТ 10180—90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 1990 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
7. ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия. – Введ. 1989 – января – 1. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.
8. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И. Методика оценки вязкости разрушения силикатных автоклавных материалов /Е.М. Чернышов, Е.И. Дьяченко – Воронеж, 1990. – 32 с.
9. Лещинский М. Ю. Испытание бетона /М. Ю. Лещинский - М: Стройиздат, 1980, - 360 с.
- 10.С.В. Шестоперов. Контроль качества бетона /С.В. Шестоперов - М.: Высшая школа, 1981. – 247 с.
- 11.Рамачандран В.С. Применение дифференциально-термического анализа в химии цементов /Пер. с англ./ В.С. Рамачандран - М.: Стройиздат, 1977. - 408 с.
- 12.Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ: Справочное руководство./ Л.И. Миркин - М.: Наука, 1976. - 326 с.
- 13.Горшков В.С.Методы физико-химического анализа вяжущих веществ /В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев - М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.

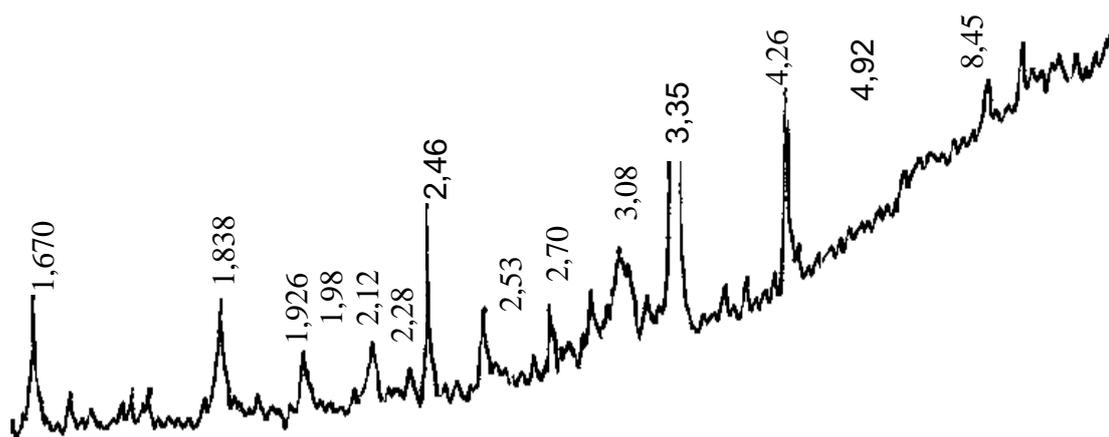
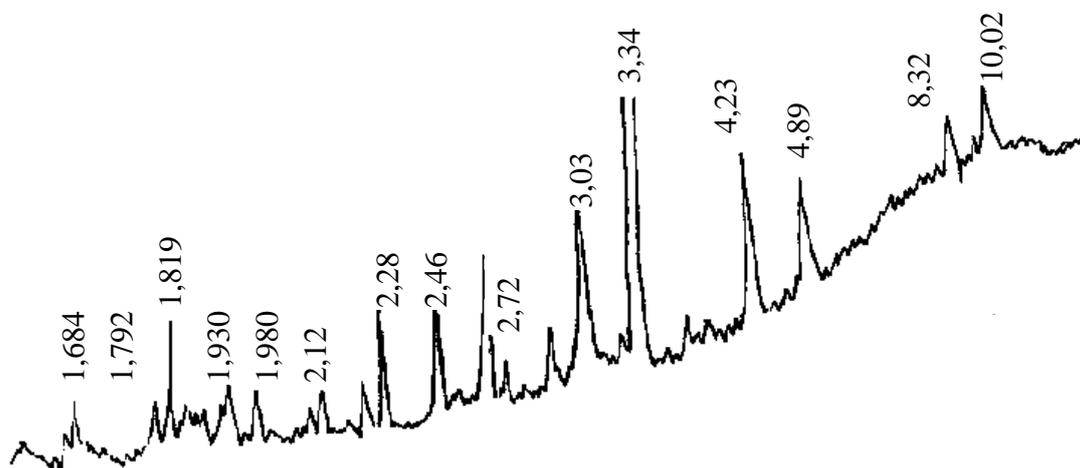
Рентгенограммы образцов цементного камня



Рентгенограммы образцов силикатного камня



Рентгенограммы образцов силикатного микробетона, полученного с использованием хвостов обогащения



Идентификационные характеристики соединений, входящих в состав цементирующих веществ цементного камня

Межплоскостное рас- стояние	Интенсивность линии	Межплоскостное рас- стояние	Интенсивность линии
C-S-H (I)		CaO	
12,5	Очень сильная	2,76	40
5,3	Очень слабая	2,40	100
3,07	Очень слабая	1,69	63
2,80	Слабая	CaCO ₃	
1,83	Слабая	3,85	2
1,67	Средняя	3,03	10
1,53	Очень слабая	2,49	5
1,40	Слабая	2,28	6
1,17	Очень слабая	2,09	7
1,11	Слабая	1,912	8
Ca(OH) ₂		1,87	9
4,93	50	1,601	6
3,11	25	1,52	6
2,63	100	C-S-H (II)	
1,93	50	9,8	9
1,79	40	4,9	21
1,69	30	3,07	10
1,485	20	2,85	5
Тоберморит 11,3 Å		2,80	9
11	Сильная	2,40	4
3,55	Очень слабая	2,20	1
2,97	Сильная	1,83	9
2,80	Сильная	1,72	1
2,15	Средняя	1,56	5
2,00	Средняя	1,40	4
1,83	Очень сильная	1,225	3
1,67	Сильная	1,165	3
1,43	Очень слабая	1,025	1
C ₃ AH ₆		1,000	1
5,14	Сильная	C ₃ AF ₆	
4,45	Средняя	4,50	Сильная
3,37	Средняя	3,41	Сильная
3,15	Средняя	2,85	Сильная
2,30	Очень сильная	2,51	Слабая
2,23	Очень сильная	2,33	Слабая
1,82	Очень слабая	2,26	Слабая
1,71	Слабая	2,07	Сильная
1,68	Средняя	2,02	Слабая
1,60	Средняя	1,77	Средняя
1,57	Очень слабая	1,71	Очень сильная

Галина Станиславовна Славчева

Комплексная диагностика состава, структуры и свойств
строительных материалов

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для бакалавров направления 020300.62 - Химия, физика и механика материалов

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать . . . г. Формат 60x84 1/16.

Усл.-печ. л. 2,0. Усл.-изд. л. 1,9.

Бумага писчая. Заказ № . Тираж экз.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского государственного
архитектурно-строительного университета
394006 г. Воронеж, ул. XX лет Октября, 84