

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

С.Н. Кислицына, А.П. Самошин, И.Ю. Шитова

**СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Лабораторный практикум**

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению 35.03.02  
«Технология лесозаготовительных  
и деревообрабатывающих производств»

Пенза 2014

УДК 628.544:674 (075.8)

ББК 37.130.9 я 73

К44

Рецензенты: доктор технических наук, профессор  
зав.кафедрой УКиТСП В.И. Логанина  
(ПГУАС);

кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Технологии управления  
качеством» В.А.Худяков (ПГТУ)

**Кислицына С.Н.**

К44 Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности. Лабораторный практикум: учеб. пособие / С.Н. Кислицына, А.П. Самошин, И.Ю. Шитова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 104 с.

Приведено описание стандартных и нестандартных методов испытаний материалов на основе отходов деревообрабатывающей промышленности.

Лабораторный практикум подготовлен на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначен для студентов, обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» очной формы обучения.

© Пензенский государственный университет  
архитектурны и строительства, 2014

© Кислицына С.Н., Самошин А.П.,  
Шитова И.Ю., 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебной программой курса «Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности» для студентов направления 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» предусмотрены лабораторные работы, в процессе выполнения которых студенты знакомятся с основными свойствами материалов на основе отходов деревообрабатывающей промышленности, методами их лабораторных испытаний, применяемыми при этом приборами, инструментами, аппаратурой, а также техническими требованиями, предъявляемыми к качеству материалов.

Во всех лабораторных работах дано описание методик их проведения и используемых для их выполнения приспособлений и приборов.

Для лучшего усвоения материала студент должен самостоятельно ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце лабораторных работ.

## ВВЕДЕНИЕ

Один из путей снижения материалоемкости продукции и экономии сырьевых ресурсов – использование вторичных материальных ресурсов, в том числе отходов деревообрабатывающей промышленности.

Комплексное использование древесного сырья не только отражает экономические интересы и интересы рынка потребления, но и имеет огромное значение в области охраны окружающей среды.

Процесс переработки древесины во всех производствах связан с получением большого количества отходов. Начиная с первой стадии – рубки леса и вывоза хлыстов и кончая последней стадией – обработкой древесины, процесс сопровождается отходом части древесины, которая не используется в дальнейшем производстве. Объем отходов не только соизмерим с объемом получающейся продукции, но зачастую и превосходит его. Так, на лесосеке объем отходов составляет 20-22 %, местами достигает 35 %, а из вывезенной древесины около 20 % составляет неделовая древесина. В лесопильном производстве количество отходов составляет 35-42 %. В мебельных производствах количество отходов в среднем составляет 53-65 % от поступивших пиломатериалов. При выработке фанеры отходы составляют 52-54 %, строганого шпона – 30-45 %; в производстве паркета – 60-65 %. Ежегодное количество отходов и неделовой древесины по стране составляет около 300 млн. м<sup>3</sup>.

Отходы могут быть использованы в качестве основного сырья при изготовлении продукции другого вида или размера. Кроме того, отходы могут применяться в качестве сырья для производства древесных плит, топливных брикетов и гранул, в целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности и в производстве строительных материалов, генераторного газа, а также в качестве удобрений.

Конечная продукция из отходов может быть получена механической обработкой, химической, микробиологической и энергохимической переработкой.

# 1. ПРОИЗВОДСТВО АРБОЛИТА

## 1.1. Контроль качества органического целлюлозного заполнителя

Арболит (от лат. arbor – дерево и греч. lithos – камень) – это строительный материал, разновидность лёгкого бетона. Изготавливается из высокосортного цемента и органических заполнителей – дроблёных отходов деревообработки, камыша, костры конопли и т.п.

В качестве органических заполнителей для арболитовой смеси применяются измельченная древесина из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки хвойных (ель, сосна, пихта) и лиственных (береза, осина, бук, тополь) пород, костра конопли и льна, измельченные стебли хлопчатника и измельченная рисовая солома. Допускается использовать древесину других пород, а также их смеси.

Требования к качеству органического целлюлозного заполнителя приведены в ГОСТ 19222–84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия».

### Отбор проб

Для определения качества органических заполнителей от партии, объем которой устанавливается по соглашению сторон, отбирают пробу, состоящую из 10 частей, взятых из разных мест партии. Масса каждой части должна быть не менее 1 кг. Составленную из частей пробу сокращают методом квартования до 2,5 кг.

## Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ОРГАНИЧЕСКОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ ПРИМЕСЕЙ И ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

**Цель работы** – освоить методики определения содержания в органическом заполнителе примесей и пород древесины.

### 1. Определение содержания в органическом заполнителе примесей

Содержание коры, листьев, хвои и гнили в измельченной древесине или очесов и пакли в измельченных стеблях хлопчатника, рисовой соломе, костре конопли или льна (X) определяют отбором из сокращенной пробы.

Пробу органического заполнителя высушивают в сушильном шкафу при температуре  $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Из высушенной

пробы отвешивают навеску массой (1000±1) г. Внешним осмотром или с помощью лупы отделяют из нее кору, листья, хвою, гниль (или очесы, паклю) и взвешивают.

Содержание каждой примеси рассчитывают по формуле

$$\Pi = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса коры, листьев, хвои, гнили, очесов или пакли (в зависимости от вида заполнителя), г;

$m_2$  – масса навески заполнителя (вместе с примесями), г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

Содержание примеси коры в измельченной древесине должно быть не более 10 %, а хвои и листьев – не более 5 % по массе к сухой смеси заполнителей, содержание очесов и пакли – не более 5 % от массы сухой смеси заполнителя.

Измельченная древесина, костра конопли и льна, измельченные стебли хлопчатника и рисовой соломы не должны иметь видимых признаков плесени и гнили, а также примеси инородных материалов (куски глины, растительный слой почвы, камни, песок и пр.), а в зимнее время – примесей льда или снега (ГОСТ 19222–84).

Результаты определения заносят в табл.1 и делают выводы по работе.

Т а б л и ц а 1

Результаты определения содержания примесей  
в органическом заполнителе

Наименование примеси	Содержание примеси, %
Кора	
Листья	
Хвоя	
Гниль	
Песок и т.д.	

## 2. Определение содержания пород древесины в заполнителе

Содержание в измельченной древесине частиц лиственных пород устанавливают следующим образом. Пробу органического заполнителя массой 100 г, составленную после ситового анализа из фракций 5-10 и 10-20 мм, обрабатывают последовательно 1 %-м раствором марганцовокислого калия (в течение 2 мин), 12 %-м раствором соляной кислоты

(в течение 1 мин) и 1 %-м раствором аммиака (в течение 1 мин). После обработки древесины растворами марганцовокислого калия и соляной кислоты дробленку промывают водой. Дробленка хвойных пород (ель, сосна, кедр, пихта и лиственница) приобретает желтую окраску, а лиственных пород (дуб, клен, береза, осина, бук) – пурпурно-красную. Отделенную таким образом лиственную дробленку взвешивают и определяют ее процентное содержание ( $X$ ) по формуле

$$X = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса заполнителя лиственных пород, г;  
 $m_2$  – масса навески заполнителя, г.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды примесей могут присутствовать в органическом заполнителе?
2. Как определяют содержание примесей в органическом заполнителе?
3. Какие виды древесных отходов применяют в качестве заполнителей для арболита?
4. Какие требования предъявляет ГОСТ 19222–84 к содержанию примесей в органическом заполнителе?
5. Каким образом определяют содержание в измельченной древесине частиц лиственных пород?

## Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

**Цель работы** – освоить методики определения фракционного состава и коэффициента формы частиц органического заполнителя.

### 1. Определение фракционного состава органического заполнителя

Фракционный состав органических заполнителей определяют рассевом навески (после отбора из нее коры, листьев, хвои или очесов и пакли, в зависимости от вида заполнителя) на стандартном наборе сит. Подготовленную пробу (высушенную и без примесей) просеивают последовательно через сита с размерами ячеек 2,5; 5; 10 и 20 мм. Рассев пробы производят небольшими порциями, при этом толщина слоя

заполнителя на сите должна быть не более 1/3 высоты борта сита. Просеивание считают законченным, если при неоднократном встряхивании сита выпадение заполнителя не наблюдается. Продолжительность просеивания не должна превышать 15 мин.

Остатки заполнителя на каждом сите взвешивают, и вычисляют частные остатки на ситах,  $a_i$ , по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса навески заполнителя, г.

После определения частных остатков вычисляют значения полных остатков,  $A_i$ , которые равны сумме частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите:

$$A_i = a_{20} + \dots + a_i, \quad (4)$$

где  $a_{20}, \dots, a_i$  – частные остатки на сите  $i$  и на ситах с большими размерами ячеек, %.

Согласно ГОСТ 19222–84 фракционный состав органического заполнителя должен находиться в пределах, указанных в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Требования к фракционному составу заполнителей

Размеры отверстий контрольных сит, мм	20	10	5	2,5	Менее 2,5
Полные остатки на контрольных ситах, % по массе	до 5	20-40	40-75	90-100	до 100

Результаты определения фракционного состава органического заполнителя заносят в табл.3 и делают выводы по работе.

Т а б л и ц а 3

Результаты определения фракционного состава органического заполнителя

Вид остатка	Размеры отверстий контрольных сит, мм				
	20	10	5	2,5	Менее 2,5
Частный, $a_i$ , г					
Частный, $a_i$ , %					
Полный, $A_i$ , %					



## 2. Определение максимального размера частиц органического заполнителя

Максимальный размер частиц органического заполнителя определяют отбором 20 частиц заполнителя из фракции, оставшейся на сите диаметром 20 мм. Размеры каждой частицы измеряют с помощью металлической линейки с погрешностью до 1 мм. Максимальный размер частиц вычисляют как среднее арифметическое результатов произведенных замеров.

Размеры древесных частиц не должны превышать: по длине – 40, по ширине – 10, а по толщине – 5 мм.

## 3. Определение коэффициента формы частиц органического заполнителя

Коэффициент формы частицы определяют по ГОСТ 9758–86.

От пробы испытываемой фракции заполнителя отбирают 50 зерен (в учебных целях возможно меньшее число). С помощью штангенциркуля с погрешностью до 1 мм измеряют наибольший и наименьший размеры каждого зерна. Затем вычисляют коэффициент формы для каждого зерна по формуле

$$K_{\phi_i} = \frac{D_{\text{наиб}}}{D_{\text{наим}}}, \quad (5)$$

где  $D_{\text{наиб}}$  – наибольший размер зерна, мм;

$D_{\text{наим}}$  – наименьший размер зерна, мм.

Коэффициент формы зерен заполнителя вычисляют по формуле

$$K_{\phi.z} = \frac{\sum K_{\phi_i}}{n}, \quad (6)$$

где  $K_{\phi_i}$  – коэффициент формы  $i$ -го зерна;

$n$  – число измеренных зерен.

Согласно ГОСТ 19222–84 для органического заполнителя среднее значение коэффициента формы частиц (отношение наибольшего размера к наименьшему) должно быть не более 8. Количество частиц с коэффициентом формы более 8 не должно превышать: 20 % – для остатка на сите с отверстиями размером 20 мм и 10 % – для остатков на ситах 10 и 5 мм.

При применении опилок в качестве заполнителей в арболите их необходимо просеять через сито 2,5 мм. То, что осталось на сите, использовать.

Результаты определения коэффициента формы частиц заносят в табл. 4 и делают выводы по работе.

Таблица 4

## Результаты определения коэффициента формы частиц

Коэффициент формы частиц	Количество частиц, %, для остатков на сите с отверстиями		
	20 мм	10 мм	5 мм

## Вопросы для самоконтроля

1. Как определяют фракционный состав органических заполнителей?
2. Какие экспериментальные данные необходимы для оценки фракционного состава органического заполнителя?
3. Как рассчитывают полный остаток на ситах?
4. Какие требования предъявляет ГОСТ 19222–84 к фракционному составу органического заполнителя?
5. Каким образом определяют максимальный размер частиц органического заполнителя?
6. Каких значений по длине, ширине и толщине не должны превышать размеры древесных частиц (согласно ГОСТ 19222–84)?
7. Что такое коэффициент формы частиц органического заполнителя?
8. Какое значение коэффициента формы частиц органического заполнителя соответствует требованиям ГОСТ 19222-84?

### Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

**Цель работы** – освоить методики определения основных физических свойств органического заполнителя.

#### 1. Определение насыпной плотности органического заполнителя

Пробу заполнителя (1–2 кг) высушивают до постоянной массы при температуре  $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

В сосуд известной емкости (в лаборатории – 1,2 или 3 л) с высоты 100 мм над его верхним краем насыпают органический заполнитель до образования избытка (конуса), который снимают металлической линейкой вровень с краями сосуда (без уплотнения). Мерный сосуд

взвешивают как с материалом, так и без него, а затем вычисляют его насыпную плотность  $\rho_{\text{нас}}$  по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (7)$$

где  $m_1$  – масса сосуда, кг (г);

$m_2$  – масса сосуда с наполнителем, кг (г);

$V$  – объем сосуда, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>).

Испытания повторяют 2-3 раза, используя каждый раз новую порцию наполнителя. Насыпную плотность вычисляют как среднее арифметическое 2-3 испытаний.

Для перевода количества поставляемого органического наполнителя из единиц массы в единицы объема устанавливают насыпную плотность наполнителя в состоянии естественной влажности.

## 2. Определение средней плотности органического наполнителя

Из частных остатков на ситах соответствующего размера отбирают пробу наполнителя испытываемой фракции объемом 3 л (для учебных целей допускается меньший объем). Контейнер с крышкой взвешивают на воздухе, а затем взвешивают в воде на гидростатических весах (рис.1).

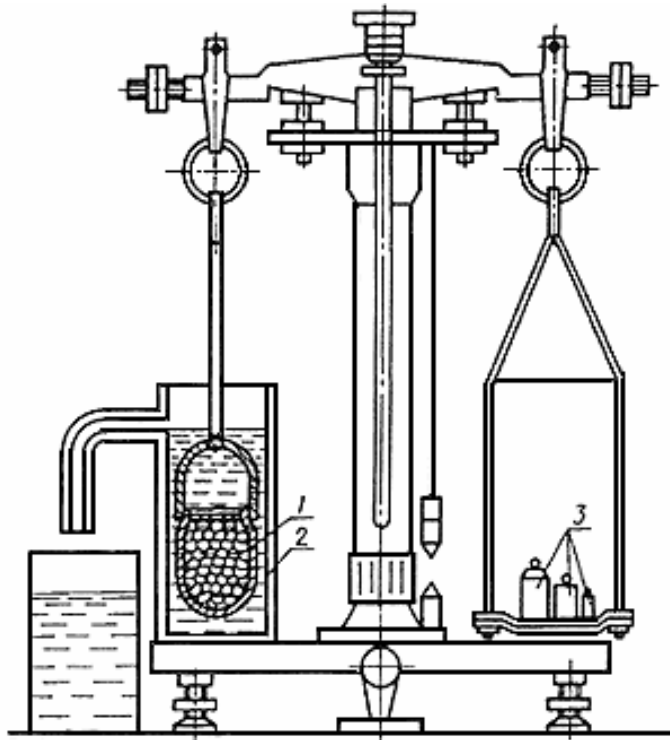


Рис. 1. Весы для гидростатического взвешивания:  
1 – сетчатый (перфорированный) контейнер; 2 – сосуд со сливом для воды;  
3 – разновесы

Высушенный контейнер открывают, насыпают в него органический наполнитель, закрывают крышкой и взвешивают на воздухе, а затем погружают в сосуд с водой и встряхивают для удаления пузырьков воздуха. Контейнер с наполнителем должен находиться в воде 1 ч, при этом уровень воды должен быть выше крышки контейнера не менее чем на 20 мм. Контейнер с насыщенным водой наполнителем взвешивают на гидростатических весах. Затем контейнер вынимают из сосуда с водой, дают воде стечь в течение 10 мин и взвешивают на воздухе.

Среднюю плотность органического наполнителя каждой фракции  $\rho_m^\Phi$  рассчитывают по формуле

$$\rho_m^\Phi = \frac{[m_1 / (m_2 - m_3)]}{\rho_B}, \quad (8)$$

где  $m_1$  – масса пробы сухого наполнителя (разность масс контейнера с высушенной пробой наполнителя и без нее при взвешивании на воздухе), г;

$m_2$  – масса пробы наполнителя, насыщенного водой (разность масс контейнера с насыщенной водой пробой наполнителя и без него при взвешивании на воздухе), г;

$m_3$  – масса наполнителя в воде (разность масс контейнера с насыщенной водой пробой наполнителя и без него при взвешивании в воде), г;

$\rho_B$  – плотность воды (принимается равной  $1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

Среднюю плотность частиц органического наполнителя каждой фракции вычисляют как среднее арифметическое двух определений.

Среднюю плотность частиц смеси фракций наполнителя  $\rho_m$  рассчитывают по формуле

$$\rho_m = \frac{100}{\sum X_n / \rho_m^\Phi}, \quad (9)$$

где  $X_n$  – содержание каждой фракции, % от суммарной массы всех фракций ( $\sum X_n = 100\%$ );

$\rho_m^\Phi$  – средняя плотность зерен наполнителя каждой фракции.

### 3. Определение объема межзерновых пустот в наполнителе

Объем межзерновых пустот в наполнителе находят расчетным путем, предварительно определив насыпную и среднюю плотность частиц наполнителя.

Объем межзерновых пустот  $V_{\text{пуст}}$  вычисляют по формуле

$$V_{\text{пуст}} = \left( 1 - \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_m} \right) \cdot 100\%, \quad (10)$$

где  $\rho_{\text{нас}}$  – насыпная плотность заполнителя, г/см<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>);  
 $\rho_m$  – средняя плотность частиц заполнителя, г/см<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>).

#### 4. Определение пористости древесного заполнителя

Определив среднюю плотность древесного заполнителя, можно рассчитать его пористость по формуле

$$\Pi = \left( 1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $\rho_m^{\phi}$  – средняя плотность заполнителя;  
 $\rho$  – истинная плотность заполнителя ( $\rho=1,54$  г/см<sup>3</sup>).

#### 5. Определение влажности органического заполнителя

Пробу заполнителя в объеме 2-3 л (для учебных целей допускается меньший объем) насыпают в предварительно взвешенный сосуд, вновь взвешивают, а затем высушивают в сушильном шкафу при температуре  $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы.

Влажность заполнителя по массе  $W_m$  рассчитывают по формуле

$$W_m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (12)$$

где  $m_1$  – масса пробы заполнителя в состоянии естественной влажности (вычисленная как разность масс сосуда с заполнителем и без него), г;

$m_2$  – масса пробы заполнителя в сухом состоянии (разность масс сосуда с высушенным заполнителем и без него), г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

#### 6. Определение водопоглощения органического заполнителя

Высушенную до постоянной массы и взвешенную пробу органического заполнителя испытываемой фракции (2,5-5 мм, 5-10 мм, 10-20 мм) укладывают в контейнер, закрывают крышкой, погружают в воду и вы-

держивают в воде в течение 1 ч, вынимают из воды и в течение 10 мин дают избыточной воде стечь. Далее пробу заполнителя взвешивают.

Водопоглощение по массе  $W_{\text{погл}}^m$  рассчитывают по формуле

$$W_{\text{погл}}^m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где  $m_1$  – масса сухой пробы заполнителя г;

$m_2$  – масса пробы заполнителя, насыщенного водой г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

Водопоглощение по объему  $W_{\text{погл}}^o$  рассчитывают по формуле

$$W_{\text{погл}}^o = W_{\text{погл}}^m \cdot \frac{\rho_m}{\rho_v}, \quad (14)$$

где  $\rho_m$  – средняя плотность частиц заполнителя, г/см<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>);

$\rho_v$  – плотность воды (1 г/см<sup>3</sup> = 1000 кг/м<sup>3</sup>).

Результаты определения физических свойств органического заполнителя заносят в табл.5.

Т а б л и ц а 5

Результаты определения физических свойств органического  
заполнителя

№ пробы	Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ , кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	Объем межзерновых пустот $V_{\text{пуст}}$ , %	Пористость П, %	Влажность, $W_m$ , %	Водопоглощение по массе $W_{\text{погл}}^m$ , %

### Вопросы для самоконтроля

1. Как определяют насыпную плотность органического заполнителя?
2. Как определяют среднюю плотность органического заполнителя?
3. По какой формуле рассчитывают объем межзерновых пустот в заполнителе?
4. По какой формуле рассчитывают пористость органического заполнителя?
5. Пористость органического заполнителя 40 %. Что это означает?
6. Объем межзерновых пустот органического заполнителя 30 %. Что это означает?

7. Как определяют водопоглощение органического заполнителя?
8. По каким формулам рассчитывается водопоглощение по массе и объему?

## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ РЕДУЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЕ

**Цель работы** – освоить методику определения содержания в измельченной древесине водорастворимых редуцирующих веществ.

Метод определения водорастворимых редуцирующих веществ основан на восстановлении сахарами основной соли двухвалентной меди до ее закиси. Содержание сахара определяют по количеству перманганата калия, пошедшего на титрование двухвалентного железа, образовавшегося в результате реакции трехвалентного железа с закисью меди.

Определение содержания водорастворимых редуцирующих веществ в измельченной древесине начинают с приготовления водной вытяжки.

Поступившую на испытание древесину измельчают до размеров опилок (0,2-2 мм), хорошо перемешивают, подсушивают до воздушно-сухого состояния и хранят в плотно закрытой склянке. Перед анализом определяют влажность пробы, и все расчеты в дальнейшем ведут на сухую навеску (высушенную при 85°C).

Для приготовления вытяжки берут 2 г пробы (древесины), взвешивают ее с погрешностью 0,0002 г, помещают в коническую колбу емкостью 250 мл и наливают 100 мл дистиллированной воды. Колбу закрывают пробкой и ставят в термостат при 25 °С. Экстрагирование проводят в течение 48 ч, периодически перемешивая содержимое колбы. Затем вытяжку отфильтровывают.

В коническую колбу емкостью 150 мл вливают 20 мл раствора сульфата меди и 20 мл щелочного раствора сегнетовой соли, перемешивают и добавляют в нее 20 мл водной вытяжки из древесины, снова перемешивают и нагревают до кипения. С момента появления первого пузырька раствор кипятят 3 мин (по песочным часам) и фильтруют в колбу Бунзена через воронку Шотта с фильтром № 2, на который предварительно помещают небольшое количество асбеста. Осадок на асбесте промывают с использованием 100-150 мл горячей воды (необходимо осадок все время держать под водой, так как на воздухе он окисляется). Затем фильтр с осадком, покрытым водой, быстро пере-

ставляют на чистую колбу Бунзена. Осадок обрабатывают 20 мл раствора железоммонийных квасцов. После растворения осадка подключают водоструйный насос, и асбест промывают хлорной водой до нейтральной реакции промывных вод (проба на лакмусовой бумажке).

Фильтрат титруют 0,1 н раствором перманганата калия до появления устойчивой розовой окраски. Различным объемам перманганата калия, идущего на титрование, соответствуют определенные количества сахара, указанные в табл.6. Зная объем перманганата калия, израсходованного на титрование 20 мл водной вытяжки, взятой на анализ, по табл.6 находят содержание сахара (редуцирующих веществ).

Т а б л и ц а 6

Содержание сахара в древесном наполнителе, мг

Целые единицы	При объеме перманганата калия, десятые доли единиц									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	0,3	0,6	0,85	1,15	1,45	1,75	2,05	2,8	2,6
1	2,93	3,25	3,55	3,89	4,2	4,5	4,86	5,15	5,45	5,8
2	6,1	6,4	6,76	7,05	7,4	7,7	8,0	8,85	8,65	8,9
3	9,8	9,6	9,95	10,6	10,8	11,0	11,2	11,6	11,85	12,3
4	12,6	12,9	13,2	13,5	13,85	14,15	14,5	14,85	15,15	15,45
5	15,8	16,1	16,4	16,8	17,1	17,4	17,7	18,0	18,4	18,7
6	19,0	19,3	19,7	20,0	20,6	20,8	20,9	21,2	21,8	22,0
7	22,3	22,7	23,0	23,3	23,7	24,0	24,3	24,7	25,0	25,0
8	25,7	26,0	26,7	26,8	27,0	27,3	27,7	28,0	28,4	28,7
9	29,1	29,4	29,7	30,0	30,4	30,7	31,1	31,4	31,7	32,1
10	32,4	32,8	33,1	33,5	33,8	34,1	34,5	34,8	35,2	35,7
11	35,9	36,2	36,6	36,9	37,3	37,6	38,0	38,3	38,6	39,0
12	39,4	39,7	40,0	40,5	40,7	41,1	41,4	41,8	42,2	42,5
13	43,0	43,2	43,6	43,9	44,3	44,7	45,0	45,4	45,7	46,1
14	46,4	46,8	47,2	47,5	47,8	48,3	48,6	48,8	49,8	49,6
15	50,0	50,4	50,8	51,2	51,4	51,8	52,2	52,6	52,9	53,2
16	58,6	54,0	54,4	54,7	54,9	55,4	55,8	56,2	56,6	56,9
17	57,2	57,6	58,0	58,4	58,7	59,0	59,4	59,8	60,1	60,5
18	60,9	61,8	61,9	62,2	62,5	62,8	63,1	63,38	63,82	64,2
19	64,58	64,94	65,8	66,0	66,08	66,6	66,9	67,2	67,54	67,9
20	68,35	68,8	69,29	69,75	70,25	70,25	70,62	71,01	71,37	71,8

Количество редуцирующих веществ (РВ) в древесине в процентах от сухой навески определяют по формуле

$$РВ = \frac{b \cdot V_0}{V_1 \cdot G} \cdot 100\% , \quad (15)$$

где  $b$  – количество сахара, соответствующее объему перманганата калия, пошедшего на титрование пробы, мг (см.табл.2);



$V_0$  – объем воды, использованный для приготовления водной вытяжки, мл;

$V_1$  – объем водной вытяжки, взятой для анализа, мл;

$G$  – навеска сухой древесины, г.

Согласно ГОСТ 19222–84 содержание водорастворимых редуцирующих веществ должно быть не более 2 % (данный показатель не является браковочным признаком).

### Вопросы для самоконтроля

1. На чем основан метод определения водорастворимых редуцирующих веществ в древесном заполнителе?

2. Как определяют содержание водорастворимых редуцирующих веществ в измельченной древесине?

3. По какому показателю определяют содержание сахара в древесном заполнителе?

4. Какие требования предъявляет ГОСТ 19222–84 к содержанию водорастворимых редуцирующих веществ в древесном заполнителе?

## Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРИГОДНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

**Цель работы** – освоить методику определения показателя пригодности измельченной древесины для использования в качестве заполнителя в арболите.

Показатель пригодности измельченной древесины определяют путем ее испытания в арболите. Для этого готовят арболитовую смесь из портландцемента марки 400, измельченной древесины, разделенной на фракции 0-5, 5-10 и 10-20 мм, хлористого кальция и воды.

Для испытания делают три замеса арболитовой смеси, каждый объемом около 12 л. Соотношение расхода цемента, древесины и хлористого кальция для замеса объемом 12 л указано в табл.7 (для учебных целей объем замеса составит 2-3 л).

Т а б л и ц а 7

Расход компонентов арболитовой смеси для замеса объемом 12 л

№ замеса (серии)	Расход цемента, кг	Расход хлористого кальция, кг	Расход древесины в сухом состоянии, л, для фракций, мм		
			0-5	5-10	10-20
1	4,25	0,085	8	8	9
2	4,75	0,095	8	8	9
3	5,25	0,105	8	8	9

Древесину дозируют по массе с учетом насыпной плотности отдельных фракций. Пересчет ведут по формуле

$$m_3 = V_3 \cdot \rho_{\text{нас}}, \quad (16)$$

где  $m_3$  – масса органического заполнителя, кг;

$V_3$  – объем органического заполнителя, л ( $\text{м}^3$ );

$\rho_{\text{нас}}$  – насыпная плотность органического заполнителя, кг/л ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Расход воды для затворения арболита принимают из расчета  $В/Ц = 1,1$ .

### Приготовление арболитовой смеси.

Для приготовления замеса отвешивают рассчитанные для требуемого объема количества цемента, хлористого кальция, древесного заполнителя необходимых фракций и воды с погрешность не более 0,1 %. Цемент и заполнитель помещают в предварительно смоченную водой металлическую чашу и перемешивают. Хлористый кальций растворяют в воде затворения и, постепенно добавляя в смесь, тщательно перемешивают до получения однородной массы (в течение 10 минут).

Арболитовую смесь укладывают в формы-кубы размерами  $10 \times 10 \times 10$  см в два слоя высотой по 5 см и уплотняют путем трамбования стальной болванкой (рис.2). Каждый слой уплотняют 15-20 нажимами с высоты 2-3 см. После уплотнения смеси поверхность образцов заглаживают.

Из каждого замеса изготавливают шесть кубов (для учебных целей – 2).

Экспериментально устанавливают среднюю плотность арболитовой смеси  $\rho_{\text{см}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Для этого перед укладкой арболитовой смеси форму-куб взвешивают. После укладки и уплотнения смеси форму-куб вновь взвешивают. Плотность арболитовой смеси вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{см}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (17)$$

где  $m$  – масса формы-куба с арболитовой смесью, г (кг);

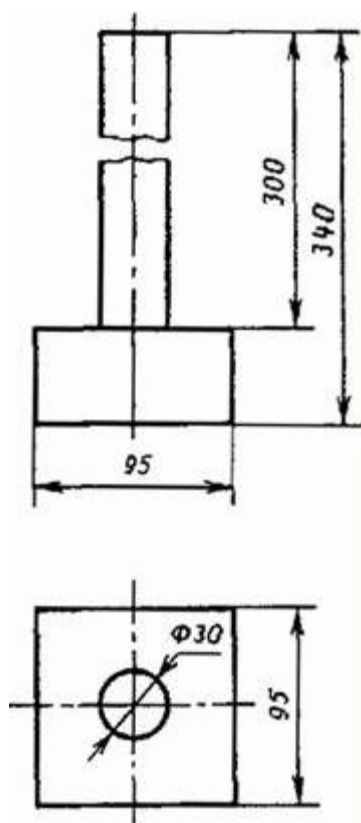


Рис.2. Приспособление для трамбования арболитовой смеси (стальная болванка)

$m_1$  – масса формы-куба без смеси, г (кг);

$V$  – объем формы, см<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>).

Фактический расход цемента (Ц), измельченной древесины (Д) и хлорида кальция (Х) на 1 м<sup>3</sup> уплотненного арболита для каждого из трех замесов вычисляют по следующим формулам:

$$\text{Ц} = \text{ц} \cdot \frac{\rho_{\text{см}}}{\sum \text{Р}}, \quad (18)$$

$$\text{Д} = \text{д} \cdot \frac{\rho_{\text{см}}}{\sum \text{Р}}, \quad (19)$$

$$\text{Х} = \text{х} \cdot \frac{\rho_{\text{см}}}{\sum \text{Р}}, \quad (20)$$

где Ц, ц – расход цемента соответственно на 1 м<sup>3</sup> и на замес, кг;

Д, д – расход древесины в сухом состоянии соответственно на 1 м<sup>3</sup> и на замес, кг;

Х, х – расход хлористого кальция соответственно на 1 м<sup>3</sup> и на замес, кг;

$\rho_{\text{см}}$  – плотность свежееуложенного арболита, кг/м<sup>3</sup>;

$\sum \text{Р}$  – расход всех компонентов на замес, включая фактически потраченную воду, кг.

Изготовленные образцы арболита извлекают из форм через 3 суток и переносят в камеру стандартного твердения (температура – (20±2)°С и относительная влажность воздуха (70±10) %). Образцы испытывают на сжатие в 28-суточном возрасте.

Перед испытанием производят обмер и взвешивание образцов с определением плотности арболита  $\rho_a^{\text{вл}}$ .

После испытания образцов из кусков арболита берут навеску 500 г, высушивают при температуре 75-80°С до постоянной массы и определяют его влажность по массе  $W_m$ , %, после чего вычисляют плотность арболита в сухом состоянии  $\rho_a^{\text{сух}}$  по формуле

$$\rho_a^{\text{сух}} = \frac{100 \cdot \rho_a^{\text{вл}}}{100 + W_m}, \quad (21)$$

где  $\rho_a^{\text{вл}}$  – плотность арболита во влажном состоянии, г/см<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>);

$W_m$  – влажность арболита, %.

По результатам испытания прочности при сжатии отдельных образцов арболита определяют среднюю прочность его в серии образцов.

Результаты определения прочности и плотности арболита заносят в табл.8.

Т а б л и ц а 8

Результаты испытаний

№ замеса (серии)	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Прочность арболита, $R_a$ , МПа	Плотность арболита, $\rho_a^{сух}$ , кг/м <sup>3</sup>
1			
2			
3			

По полученным данным строят график с координатами: расход цемента, кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии, МПа и плотность, кг/м<sup>3</sup>.

По построенным кривым, соединяющим три экспериментальные точки, определяют прочность при сжатии  $R_a$ , МПа, соответствующую расходу цемента 360 кг/м<sup>3</sup> при марке цемента М400, 380 кг/м<sup>3</sup> при марке цемента М300 и 330 кг/м<sup>3</sup> при марке цемента М500.

Коэффициент пригодности древесины  $K_{пр}$  рассчитывают по формуле

$$K_{пр} = \frac{\text{Ц} \cdot A_{ц}}{10 \cdot R_a \cdot R_{ц}}, \quad (22)$$

где Ц – расход цемента (например, марки М400), кг/м<sup>3</sup>;

$R_a$  – прочность арболита при сжатии, МПа;

$A_{ц}$  – активность цемента, МПа;

$R_{ц}$  – марка цемента (принимается равной 40 МПа).

Делают вывод о пригодности исследуемой измельченной древесины в качестве заполнителя в арболите.

Согласно ГОСТ 19222–84, показатель пригодности (удельный расход цемента на единицу прочности арболита при сжатии) должен быть не более 15.

Вопросы для самоконтроля

1. По каким показателям оценивают качество органического заполнителя для арболита?

2. Как определяют коэффициент пригодности измельченной древесины?

3. По каким показателям строят кривую для расчета коэффициента пригодности измельченной древесины?

4. По какой формуле рассчитывается коэффициент пригодности измельченной древесины?

5. Что характеризует коэффициент пригодности измельченной древесины?

6. Каким должно быть значение коэффициента пригодности согласно требованиям ГОСТ 19222–84?

## 1.2. Контроль качества приготовления арболитовой смеси

Основными характеристиками арболитовой смеси, определяющими свойства затвердевшего арболита и качество выпускаемых изделий, являются средняя плотность в уплотненном состоянии и удобоукладываемость.

При изготовлении арболитовых изделий стараются добиться максимального сближения целлюлозосодержащих частиц заполнителя различными способами: уплотнением, вибропрессованием, вибросиловым прокатом с последующим пригрузом, послойным укатыванием смеси и другими способами формования. Продолжительность уплотнения арболитовых смесей в большей степени зависит от прессующего воздействия, в меньшей — от количества цементного теста в их составе и водосодержания, при увеличении которого сверх определенного предела смесь начинает расслаиваться. Поэтому водосодержание для обычных арболитовых смесей целесообразно устанавливать исходя из условия отсутствия расслоения.

Кроме того, при контроле качества арболитовой смеси могут проверяться такие показатели, как объем межзерновых пустот в уплотненном состоянии, пористость арболитовых смесей и арболита, реологические свойства арболитовых смесей.

## Лабораторная работа № 6 РАСЧЕТ СОСТАВА АРБОЛИТОВОЙ СМЕСИ

**Цель работы** – приобретение практических навыков расчетов арболитовой смеси.

Подбор состава арболита производится расчетно-экспериментальным методом.

### 1. Определение исходных данных

К данным, необходимым для расчета состава арболита, относятся:

- марка (или класс) бетона по пределу прочности на сжатие;
- средняя плотность арболита,  $\text{кг/м}^3$ ;
- вид древесного заполнителя;
- насыпная плотность заполнителя;
- влажность заполнителя;
- марка, или активность, цемента;
- вид химической добавки и ее концентрация.

### 2. Подбор состава арболита

По табл. 9-13 определяют ориентировочный расход всех компонентов арболитовой смеси для изготовления первого исходного замеса в зависимости от проектного класса (марки) арболита по прочности и вида древесного заполнителя.

Т а б л и ц а 9

Максимальный расход сухого древесного заполнителя  
для приготовления арболита,  $\text{кг/м}^3$

Заполнитель – дробленка из отходов:	Арболит класса (марки)				
	B0,35 (5)	B0,75 (10)	B1 (15)	B2(2,5)	B2,5 (35)
лесопиления и дерево- обработки хвойных пород	160	180	200	220	240
лесозаготовки хвойных пород	170	190	210	230	250
лесопиления и дерево- обработки смешанных пород	180	200	220	240	250
лесозаготовки смешанных пород	160	180	200	220	240

Т а б л и ц а 10

Максимальный расход портландцемента марки 400  
для приготовления арболита, кг/м<sup>3</sup>

Заполнитель – дробленка из отходов:	Арболит класса (марки)				
	В0,35 (5)	В0,75 (10)	В1 (15)	В2(2,5)	В2,5 (35)
лесопиления и дере- вообработки хвойных пород	260	280	300	330	360
лесозаготовки хвойных пород	280	300	320	350	380
лесопиления и дере- вообработки смешан- ных пород	290	310	330	360	390
лесозаготовки смешан- ных пород	310	330	350	380	410

Т а б л и ц а 11

Максимальный расход химических добавок  
для приготовления арболита (в пересчете на сухое вещество)

Химическая добавка	Расход, кг/м <sup>3</sup>
Хлорид кальция технологический	8
Стекло натриево жидкое	8
Комплексная добавка : сернокислый алюминий	20
известь-пушонка	25

Т а б л и ц а 12

Максимальный расход воды для приготовления арболита, л/м<sup>3</sup>

Заполнитель – дробленка из отходов:	Арболит класса (марки)				
	В0,35 (5)	В0,75 (10)	В1 (15)	В2(2,5)	В2,5 (35)
лесопиления и дере- вообработки хвойных пород	280	300	330	360	400
лесозаготовки хвойных пород	300	330	360	40	440
лесопиления и дере- вообработки смешан- ных пород	330	360	390	430	460
лесозаготовки смешан- ных пород	330	360	390	430	460

Т а б л и ц а 13

Коэффициент изменения нормативных расходов цемента  
в арболите при изменении марки цемента

Марка цемента	Арболит класса (марки)				
	В0,35 (5)	В0,75 (10)	В1 (15)	В2(2,5)	В2,5 (35)
М300	1,05	1,05	1,05	1,10	1,15
М400	1	1	1	1	1
М500	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94
М600	0,93	0,93	0,92	0,92	0,9

Расчет состава арболитовой смеси проводят в следующей последовательности.

1. Рассчитывают расход древесного заполнителя с учетом его влажности  $Z^w$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$Z^w = \frac{Z^{\text{сух}}(100 - W_3)}{100}, \quad (23)$$

где  $Z^{\text{сух}}$  – расход сухого древесного заполнителя, кг/м<sup>3</sup> (см. табл.9);

$W$  – влажность древесного заполнителя.

2. Определяют расход портландцемента с учетом заданной марки  $\Pi_m$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$\Pi_m = \Pi \cdot K_m, \quad (24)$$

где  $\Pi$  – расход портландцемента марки М400, кг/м<sup>3</sup> (см. табл.10);

$K_m$  – коэффициент изменения нормативных расходов цемента с учетом его марки (см. табл.13).

3. Находят содержание воды в древесном заполнителе  $V_3$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$V_3 = Z^w - Z^{\text{сух}}. \quad (25)$$

где  $Z^{\text{сух}}$  – расход сухого древесного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$Z^w$  – расход древесного заполнителя с учетом его влажности, кг/м<sup>3</sup>.

4. Рассчитывают содержание воды в химических добавках  $V_{\text{хд}}$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$V_{\text{хд}} = V \cdot \rho_{\text{хд}} - XД_{\text{сух}}, \quad (26)$$

где  $XД_{\text{сух}}$  – расход сухого вещества для приготовления раствора химической добавки, кг/м<sup>3</sup> (см. табл.11);

$\rho_{\text{хд}}$  – плотность раствора при 20°С в зависимости от заданной химической добавки и ее концентрации, кг/м<sup>3</sup> (прил. 1-5);



$V$  – объем раствора химической добавки в зависимости от его концентрации, л,

$$V = \frac{XD_{\text{сух}}}{C_{\text{хд}}}, \quad (27)$$

где  $C_{\text{хд}}$  – содержание химической добавки в 1 л раствора в зависимости от ее концентрации, кг (см. прил. 1-5).

5. Определяют расход водного раствора химических добавок  $V_{\text{хд}}$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$V_{\text{хд}} = XD_{\text{сух}} + B_{\text{хд}}. \quad (28)$$

6. Рассчитывают расход воды с учетом содержания воды в заполнителе и растворе химических добавок  $B_p$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$B_p = B_n - B_z - B_{\text{хд}}, \quad (29)$$

где  $B_n$  – норма расхода воды для арболитовой смеси, кг/м<sup>3</sup> (табл. 12);

$B_z$  – содержание воды в древесном заполнителе;

$B_{\text{хд}}$  – содержание воды в химических добавках.

7. Вычисляют плотность арболита в сухом состоянии  $\rho_{\text{арб}}^c$ , кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$\rho_{\text{арб}}^c = 1,15\Pi_m + Z^{\text{сух}} + XD_{\text{сух}}, \quad (30)$$

где  $1,15\Pi_m$  – масса цементного камня с учетом химически связанной воды, кг;

$\Pi_m$  – расход портландцемента с учетом заданной марки, кг/м<sup>3</sup>;

$Z^{\text{сух}}$  – расход сухого древесного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$XD_{\text{сух}}$  – расход сухого вещества для приготовления раствора химической добавки, кг/м<sup>3</sup>.

8. Находят общий расход всех компонентов арболитовой смеси опытного замеса, кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$\sum P_n = Z^w + \Pi_m + XD_{\text{сух}} + B_p + B_{\text{хд}}. \quad (31)$$

Результаты расчета сводят в итоговую табл. 14.

## Расход компонентов арболитовой смеси

№ п/п	Наименование компонента	Расход, кг/м <sup>3</sup>
1	Древесный наполнитель	$Z^w$
2	Цемент	$\Pi_m$
3	Химическая добавка	$XD_{\text{сух}}$
4	Водный раствор химической добавки	$XD_{\text{сух}} + B_{\text{хд}}$
5	Вода	$B_p$
Общий расход всех компонентов		$\sum P_n$

## 3. Пример подбора состава арболита

**Задание.** Подобрать состав конструкционного арболита класса В2,0 плотностью не более 650 кг/м<sup>3</sup> (в высушенном состоянии) для панелей наружных стен.

В качестве древесного наполнителя используется дробленка из отходов деревообработки хвойных пород зернового состава, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 19222–73. Насыпная плотность дробленки в сухом состоянии – 120 кг/м<sup>3</sup>, влажность по массе равна 50 %. В качестве вяжущего – портландцемент марки 500. В качестве химической добавки – хлорид кальция 10 %-й концентрации.

**Расчет состава арболита на 1 м<sup>3</sup>.**

По табл. 9–12 определяется ориентировочный расход составляющих для изготовления первого исходного замеса:

Расход компонентов составляет:

- сухого древесного наполнителя – 220 кг (см. табл.9);
- цемента М 400 – 330кг (см. табл.10);
- химической добавки ( $\text{CaCl}_2$ ) – 8 кг (см. табл.11);
- воды – 360 л (см. табл.12).

Расход древесного наполнителя с учетом его влажности составит:

$$Z^w = \frac{Z^{\text{сух}}(100 - W_3)}{100} = \frac{220 \cdot (100 + 50)}{100} = 330 \text{ кг.} \quad (32)$$

Расход портландцемента с учетом заданной марки:

$$\Pi_m = \Pi \cdot K_m = 330 \cdot 0,95 = 313,5 \text{ кг.} \quad (33)$$

Содержание воды в древесном наполнителе:

$$B_3 = Z^w - Z^{\text{сух}} = 330 - 220 = 110 \text{ кг.} \quad (34)$$

В качестве химической добавки используется хлорид кальция 10 %-й концентрации. Содержание соли в 1 л 10 %-раствора плотностью 1,084 составляет 0,108 кг (см. прил. 1). Следовательно, для введения в арболит необходимого количества соли в виде 10 %-го раствора на 1 м<sup>3</sup> смеси его потребуется:

$$V = \frac{XD_{\text{сух}}}{C_{\text{хд}}} = \frac{8}{0,108} = 74 \text{ л.} \quad (35)$$

Содержание воды в химической добавке составит:

$$B_{\text{хд}} = V \cdot \rho_{\text{хд}} - XD_{\text{сух}} = 74 \cdot 1,084 - 8 = 72,216 \text{ кг.} \quad (36)$$

Расход водного раствора химической добавки:

$$V_{\text{хд}} = XD_{\text{сух}} + B_{\text{хд}} = 8 + 72,2 = 80,2 \text{ кг.} \quad (37)$$

Расход воды с учетом содержания воды в заполнителе и растворе химической добавки:

$$B_{\text{р}} = B_{\text{н}} - B_{\text{з}} - B_{\text{хд}} = 360 - 110 - 72,2 = 177,8 \text{ кг.} \quad (38)$$

Плотность арболита в сухом состоянии при данном расходе материалов:

$$\rho_{\text{арб}}^{\text{с}} = 1,15\Pi_{\text{м}} + 3^{\text{сух}} + XD_{\text{сух}} = 1,15 \cdot 313,5 + 220 + 8 = 542,65 \text{ кг/м}^3. \quad (39)$$

Общий расход всех компонентов арболитовой смеси опытного замеса:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{н}} &= 3^{\text{в}} + \Pi_{\text{м}} + XD_{\text{сух}} + B_{\text{р}} + B_{\text{хд}} = \\ &330 + 313,5 + 8 + 177,8 + 72,2 = 901,5 \text{ кг} / \text{м}^3. \end{aligned} \quad (40)$$

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое арболит?
2. Назовите основные виды компонентов арболита и требования к ним.
3. Укажите порядок расчета состава арболита.

## Лабораторная работа № 7 КОРРЕКТИРОВКА СОСТАВА АРБОЛИТОВОЙ СМЕСИ

**Цель работы** – приобретение практических навыков корректировки состава арболитовой смеси и освоение методик определения основных показателей качества арболитовой смеси.

### Приготовление пробного замеса и корректировка состава

Рассчитанный состав бетона проверяют и при необходимости корректируют в лаборатории на пробных замесах. Корректировка проводится по *удобоукладываемости арболитовой смеси и прочности арболита*. Для этого готовят пробные замесы объемом 3...5 л или более в зависимости от форм, в которые будет укладываться смесь. Стандартными считаются формы 150×150×150 мм (допускаются формы 200×200×200 и 100×100×100 мм). Из пробного замеса готовят не менее трех образцов-кубов.

Рассчитывают расход компонентов на лабораторный замес (3 л):

$$Ц_{л.з} = Ц_{м} \cdot 0,003,$$

$$З_{л.з}^w = З^w \cdot 0,003,$$

$$ХД_{л.з}^{сух} = ХД_{сух} \cdot 0,003,$$

$$В_{л.з}^p = В_p \cdot 0,003,$$

$$В_{л.з}^{хд} = В_{хд} \cdot 0,003.$$

Для приготовления пробного замеса отвешивают рассчитанные для требуемого объема арболита количества цемента, древесного заполнителя и химической добавки. Цемент и заполнитель помещают в предварительно смоченную водой металлическую чашу и перемешивают. Хлористый кальций растворяют в воде затворения и, постепенно добавляя в смесь, тщательно перемешивают до получения однородной массы (в течение 10 минут).

Арболитовую смесь укладывают в формы-кубы размерами 10×10×10 см. На форме закрепляют насадку. Форму с насадкой жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и заполняют арболитовой смесью (примерно до половины высоты насадки), затем на поверхность смеси устанавливают пригруз, обеспечивающий давление, принятое при производстве изделий, но не менее 0,004 МПа, и вибрируют в

течение 30–60 с до прекращения оседания пригруза. После этого снимают пригруз и насадку, срезают избыток смеси и заглаживают поверхность образца.

### 1. Определение удобоукладываемости арболитовой смеси

Удобоукладываемость обычных арболитовых смесей оценивают по показателю расслоения. Расслаиваемость (раствороотделение) характеризует связность смеси при динамических воздействиях.

Для определения расслаиваемости после окончания вибрирования смеси, срезания ее избытка и заглаживания поверхности образца из формы отбирают на противень верхнюю часть арболитовой смеси высотой  $(10 \pm 0,5)$  см, нижнюю часть выгружают путем опрокидывания формы на другой противень. Допускается перед разделением свежеформованного образца производить его распалубку.

Отобранные пробы арболитовой смеси взвешивают с погрешностью до 10 г и подвергают мокрому рассеву на сите с отверстиями 2,5 мм. Для этого отдельные части пробы, уложенные на сито, промывают струей чистой воды до полного удаления цементного теста с поверхности частиц органического заполнителя. Промывку смеси считают законченной, когда из сита вытекает вода.

Отмытые порции заполнителя переносят на чистый противень, высушивают до постоянной массы при  $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$  и взвешивают с погрешностью до 10 г.

Содержание цементного теста в верхней и нижней частях уплотненной арболитовой смеси  $m_{\text{ц}}$ , %, рассчитывают по формуле

$$m_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{см}} - m_{\text{з}}}{m_{\text{см}}} \cdot 100\%, \quad (41)$$

где  $m_{\text{см}}$  – масса арболитовой смеси, отобранной из верхней (или нижней) части образца, г;

$m_{\text{з}}$  – масса отмытого и высушенного органического заполнителя из верхней (или нижней) части образца, г.

Показатель расслоения арболитовой смеси  $\Pi_{\text{р}}$ , %, определяют по формуле

$$\Pi_{\text{р}} = \frac{\Delta m_{\text{ц}}}{\sum m_{\text{ц}}} \cdot 100\%, \quad (42)$$

где  $\Delta m_{\text{ц}}$  – абсолютная разность между содержанием цементного теста в верхней и нижней частях образца, %;

$\sum m_{\text{ц}}$  – суммарное содержание цементного теста в верхней и нижней частях образца, %.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

Показатель расслаиваемости (раствороотделения) смеси должен быть не более 10 % (ГОСТ 19222–84). Если показатель расслаиваемости арболитовой смеси получился больше требуемого, то в пробный замес добавляют 5-10 % цемента от расчетного количества и вновь определяют показатель расслаиваемости.

## *2. Определение средней плотности арболитовой смеси в уплотненном состоянии*

Форму с арболитовой смесью взвешивают и рассчитывают среднюю плотность по формуле

$$\rho_{\text{см}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (43)$$

где  $m$  – масса формы-куба с арболитовой смесью, г (кг);

$m_1$  – масса формы-куба без смеси, г (кг);

$V$  – объем формы, см<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>).

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

## *3. Определение объема межзерновых пустот в обычной арболитовой смеси*

Объем межзерновых пустот, оставшихся в уплотненной арболитовой смеси вследствие ее неполного уплотнения или недостаточного содержания цементного теста, по сравнению с объемом межзерновых пустот в органическом заполнителе (в % от общего объема смеси) определяют экспериментальным или расчетным способом.

*Экспериментальный способ.*

Уплотненную арболитовую смесь после определения средней плотности в уплотненном состоянии выгружают из цилиндрического сосуда (формы) на противень, растирают отдельные комья, тщательно перемешивают с добавлением 2 кг цемента и 1-1,2 л воды. После этого по методике, описанной в п.2, вновь определяют среднюю плотность арболитовой смеси в уплотненном состоянии.

Объем межзерновых пустот в уплотненной арболитовой смеси  $V_{\text{п}}^{\text{э}}$ , %, вычисляют по формуле

$$V_{\text{п}}^{\text{э}} = \frac{1 - (V_2 - V_{\text{ц.т}})}{V_1} \cdot 100\%, \quad (44)$$

где  $V_1$  – объем арболитовой смеси, подвергаемой испытанию, дм<sup>3</sup> (объем сосуда или формы);

$V_2$  – объем уплотненной арболитовой смеси после добавления цемента и воды,  $\text{дм}^3$ ,

$$V_2 = \frac{m_{\text{см}} + m_{\text{ц}} + m_{\text{в}}}{\rho_{\text{см}}} \cdot 100\%, \quad (45)$$

где  $m_{\text{см}}$ ,  $m_{\text{ц}}$ ,  $m_{\text{в}}$  – массы соответственно испытываемой арболитовой смеси (без добавления цемента и воды), добавляемого цемента и воды, кг;

$\rho_{\text{см}}$  – плотность арболитовой смеси в уплотненном состоянии (после добавления цемента и воды),  $\text{кг}/\text{дм}^3$ ;

$V_{\text{ц.т}}$  – объем добавляемого цементного теста,  $\text{дм}^3$ ,

$$V_{\text{ц.т}} = \frac{m_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ц}}} + m_{\text{в}}, \quad (46)$$

где  $\rho_{\text{ц}}$  – плотность цемента, принимается равной  $3,1 \text{ кг}/\text{дм}^3$ .

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

#### *Расчетный способ.*

При расчетном способе объем межзерновых пустот в уплотненной арболитовой смеси, %, вычисляют по формуле

$$V_{\text{п}}^{\text{р}} = \frac{1000 - \left( \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{З}}{\rho_{\text{з}}} + \text{В} + \text{В}_{\text{д}} \right)}{10}, \quad (47)$$

где Ц, З, В,  $\text{В}_{\text{д}}$  – фактические массы соответственно цемента, сухого заполнителя, воды и раствора химических добавок на  $1 \text{ м}^3$  уплотненной арболитовой смеси, кг;

$\rho_{\text{ц}}$  – плотность цемента, принимается равной  $3,1 \text{ кг}/\text{дм}^3$ ;

$\rho_{\text{з}}$  – плотность частиц органического заполнителя,  $\text{кг}/\text{дм}^3$ .

Объем межзерновых пустот в уплотненных смесях для обычного арболита крупнопористой структуры не нормируется.

Результаты экспериментальных определений показателей качества приготовления арболитовой смеси заносят в табл.15.

## Результаты определений показателей качества арболитовой смеси

№ пробного замеса	Средняя плотность в уплотненном состоянии $\rho_{см}$ , кг/м <sup>3</sup>	Объем межзерновых пустот $V_{п}^3$ , %	Показатель расслоения арболитовой смеси $\Pi_p$ , %

Определяют фактический расход компонентов по формулам:

➤ *древесного заполнителя*

$$Z_{\phi} = \frac{Z^{\omega} \cdot \rho_{см}}{\sum P_H}; \quad (48)$$

➤ *цемента*

$$\Pi_{\phi} = \frac{(\Pi_M + \Delta\Pi) \cdot \rho_{см}}{\sum P_H}; \quad (49)$$

➤ *водного раствора химических добавок*

$$XD_{\phi} = \frac{V_{хд} \cdot \rho_{см}}{\sum P_H}; \quad (50)$$

➤ *воды*

$$B_{\phi} = \frac{B_p \cdot \rho_{см}}{\sum P_H}. \quad (51)$$

Находят объем израсходованного древесного заполнителя по формуле

$$V_3 = \frac{Z_{\phi}}{\rho_{нас}^3}. \quad (52)$$

Опытные образцы для определения марки арболита хранятся в течение 28 сут при температуре  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(70 \pm 10)\%$ . Затем определяют прочность арболита. Если прочность арболита ниже проектируемого значения, производят корректировку состава, изменяя марку цемента и его расход и т.п.

Все расчеты сводят в табл.16.



Т а б л и ц а 16

Расход компонентов арболитовой смеси, кг/м<sup>3</sup>

Наименование компонента	Расход компонентов		
	нормативный (по таблицам)	расчетный	фактический
Древесный наполнитель	$Z_{\text{сух}}$	$Z^w$	$Z_{\text{ф}}$
Цемент	$\text{Ц}$	$\text{Ц}_m$	
Химическая добавка	$\text{ХД}_{\text{сух}}$	$\text{ХД}_{\text{сух}}$	$\text{Ц}_{\text{ф}}$
Раствор химической добавки	$\text{ХД}_{\text{сух}} + \text{В}_{\text{хд}}$	$\text{ХД}_{\text{сух}} + \text{В}_{\text{хд}}$	$\text{ХД}_{\text{ф}}$
Вода	$\text{В}_n$	$\text{В}_p$	$\text{В}_{\text{ф}}$
Общий расход всех компонентов	$\sum P_n$	$\sum P_p$	$\sum P_{\text{ф}}$

#### Вопросы для самоконтроля

1. По каким показателям проводят корректировку состава арболита?
2. Как определяют среднюю плотность арболитовой смеси в уплотненном состоянии.
3. По какому показателю оценивают удобоукладываемость обычных арболитовых смесей?
4. Что характеризует расслаиваемость (раствороотделение) арболитовых смесей?
5. Как определяется расслаиваемость арболитовых смесей?
6. По какой формуле рассчитывается показатель расслаиваемости арболитовых смесей?
7. Какие требования предъявляет ГОСТ 19222–84 к расслаиваемости арболитовых смесей?
8. Как определяют объем межзерновых пустот в обычной арболитовой смеси?

### 1.3. Контроль качества арболита

#### Лабораторная работа № 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ АРБОЛИТА

**Цель работы** – освоить методики определения средней плотности арболита в различном его состоянии.

##### 1. Определение средней плотности арболита

Средняя плотность арболита – величина нормируемая. Ее определение относится к контрольным испытаниям.

Арболит в зависимости от средней плотности в высушенном до постоянной массы состоянии подразделяют на теплоизоляционный (со средней плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>) и конструкционный (со средней плотностью свыше 500 до 850 кг/м<sup>3</sup>).

Среднюю плотность арболита определяют испытанием образцов в состоянии естественной влажности или нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом (стандартном), водонасыщенном.

При определении средней плотности арболита в состоянии естественной влажности,  $\rho_{\text{арб}}^e$ , образцы испытывают немедленно после их приготовления. В случае отсутствия такой возможности необходимо принимать меры по защите материала от высыхания или увлажнения, помещая образцы в герметичную тару.

Образцы арболита при определении его средней плотности в сухом состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^c$ , высушивают при  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, а в водонасыщенном состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^B$ , насыщают водой.

Для определения средней плотности арболита в воздушно-сухом состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^{B,c}$ , образцы перед испытанием выдерживают не менее 28 суток в помещении при  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(70 \pm 10)\%$ .

Средняя плотность арболита при нормированном влажностном состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^{H,B}$ , может быть рассчитана по формуле

$$\rho_{\text{арб}}^{H,B} = \rho_{\text{арб}}^B \left( 1 + \frac{\omega_H}{100} \right) / \left( 1 + \frac{\omega_m}{100} \right), \quad (53)$$

где  $\rho_{\text{арб}}^B$  – средняя плотность арболита при влажности  $\omega_m$ , кг/м<sup>3</sup>;

$\omega_H$  – нормированная влажность арболита, %;

$\omega_m$  – влажность арболита в момент испытания, %.

Определение средней плотности арболита проводят как на образцах, специально изготовленных из арболитовой смеси, так и на пробах, отобранных непосредственно из изделий. Для определения средней плотности применяют образцы правильной или неправильной геометрической формы. Объем образца должен быть не менее 1 дм<sup>3</sup>.

*Определение средней плотности на образцах правильной геометрической формы.*

Штангенциркулем измеряют размеры образцов с точностью до 0,1 мм, вычисляют их объем, а затем взвешивают эти образцы на технических весах.

За окончательный результат измерений образцов кубической формы принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани.

Объем образца, см<sup>3</sup>, имеющего форму куба или параллелепипеда:

$$V_{\text{геом}} = a \cdot b \cdot h, \quad (54)$$

где  $a, b, h$  – средние значения размеров граней образца, см.

Зная объем и массу образца, среднюю плотность арболита рассчитывают по формуле

$$\rho_{\text{арб}} = \frac{m}{V_{\text{геом}}}. \quad (55)$$

*Определение средней плотности на образцах неправильной геометрической формы.*

Образец арболита неправильной формы взвешивают на воздухе с точностью до 0,01 г на технических весах, затем покрывают тонким слоем парафина или воска и снова взвешивают на воздухе, а потом в воде на гидростатических весах (рис. 3).

Парафинирование производят следующим образом. Высушенный образец нагревают до 60°С и погружают в расплавленный парафин для образования на нем слоя парафина толщиной примерно 1 мм. Если на поверхности образца есть крупные дефекты (поры, трещины и т. д.), то их заделывают парафином с помощью кисточки.

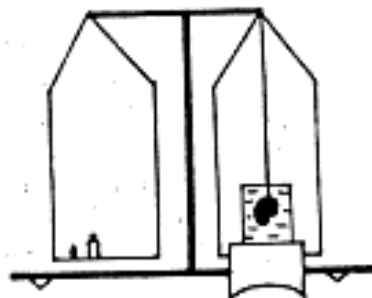


Рис. 3. Схема гидростатических весов (весы Архимеда)

Расчет средней плотности выполняют по формуле

$$\rho_{\text{арб}} = \frac{m}{m_1 - m_2 - (m_1 - m) / \rho_{\text{п}}}, \quad (56)$$

где  $m$  – масса образца неправильной формы, г;  
 $m_1$  – масса парафинированного образца на воздухе, г;  
 $m_2$  – масса парафинированного образца в воде, г;  
 $\rho_{\text{п}}$  – плотность парафина ( $\rho_{\text{п}} = 0,93-0,95$ ), г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты записывают по форме табл.17.

Т а б л и ц а 17

Результаты определений средней плотности арболита

Состояние образцов арболита	Средние значения размеров образца			Объем образца $V_{\text{геом}}$ , см <sup>3</sup>	Масса образца $m$ , г	Средняя плотность образца, г/см <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>
	$a$	$b$	$h$			
Состояние естественной влажности $\rho_{\text{арб}}^{\text{е}}$						
Сухое состояние $\rho_{\text{арб}}^{\text{с}}$						
Воздушно-сухое состояние $\rho_{\text{арб}}^{\text{в.с}}$						
Водонасыщенное состояние $\rho_{\text{арб}}^{\text{в}}$						
Нормированное влажностное состояние $\rho_{\text{арб}}^{\text{н.в}}$						

Средняя плотность арболита в зависимости от его вида и класса арболита, а также от вида заполнителя не должна превышать указанной в табл. 18.

Фактическая средняя плотность арболита не должна превышать проектную более чем на 5 %, а фактическая средняя плотность арболита, предназначенного для изделий высшей категории качества, не должна превышать проектную более чем на 3 %.

## Средняя плотность арболита (ГОСТ 19222)

Вид арболита	Класс по прочности на сжатие	Марка по прочности при осевом сжатии	Средняя плотность арболита, кг/м <sup>3</sup> , на			
			измельченной древесине	костре льна или дробленых стеблях хлопчатника	костре конопли	дробленной рисовой соломе
Теплоизоляционный	В0,35	М5	400-500	400-450	400-450	500
	В0,75	М10	450-500	450-500	450-500	–
	В1,0	М15	500	500	500	–
Конструкционный	В1,5	–	500-650	550-650	550-650	600-700
	В2,0	М25	500-700	600-700	600-700	–
	В2,5	М35	600-750	700-800	–	–
	В3,5	М50	700-850	–	–	–

## 2. Определение однородности по средней плотности арболита

Однородность арболита по средней плотности оценивают коэффициентом однородности  $K_{\text{одн}}$ :

$$K_{\text{одн}} = \frac{\rho_{\text{арб}}^{\text{треб}}}{\rho_{\text{арб}}^{\text{макс}}}, \quad (57)$$

где  $\rho_{\text{арб}}^{\text{треб}}$  – требуемое значение плотности арболита, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{арб}}^{\text{макс}}$  – наибольшее статистически вероятное значение плотности арболита данного состава, кг/м<sup>3</sup>.

Наибольшее статистически вероятное значение плотности арболита ( $\rho_{\text{арб}}^{\text{макс}}$ ) рассчитывают по формуле

$$\rho_{\text{арб}}^{\text{макс}} = \rho_{\text{арб}}^{\text{ср}} (1 + 3C_{v\rho}), \quad (58)$$

где  $\rho_{\text{арб}}^{\text{ср}}$  – среднее значение плотности арболита в данной серии образцов, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{v\rho}$  – показатель изменчивости арболита по плотности.

Среднюю плотность арболита ( $\rho_{\text{арб}}^{\text{ср}}$ ) вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{арб}}^{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{арб}}^1 + \rho_{\text{арб}}^2 + \dots + \rho_{\text{арб}}^n}{n}, \quad (59)$$

где  $\rho_{\text{арб}}^1, \rho_{\text{арб}}^2, \rho_{\text{арб}}^n$  – частные результаты определения плотности в одной серии образцов при естественной влажности или в сухом состоянии;

$n$  – число частных результатов определений.

Показатель изменчивости арболита по плотности ( $C_{v\rho}$ ) рассчитывают по формуле

$$C_{v\rho} = \frac{\sigma_{\rho}}{\rho_{\text{арб}}^{\text{ср}}}, \quad (60)$$

где  $\sigma_{\rho}$  – среднее квадратичное отклонение частных результатов в серии от величины их среднего значения ( $\rho_{\text{арб}}^{\text{ср}}$ ), кг/м<sup>3</sup>.

Среднее квадратичное отклонение ( $\sigma_{\rho}$ ) определяют по формуле

$$\sigma_{\rho} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\rho_{\text{арб}}^{\text{ср}} - \rho_{\text{арб}}^1)^2}{n-1}}, \quad (61)$$

где  $\rho_{\text{арб}}^1$  – частный результат определения плотности, кг/м<sup>3</sup>.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое средняя плотность?
2. На какие группы подразделяется арболит в зависимости от средней плотности?
3. По какой формуле рассчитывается средняя плотность арболита при нормированном влажностном состоянии?
4. Как определить среднюю плотность арболита на образцах правильной геометрической формы?
5. Как определить среднюю плотность арболита на образцах неправильной геометрической формы?
6. Назовите единицы измерения средней плотности.
7. Какие требования предъявляет ГОСТ 19222–84 к фактической средней плотности арболита?
8. Каким показателем оценивается однородность арболита по средней плотности?
9. По какой формуле рассчитывают коэффициент однородности арболита?

## Лабораторная работа № 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРБОЛИТА

**Цель работы** – освоить методики определения основных гидрофизических свойств арболита.

### 1. Определение влажности арболита

Определение влажности арболита выполняют на таких же образцах с теми же требованиями по измерениям, что и при установлении средней плотности. Высушивают либо целые образцы, либо дробленые пробы. Усредненная проба должна иметь массу не менее 200 г. Образцы (пробы) высушивают при  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы.

Влажность арболита по массе,  $W_m$ , и объему,  $W_o$ , рассчитывают по формулам

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (62)$$

$$W_o = W_m \cdot \frac{\rho_m}{\rho_v} \text{ или } W_o = \frac{m_1 - m_2}{V} \cdot 100\%, \quad (63)$$

где  $m_{\text{вл}}$  – масса пробы (образца) арболита до сушки, г;

$m_{\text{сух}}$  – масса пробы (образца) арболита после сушки, г;

$\rho_m$  – средняя плотность сухого арболита  $\text{г/см}^3$  ( $\text{кг/м}^3$ );

$\rho_v$  – плотность воды, принимаемая равной  $1 \text{ г/см}^3$  ( $1000 \text{ кг/м}^3$ );

$V$  – объем образца арболита.

Согласно требованиям ГОСТ 19222–84 влажность арболита в изделиях при отгрузке их потребителю не должна превышать 25 % по массе.

### 2. Определение водопоглощения арболита

Определение водопоглощения арболита выполняют на таких же образцах, что и при определении средней плотности. Образцы помещают в сосуд с водой так, чтобы она покрывала их слоем воды высотой примерно 5 см. Температура воды в сосуде должна быть  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Измерения массы проводят через каждые сутки до 3 раз, пока прирост массы не станет меньше 0,1 % от первоначального ее значения.

Образцы насыщают водой после высушивания или в естественном состоянии.

Водопоглощение по массе,  $W_{п.ар}^m$ , и объему,  $W_{п.ар}^o$ , вычисляют по формулам

$$W_{п.ар}^m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (64)$$

$$W_{п.ар}^o = W_{п.ар}^m \cdot \frac{\rho_m}{\rho_v} \text{ или } W_{п.ар}^o = \frac{m_1 - m_2}{V} \cdot 100\%, \quad (65)$$

- где  $m_1$  – масса пробы (образца) арболита до сушки, г;  
 $m_2$  – масса пробы (образца) арболита после сушки, г;  
 $\rho_m$  – средняя плотность сухого арболита г/см<sup>3</sup>(кг/м<sup>3</sup>);  
 $\rho_v$  – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup> (1000 кг/м<sup>3</sup>);  
 $V$  – объем образца арболита.

*Водопоглощение арболита при кипячении* оценивают следующим образом. Сосуд с образцами, находящимися под водой на глубине не менее чем 5 см, нагревают до закипания воды и кипятят в течение 4 ч. После охлаждения образцов до  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  их вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают, затем цикл кипячения повторяют. Если два последовательных взвешивания дают разницу в массе не более 0,1 % массы сухого образца, испытание считают законченным. При расчете используют те же формулы, что и при определении водопоглощения без кипячения.

Полученные результаты заносят в табл.19.

Т а б л и ц а 19

Результаты определений гидрофизических свойств арболита

№ образ-ца	Влажность, %		Водопоглощение, %		Водопоглощение после кипячения, %	
	по массе $W_m$	по объему $W_o$	по массе $W_{п.ар}^m$	по объему $W_{п.ар}^o$	по массе $W_{п.ар}^{м.к}$	по объему $W_{п.ар}^{о.к}$
1						
2						

### 3. Определение сорбционной влажности арболита

Сорбционную влажность арболита оценивают по поглощению им воды из воздуха.

Определение сорбционной влажности арболита проводят следующим образом. Образцы арболита массой 50-100 г высушивают до постоянной массы при температуре  $105^\circ\text{C}$ . Перед высушиванием



каждый образец раскалывают на 3–4 кусочка. После этого сосуды с образцами помещают в эксикатор над насыщенным раствором соли при  $(20+2)^\circ\text{C}$ . Образцы размещают в эксикаторе на фарфоровой вставке или проволочной сетке так, чтобы дно стаканчика не соприкасалось с раствором.

Выбор раствора соли производится в зависимости от заданной относительной влажности воздуха (табл.20).

Т а б л и ц а 20

Зависимость относительной влажности воздуха от используемого раствора соли

Относительная влажность воздуха, %	Наименование раствора
33,5	Насыщенный раствор магния хлористого — $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
54,5	Насыщенный раствор магния азотнокислого — $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
66,0	Насыщенный раствор натрия азотнокислого — $\text{NaNO}_2$
75,5	Насыщенный раствор натрия хлористого — $\text{NaCl}$
86,5	Насыщенный раствор калия хлористого — $\text{KCl}$
95,0	Насыщенный раствор натрия фосфорнокислого двузамещенного — $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
97,0	Насыщенный раствор калия сернокислого — $\text{K}_2\text{SO}_4$

Взвешивание проводят не реже 1 раза в неделю и испытания ведут до постоянной массы.

Сорбционную влажность арболита определяют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов.

Сорбционную влажность образца  $W_c^w$  вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

$$W_c^w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100\%, \quad (66)$$

где  $m_1$  — масса стаканчика с образцом после установления стабилизации, г;

$m_2$  — масса стаканчика с образцом после высушивания образца до постоянной массы, г;

$m_3$  — масса сухого стаканчика, г.

По результатам испытаний строят график зависимости сорбционной влажности арболита от относительной влажности окружающего воздуха при температуре  $20^\circ\text{C}$ . При построении графика по оси абсцисс откладывают относительную влажность воздуха, а по оси ординат — соответствующую сорбционную влажность арболита.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие гидрофизические свойства арболита Вы знаете?
2. Как определяют влажность арболита?
3. Какие требования по влажности арболитовых изделий при отгрузке потребителям предъявляет ГОСТ 19222–84?
4. Как определяют водопоглощение арболита?
5. Что такое сорбционная влажность арболита?
6. Как определяют сорбционную влажность арболита?
7. Каким образом создается фиксированная влажность воздуха при определении сорбционной влажности арболита?
8. Назовите единицы измерения влажности арболита.

### Лабораторная работа № 10

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АРБОЛИТА НА СЖАТИЕ

**Цель работы** – освоить методики определения прочностных свойств арболита.

##### 1. Определение предела прочности арболита при сжатии

*Прочность* – свойство материалов сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами (неравномерное нагревание, усадка и т.п.)

Прочность является важным свойством большинства строительных материалов. От ее значения зависит нагрузка, которую может воспринимать данный элемент при заданном сечении. Прочность материала оценивают *пределом прочности* (временным сопротивлением)  $R$ , определенным при данном виде деформации.

Определение предела прочности образцов арболита на сжатие проводят на гидравлическом прессе (рис.4).

Образец материала 6 устанавливают в центре нижней плиты 7, при этом ось симметрии куба, проходящая через точки пересечения диагоналей верхней и нижней граней, должна совпадать с осью поршня прессы 8. В этом случае давление, создаваемое поршнем, будет равномерно распределяться по верхней и нижней граням образца. При смещении же образца с центра плиты давление распределится неравномерно, что приведет к снижению результатов испытания. Образец устанавливают таким образом, чтобы усилие сжатия было параллельно слоям укладки арболитовой смеси.

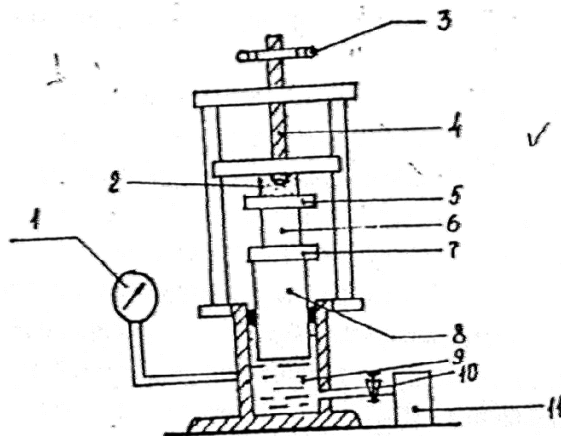


Рис. 4. Схема гидравлического пресса:  
 1 – манометр; 2 – шарнирное соединение; 3 – баранка; 4 – винт; 5 – верхняя плита; 6 – образец; 7 – нижняя плита; 8 – поршень пресса; 9 – полость станины пресса; 10 – кран; 11 – насос

Вращением баранки 3 на образец опускают верхнюю плиту 5, имеющую с винтом 4 шарнирное соединение 2, которое позволяет этой плите плотно прилегать к поверхности образца даже при некотором нарушении параллельности нижней и верхней его граней. В полость станины пресса 9 с помощью насоса 11 подают минеральное масло, которое должно поступать со скоростью, обеспечивающей увеличение давления на 0,5-1 МПа (5-10 кгс/см<sup>2</sup>) в секунду. Подачу масла регулируют краном 10, а давление определяют манометром 1.

Масло нагнетают до тех пор, пока стрелка манометра, показав максимальное давление, не пойдет в обратную сторону – это будет означать, что образец начал разрушаться. Сила, возникающая при повышении давления масла, передается на образец через поршень 8.

Установлено, что прочность арболита зависит от влажности, поэтому за его класс принимают предел прочности при сжатии (МПа) контрольных кубов размером 150×150×150 мм, влажностью по массе 15–20 %, твердеющих при температуре (20±2)°С, относительной влажности воздуха (70+10) % и испытанных в возрасте 28 суток. В случае испытания образцов других размеров учитываются переходные коэффициенты (табл. 21), на которые умножают полученное при испытании значение прочности нестандартных образцов.

Т а б л и ц а 21

Переходные коэффициенты применительно  
к образцам кубической формы

Размер куба, см	10×10×10	15×15×15	20×20×20	30×30×30
Переходный коэффициент	0,94	1,00	1,05	1,10

Разрушающую нагрузку вычисляют по формуле, Н (кгс):

$$F = P \cdot S_{\text{пр}}, \quad (67)$$

где  $P$  – давление масла в момент разрушения образца, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $S_{\text{пр}}$  – площадь поперечного сечения поршня пресса, см<sup>2</sup>.

Предел прочности при сжатии, измеряемый в кгс/см<sup>2</sup> или МПа, равен разрушающей силе,  $F$ , приходящейся на 1 см<sup>2</sup> первоначального сечения материала  $A$ :

$$R_{\text{сж}} = \frac{F}{A}. \quad (68)$$

При переходе из одной размерности в другую учитывают то, что **1 МПа  $\approx$  10 кгс/см<sup>2</sup>**.

Арболит в зависимости от прочности на сжатие образцов-кубов подразделяют на классы (ГОСТ 19222–84):

В0,35; В0,75, В1 – для теплоизоляционного арболита;

В1,5; В2; В2,5; В3,5 – для конструкционного арболита.

Для изделий и конструкций, запроектированных без учета требований СТ СЭВ 1406–78, показатель прочности при сжатии характеризуют марками:

М5, М10, М15 – для теплоизоляционного арболита;

М25, М35, М50 – для конструкционного арболита.

## 2. Определение коэффициента вариации прочности арболита

Прочность арболита в партии  $R_m$ , МПа, определяют по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (69)$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

За единичное значение прочности арболита принимают при контроле по образцам среднюю прочность бетона в одной серии образцов.

Среднее квадратическое отклонение прочности арболита в партии  $S_m$ , МПа, при числе единичных значений прочности бетона в партии  $n$  больше шести вычисляют по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n - 1}}. \quad (70)$$

Если число единичных значений прочности бетона в партии составляет от двух до шести, значение  $S_m$  вычисляют по формуле

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (71)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от числа единичных значений ( $n$ ), принимаемый по табл. 22;

$W_m$  – размах единичных значений прочности бетона в контролируемой партии,

$$W_m = R_{i,\max} - R_{i,\min}; \quad (72)$$

здесь  $R_{i,\max}$  и  $R_{i,\min}$  – максимальное и минимальное значения прочности бетона в серии образцов, МПа.

Коэффициент вариации прочности бетона в партии (партионный коэффициент)  $V_m$  в процентах вычисляют по формуле

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} \cdot 100\%. \quad (73)$$

Т а б л и ц а 22

Значения коэффициента  $\alpha$

Число единичных значений	$n$	2	3	4	5	6
Значение коэффициента	$\alpha$	1,13	1,69	2,06	2,33	2,50

Нормируемый коэффициент вариации прочности конструкционного арболита не должен превышать 20 %.

Партионный коэффициент вариации прочности конструкционного арболита должен быть не более:

18 % – для изделий и конструкций первой категории качества;

15 % – для изделий и конструкций высшей категории качества.

Для теплоизоляционного арболита показатель вариации не нормируется.

### 3. Определение требуемой прочности арболита

Требуемую прочность арболита (отпускную, передаточную, в промежуточном или проектном возрастах) при нормировании прочности по классам, МПа, вычисляют по формуле

$$R_T = K_T \cdot B_{\text{норм}}, \quad (74)$$

где  $B_{\text{норм}}$  – нормируемое значение прочности бетона (отпускной, передаточной, в промежуточном или проектном возрасте) для арболита данного класса по прочности на сжатие;

$K_T$  – коэффициент требуемой прочности для всех видов бетонов, принимаемый в соответствии с табл. 23 в зависимости от среднего коэффициента вариации прочности бетона  $V_n$  по всем партиям за анализируемый период, рассчитанного по формуле

$$V_n = \frac{\sum_{i=1}^n V_{mi} \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}; \quad (75)$$

здесь  $V_{mi}$  – коэффициенты вариации прочности бетона в каждой  $i$ -й из  $n$  проконтролированных в течение анализируемого периода партий бетона;

$n_i$  – число единичных значений прочности бетона в каждой  $i$ -й из  $n$  партий бетона, проконтролированных в течение анализируемого периода;

$\sum_{i=1}^n n_i$  – общее число единичных значений прочности бетона за анализируемый период (не менее 30).

Т а б л и ц а 23

Значения коэффициента  $K_T$

$V_n, \%$	6 и менее	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$K_T$	1,07	1,08	1,09	1,11	1,14	1,18	1,23	1,28	1,33	1,38	1,43

### Вопросы для самоконтроля

1. Каким показателем оценивают прочность арболита?
2. Назовите единицы измерения предела прочности при сжатии.
3. Как определяют предел прочности при сжатии?
4. По какой формуле рассчитывается предел прочности при сжатии?
5. На какие классы по прочности подразделяется теплоизоляционный арболит?
6. На какие классы по прочности подразделяется конструкционный арболит?
7. По какой формуле рассчитывается партионный коэффициент вариации прочности арболита?
8. Каков нормируемый коэффициент вариации прочности конструкционного арболита согласно ГОСТ 19222–84?

9. Каков нормируемый коэффициент вариации прочности теплоизоляционного арболита согласно ГОСТ 19222–84?

10. По какой формуле рассчитывается требуемая прочность арболита?

## Лабораторная работа № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АРБОЛИТА

**Цель работы** – изучение метода экспериментального определения величины теплопроводности арболита и использование полученных результатов для теплотехнических расчетов.

Теплопроводность относится к числу основных характеристик арболита.

*Теплопроводность* – способность материала передавать сквозь свою толщину тепловой поток, образующийся вследствие разности температур на поверхностях, ограничивающих этот материал. Теплопроводность численно характеризуется величиной коэффициента теплопроводности, который равен количеству тепла в Дж, проходящему через стенку материала толщиной в 1 м и площадью в 1 м<sup>2</sup> за 1 ч (3600 с) при разности температур на противоположных поверхностях стенки в 1°С.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С), рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot \Delta t \cdot \tau}, \quad (76)$$

где  $Q$  – количество тепла, прошедшее через стенку из испытываемого материала, Дж;

$\delta$  – толщина стены из испытываемого материала (толщина образца);

$A$  – площадь сечения, через которое передается тепло (площадь стены), м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время прохождения теплового потока;

$\Delta t$  – разность температур на противоположных сторонах проводника тепла, °С.

От величины теплопроводности материала зависит термическое сопротивление теплового потоку стены из этого материала  $R$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (77)$$

Низкое значение теплопроводности является положительной характеристикой для конструкционных и теплоизоляционных арболитов, так как позволяет увеличить величину термосопротивления конструкций без увеличения их толщины.

### 1. Определение коэффициента теплопроводности арболита с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП-МГ4

Прибор ИТП-МГ4 предназначен для оперативного определения теплопроводности строительных материалов в образцах путем измерения плотности теплового потока по ГОСТ 7076–87 и методом теплового зонда в изделиях.

Определение коэффициента теплопроводности арболита на приборе ИТП-МГ4 проводят в следующей последовательности.

1. Определяют величины средней плотности образцов арболита (фиксируя при этом их влажность  $W_m, \%$ ):

– в состоянии естественной влажности,  $\rho_{\text{арб}}^e$  ;

– в сухом состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^c$  ;

– в воздушно-сухом состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^{\text{в.с}}$  ;

– в водонасыщенном состоянии,  $\rho_{\text{арб}}^{\text{в}}$  .

2. По справочным таблицам СНиП II-3–79 «Строительная теплотехника», находят нормативное значение величины удельной теплоемкости (для арболита можно принять  $c_{\text{ар}} \approx 0,88$  кДж/(кг·°С).

3. Переключателем “сеть” на блоке управления включают питание прибора «ИТП-МГ 4» (рис. 5), при этом на индикаторе появляется «0» с мигающим символом «°С», что свидетельствует о готовности прибора к работе и необходимости ввода в память прибора необходимых данных.

4. Найденные ранее показатели свойств материала следует ввести в электронный блок прибора в следующем порядке:

а)  $\rho_{\text{арб}}$  – средняя плотность арболита (в различном его состоянии), кг/м<sup>3</sup>;

б)  $c_{\text{ар}}$  – удельная теплоемкость арболита, кДж/(кг·°С);

в)  $\alpha$  – коэффициент теплообмена в зоне контакта рабочей поверхности теплового зонда с исследуемым материалом. В зависимости от используемого материала смазки принять следующие значения коэффициента  $\alpha$ ; для глицерина – 3,630 см<sup>2</sup>/ч, для вазелина и литола – 3,050 см<sup>2</sup>/ч.



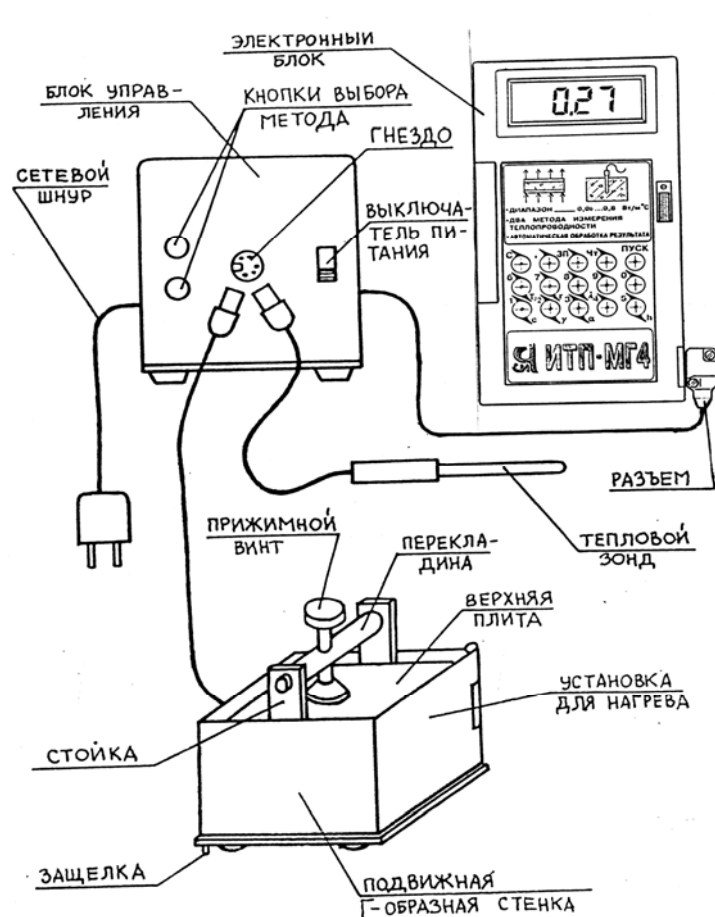


Рис. 5. Общий вид измерителя теплопроводности ИТП-4МГ

После ввода всех необходимых значений производится непосредственное измерение коэффициента теплопроводности путем нажатия на кнопку «ПУСК». По окончании цикла измерения (через 8-10 минут, в зависимости от исследуемого строительного материала) прибор автоматически вычисляет коэффициент теплопроводности  $\lambda$  по формуле

$$\lambda = \frac{\ln 2}{\Delta T} \cdot (P - \alpha \cdot \rho \cdot c), \quad (78)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

$P$  – удельная мощность нагрева зонда, определяемая прибором в зависимости от условий испытаний, Вт;

$\alpha$  – коэффициент теплообмена в зоне контакта зонда, см<sup>2</sup>/ч;

$c$  – удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С);

$\Delta T$  – приращение температуры зонда за фиксированный интервал времени, °С.

Результаты испытаний рекомендуется оформить в виде табл. 23.

Таблица 23

## Результаты определения коэффициента теплопроводности

№ п/п	Средняя плотность	Значение средней плотности, кг/м <sup>3</sup>	Влажность $W_m$ , %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)
1	В состоянии естественной влажности, $\rho_{арб}^e$			
2	В сухом состоянии, $\rho_{арб}^c$			
3	В воздушно-сухом состоянии, $\rho_{арб}^{в.с}$			
4	В водонасыщенном состоянии, $\rho_{арб}^в$			

По результатам испытаний строят график зависимости коэффициента теплопроводности от влажности арболита. При построении графика по оси абсцисс откладывают влажность арболита, а по оси ординат — соответствующий коэффициент теплопроводности арболита.

Как известно, с увеличением влажности теплопроводность материалов существенно возрастает. Зависимость теплопроводности материала от его влажности описывается уравнением

$$\lambda_{сух} = \lambda_{вл} - k \cdot W_m, \quad (79)$$

где  $\lambda_{сух}$  — теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С);

$\lambda_{вл}$  — теплопроводность материала во влажном состоянии, Вт/(м·°С);

$W_m$  — влажность материала по массе, %;

$k$  — коэффициент приращения значения теплопроводности в зависимости от влажности материала.

По полученным результатам вычисляют коэффициент приращения значения теплопроводности в зависимости от влажности.

Согласно ГОСТ 19222–84 теплопроводность высушенного до постоянной массы арболита в зависимости от вида заполнителя, определяемая при температуре  $(20 \pm 5)$  °С, не должна превышать указанной в табл.24.

**Зависимость коэффициента теплопроводности  
от средней плотности арболита**

Вид заполнителя	Теплопроводность, Вт/(м °С), при средней плотности, кг/м <sup>3</sup>									
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
Измельченная древесина	0,08	0,09	0,095	0,105	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
Измельченные стебли хлопчат- ника и рисовой соломы, костры льна и конопли	0,07	0,075	0,08	0,095	0,105	0,11	0,12	–	–	–

На основании полученных экспериментальных данных делают выводы о зависимости коэффициента теплопроводности от влажности арболита и соответствии теплопроводности исследуемого арболита требованиям ГОСТ 19222–84.

## 2. Расчетный метод определения коэффициента теплопроводности арболита

Теплопроводность, являясь структурно-чувствительной характеристикой строительного материала, интегрально зависит от множества факторов: плотности, дефектов структуры, фазового и минералогического состава вяжущего и заполнителей, гранулометрического состава, влагосодержания, пористости.

Рядом исследователей поддерживается концепция доминирующего влияния плотности материала на его теплопроводящие свойства. На основании этого предположения были получены расчетные эмпирические зависимости для определения теплопроводности строительных материалов (табл.25).

Студентам предлагается выполнить расчеты и выяснить, какая из формул, приведенных в табл. 25, подходит для прогнозирования величины теплопроводности арболита.

Расчетные формулы для определения теплопроводности строительных материалов

Некрасов В.П.	$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16$
Спектор Б.В.	$\lambda = 0,029 + 2,19 \cdot 10^{-4} \cdot d$
Власов О.Е.	$\lambda = 0,2 \cdot d + 0,05 \cdot d^2$
Кауфман Б.Н.	$\lambda = 0,0935 \cdot \sqrt{d} \cdot 2,28^d + 0,025$
Бужевич Г.А.	$\lambda = \frac{0,38 \cdot d}{1000} - 0,12$

Примечание. В формулах  $d$  – относительная плотность материала, равная отношению средней плотности исследуемого строительного материала к плотности стандартного вещества, в качестве которого принимается вода при температуре +4 °С ( $\rho_v = 1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

**Пример расчета коэффициента теплопроводности арболита.**

Данные для расчета: конструкционный арболит класса В2,0 плотностью в сухом состоянии  $600 \text{ кг/м}^3$ . Необходимо найти его коэффициент теплопроводности.

Рассчитываем относительную плотность арболита:

$$d = \frac{\rho_{\text{арб}}^c}{\rho_v} = \frac{600}{1000} = 0,6, \quad (80)$$

где  $\rho_{\text{арб}}^c$  – средняя плотность сухого арболита,  $\text{г/см}^3$  ( $\text{кг/м}^3$ );

$\rho_v$  – плотность воды, принимаемая равной  $1 \text{ г/см}^3$  ( $1000 \text{ кг/м}^3$ ).

Вычисляем коэффициент теплопроводности сухого арболита:

➤ по формуле проф. В.П. Некрасова

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16 = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 0,6^2} - 0,16 = \\ &= 0,205 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}; \end{aligned} \quad (81)$$

➤ по формуле Власова О.Е.

$$\lambda = 0,2 \cdot d + 0,05 \cdot d^2 = 0,2 \cdot 0,6 + 0,05 \cdot 0,6^2 = 0,122 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}. \quad (82)$$

Сопоставив полученные результаты с данными табл.23, видим, что для расчета теплопроводности арболита более подходит формула Власова О.Е.

Для расчета теплопроводности влажного арболита пользуются формулами

$$W_o = W_m \cdot d \Rightarrow W_m = \frac{W_o}{d}, \quad (83)$$

$$\lambda_{\text{вл}} = \lambda_{\text{сух}} + k \cdot W_m, \quad (84)$$

где  $W_o$  – влажность арболита по объему, %;

$W_m$  – влажность арболита по массе, %;

$\lambda_{\text{сух}}$  – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С);

$\lambda_{\text{вл}}$  – теплопроводность материала во влажном состоянии, Вт/(м·°С);

$k$  – коэффициент приращения значения теплопроводности в зависимости от влажности материала.

### 3. Теплотехнический расчет ограждающей конструкции из арболита

При выполнении теплотехнического расчета прежде всего необходимо убедиться в том, что исследуемая конструкция обеспечит требуемое термическое сопротивление тепловому потоку  $R_o^{\text{TP}}$  [14].

Для этого на первом этапе расчета определяют величину  $R_o^{\text{TP}}$ , исходя из соблюдения *санитарно-гигиенических* норм, по формуле

$$R_o^{\text{TP}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n}{\Delta t_{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}}, \quad (85)$$

где  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий (для жилых зданий  $t_{\text{в}} = 18$  °С);

$t_{\text{н}}$  – расчетная зимняя температура, °С, принимаемая в зависимости от климатических условий строительства (для г. Пензы  $t_{\text{н}} = -29$  °С);

$n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для стен  $n = 1$ );

$\Delta t_{\text{н}}$  – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения (для стен жилых зданий  $\Delta t_{\text{н}} = 4$  °С);

$\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции ( $\alpha_{\text{в}} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)).

На втором этапе, используя фактические величины коэффициентов теплопроводности, а также толщины арболита, вычисляют величину термического сопротивления для данного вида конструкции ограждения по формуле

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ар}}}{\lambda_{\text{ар}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (86)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения (для наружных стен  $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ );

$\delta_{ар}$  – толщина ограждающей конструкции из арболита, м;

$\lambda_{ар}$  – фактический коэффициент теплопроводности арболита;

$\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции ( $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ).

На последнем этапе сравнивают полученные в ходе расчета величины  $R_o^{тр}$  и  $R_o$ . При выполнении условия  $R_{тр} \leq R_o$  конструкция соответствует санитарно-гигиеническим и комфортным условиям проживания.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое теплопроводность материала?
2. Приведите размерность и математическую зависимость, характеризующую физический смысл этой величины.
3. Чем, по вашему мнению, можно обосновать доминирующее влияние средней плотности материала на его теплопроводность?
4. Что такое термическое сопротивление строительной конструкции?
5. Как термическое сопротивление строительных конструкций зависит от физических свойств арболита?
6. Почему в теплотехнических расчетах для конструкционного и теплоизоляционного арболита необходимо учитывать его сорбционное увлажнение?

## 2. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Цементно-стружечные плиты (ЦСП) – крупноформатный листовой строительный материал, изготавливаемый из тонкой древесной стружки, минерального вяжущего и химических добавок, снижающих вредное воздействие экстрактов древесины на цемент.

При изготовлении ЦСП в качестве вяжущего применяют портландцемент, гипс, каустический магнезит, шлакосиликатное вяжущее и др. Выбор вяжущих обусловлен их ресурсами, стоимостью и свойствами полученных изделий. Однако наиболее распространен портландцемент, так как ЦСП на основе этого вяжущего обладает наилучшими эксплуатационными свойствами.

В качестве древесного сырья для производства плит рекомендуется применять тонкомерную древесину хвойных и лиственных пород не ниже 3-го сорта. Смешение пород не рекомендуется.

Цементно-стружечные плиты объединяют в себе лучшие свойства цемента и древесины. ЦСП обладают высокой стойкостью к воздействию окружающей среды и мороза, устойчивостью к воздействию плесени, что выгодно отличает их от других видов плит, в том числе гипсокартона, поэтому их часто используют при наружных работах и в помещениях с повышенной влажностью.

Цементно-стружечные плиты относятся к группе трудностгораемых материалов повышенной биостойкости и применяются в строительстве в стеновых панелях, плитах покрытий, в элементах подвесных потолков, вентиляционных коробах, при устройстве полов и т.д.

Плиты выпускают двух марок: ЦСП-1 и ЦСП-2, со шлифованной или нешлифованной поверхностью.

Условное обозначение плит (ГОСТ 26816-86) должно состоять из марки, размеров по длине, ширине, толщине и обозначения настоящего стандарта.

*Пример условного обозначения* цементно-стружечной плиты марки ЦСП-1 размерами 3200×1200×8 мм:

**ЦСП-1 3200×1200×8 ГОСТ 26816-86**

**Отбор образцов и подготовка к испытаниям.** Для оценки качества ЦСП согласно ГОСТ 26816–86 для испытаний физико-механических свойств из каждой отобранной плиты вырезают образцы, размеры и число которых соответствуют указанным в табл.26.

## Размеры и число образцов для испытаний

Наименование показателя	Число образцов, не менее	Номинальные размеры (длина × ширина), мм
Плотность	8	100×100
Влажность	3	50×50 или др. размеров площадью не менее 25 см <sup>2</sup>
Разбухание по толщине	8	100×100
Водопоглощение	8	100×100
Прочность при изгибе	8	ширина 75, длина 25× <i>h</i> +50, но не более 450 ( <i>h</i> – толщина плиты)
Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты	8	50×50

Из плиты на расстоянии 150 мм от поперечной кромки вырезают заготовку шириной 650 мм и длиной, равной ширине плиты; её используют в качестве образца для определения отклонения от плоскостности, из которого в дальнейшем вырезают полосы в зависимости от размеров образцов. Из полос вырезают образцы, равномерно расположенные по ширине плиты с минимальным расстоянием 40 мм между образцами, предназначенными для определения одного показателя (рис.6).

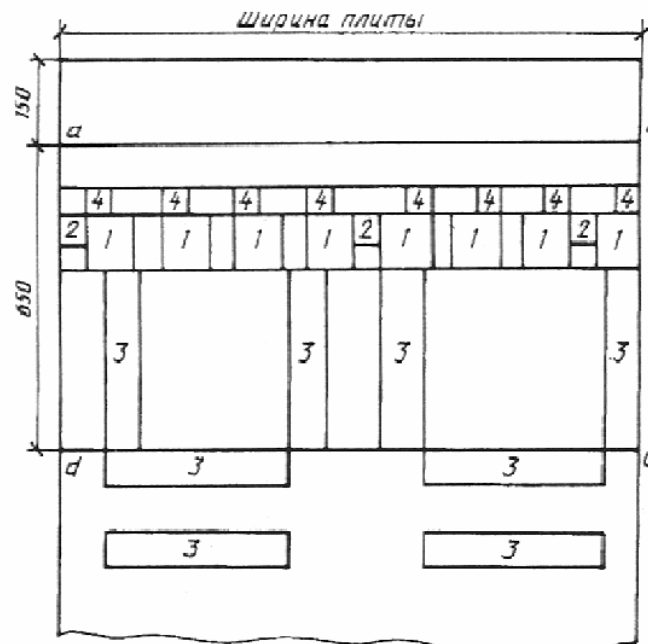


Рис.6. Схемы отбора образцов из плиты для испытаний:  
 1 – образцы для определения плотности, разбухания по толщине за 24 ч и водопоглощения; 2 – образцы для определения влажности; 3 – образцы для определения предела прочности при изгибе; 4 – образцы для определения прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты;  
*adcd* – образец для определения отклонения от плоскостности



Образцы должны иметь прямые параллельные кромки и прямые углы. Предельные отклонения от номинальных размеров образца по длине и ширине  $\pm 0,5$  мм. Предельные отклонения по длине образца для определения предела прочности при изгибе  $\pm 2$  мм. На образцах не допускаются сколы кромок и выкрашивание углов, вмятины.

Все образцы, кроме используемых для определения влажности, перед испытанием следует выдерживать при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(65 \pm 5)\%$  до момента достижения постоянной массы.

## Лабораторная работа № 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

**Цель работы** – изучение линейных и качественных характеристик цементно-стружечных плит.

### 1. Определение размеров плиты

Длину и ширину плиты измеряют по четырем сторонам параллельно кромкам на расстоянии от них 50-100 мм металлической измерительной рулеткой с погрешностью не более 1 мм. За длину или ширину плиты принимают среднее арифметическое значение результатов измерений по двум сторонам.

Толщину плиты измеряют в шести точках, расположенных на расстоянии 50 мм от кромок: по одной в середине коротких сторон и по две на расстоянии друг от друга, равном одной трети длины плиты по длинным сторонам. Измерения проводят индикаторным толщиномером или штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм. За толщину плиты принимают среднее арифметическое значение результатов измерений в шести точках.

За толщину образца ЦСП принимают среднее арифметическое значение результатов измерения в четырех точках, расположенных по углам образца на расстоянии 25 мм от кромок.

Размеры листа ЦСП в любом месте измерения не должны отличаться от номинальных значений более чем на величину предельных отклонений, указанных в табл. 28. Для лабораторных образцов длина и ширина должны соответствовать значениям, указанным в табл. 26.

Плиты должны иметь прямые углы, для этого замеряют длины диагоналей плиты металлической измерительной рулеткой с погреш-

ностью не более 1 мм. Разность длин диагоналей по пласти не должна превышать 0,2 % длины плиты.

Прямолинейность кромок плит определяют металлической поверочной линейкой и набором щупов на каждой кромке плиты. Отклонение от прямолинейности кромок плит, измеренное на отдельных отрезках длиной 1000 мм, не должно быть более 1 мм.

Определение прямолинейности кромок на лабораторных образцах можно определить с помощью металлического угольника и линейки с точностью до 1 мм (рис.7).

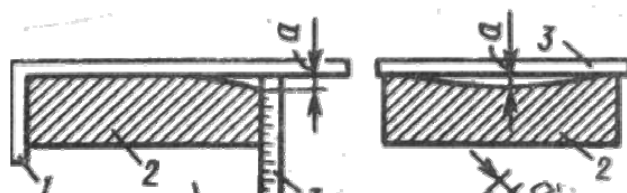


Рис.7. Измерение прямолинейности кромок плиты:  
1 – стальной угольник; 2 – плита; 3 – стальная линейка

Плоскостность плит определяют с помощью набора щупов замером наибольшего зазора на образце размером 1200×650 мм, установленном на эталонной поверхности. На лабораторных образцах также можно определить плоскость с помощью металлического угольника и линейки.

Отклонение от плоскостности для плит марки ЦСП-1 – не более 0,8 мм, для плит марки ЦСП-2 – не более 1,0 мм.

Результаты замеров образцов заносят в табл.27.

Т а б л и ц а 27

Результаты замеров образцов цементно-стружечных плит

Наименование показателя	№ образца			
	1	2	3	4
Длина, мм				
Ширина, мм				
Толщина, мм				
Разность длин диагоналей, %				
Отклонение от прямолинейности кромок, мм				
Отклонение от плоскостности, мм				

## Размеры плит и их предельные отклонения (ГОСТ 26816-86)

Наименование размера	Номинальный размер	Предельные отклонения для плит марок	
		ЦСП-1	ЦСП-2
Длина	3200, 3600	$\pm 3$	$\pm 5$
Ширина	1200, 1250	$\pm 3$	$\pm 5$
Толщина*	8-10	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$
	12-16	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$
	18-28	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$
	30-40	$\pm 1,4$	$\pm 1,6$

\* Градация через 2 мм.

Полученные размерные характеристики образцов ЦСП сравнивают с их нормативными значениями, приведенными в табл.28, и делают выводы.

## 2. Определение качества поверхности плиты

При определении качества поверхности плиты контролируют следующие показатели: шероховатость, сколы кромок плит, выкрашивание углов, вмятины, расслоения по толщине, посторонние включения и механические повреждения, пятна от масла, ржавчины и др.

*Наличие посторонних включений, механических повреждений и расслоений* по толщине оценивают визуальным осмотром.

*Линейные размеры дефектов* поверхности плит измеряют металлической измерительной линейкой с погрешностью не более 1 мм.

*Глубину дефектов* на поверхности плит измеряют с помощью приспособления, состоящего из индикатора часового типа марки ИЧ-10 (рис. 8), закрепленного на металлической скобе с двумя плоскими опорными поверхностями.

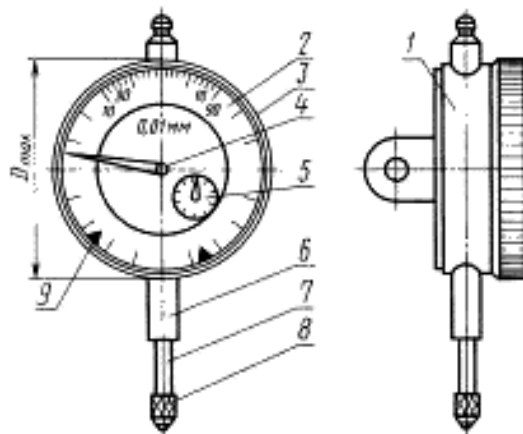


Рис.8. Индикатор часового типа марки ИЧ-10 с перемещением измерительного стержня параллельно шкале:  
 1 – корпус; 2 – циферблат; 3 – ободок; 4 – стрелка; 5 – указатель; 6 – гильза;  
 7 – измерительный стержень; 8 – измерительный наконечник;  
 9 – указатель нуля допуска

*Шероховатость* контролируют сравнением с эталонами.

Контроль осуществляют путем визуального сравнения шероховатости поверхности образца ЦСП с шероховатостью поверхности образца шероховатости. Для сравнения контролируемую поверхность и образец шероховатости располагают так, чтобы их поверхности были равномерно освещены рассеянным светом. Освещенность деталей должна быть не менее 150 лк. Детали и образцы шероховатости должны располагаться между контролером и источником света. Сравнение шероховатости поверхностей осуществляют так, чтобы угол между направлением визирувания и перпендикуляром к поверхности был не менее 60°.

Результаты определения качества поверхности плит образцов заносят в табл.29.

Т а б л и ц а 29

Результаты определения качества поверхности плит

Наименование показателя	Размер дефекта	Количество дефектов	Соответствие требованиям ГОСТ 26816–86
Шероховатость (соответствует или не соответствует эталону)			
Сколы кромок плит			
Выкрашивание углов			
Пятна			
Вмятины			
Расслоения по толщине			
Механические повреждения			
Посторонние включения			

По качеству поверхности плиты должны соответствовать нормам, указанным в табл.30.

Т а б л и ц а 30

Требования по качеству поверхности цементно-стружечных плит (ГОСТ 26816–86)

Наименование дефекта	Число и размеры дефектов для плит марок	
	ЦСП-1	ЦСП-2
Сколы кромок и выкрашивание углов	Не допускаются свыше предельных отклонений по длине (ширине) плиты	
Пятна, в т.ч. от масла, ржавчины и др.	Не допускаются	Не допускаются более 1 шт. диаметром более 20 мм на 1 м <sup>2</sup>
Вмятины	Не допускаются более	
	1 шт.	3 шт.
	глубиной более:	
	1 мм	2 мм
	диаметром на 1 м <sup>2</sup> более:	
10 мм	20 мм	

В плитах не допускаются расслоения по толщине, посторонние включения и механические повреждения.

Полученные характеристики качества поверхности образцов ЦСП сравнивают с их нормативными значениями, приведенными в табл.30, и делают выводы.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что представляют собой цементно-стружечные плиты?
2. Назовите основные свойства цементно-стружечных плит.
3. Какие размерные характеристики ЦСП Вы знаете?
4. Как определяют прямолинейность кромок плит?
5. Как определяют плоскостность плит?
6. Какие отклонения от плоскостности плит допускаются ГОСТ 26816–86?
7. Какие показатели контролируют при определении качества поверхности плит?
8. Как определяют шероховатость поверхности плит?
9. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 к качеству поверхности ЦСП?

## Лабораторная работа № 13 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

**Цель работы** – изучение методик определения основных физических свойств цементно-стружечных плит.

### 1. Определение плотности плит

Плотность ЦСП определяют на образцах размером  $100 \times 100 \times h$  мм. Образцы взвешивают с точностью до 0,01 г, определяют их линейные размеры. Толщину измеряют микрометром или толщимером в 4 точках. За толщину образца принимают среднее арифметическое значение четырех замеров. Длину и ширину измеряют в двух местах параллельно кромкам образца и принимают среднее арифметическое значение двух замеров. Плотность вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{b \cdot h \cdot l}, \quad (87)$$

где  $m$  – масса образца, г (кг);

$b, h, l$  – ширина, толщина и длина образца, см (м).

## 2. Определение влажности плит

Влажность плит определяют на образцах размером 50×50 или других размеров, площадью не менее 25 см<sup>2</sup>.

Образцы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г и высушивают в сушильном шкафу при (103±2)°С до постоянной массы. Высушенные образцы охлаждают в эксикаторе.

Влажность ЦСП рассчитывают по формуле

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (88)$$

где  $m_{\text{вл}}$  – масса образца до сушки, г;

$m_{\text{сух}}$  – масса образца после сушки, г;

Согласно требованиям ГОСТ 26816–86 нормативная влажность плит должна быть (9±3) % по массе (прил. 6).

## 3. Определение водопоглощения и разбухания ЦСП

Водопоглощение и разбухание плит определяют на одних и тех же образцах размером 100×100× $h$  мм.

Образцы после кондиционирования взвешивают с погрешностью не более 0,1 г и измеряют их толщину в четырех точках. Затем образцы погружают в сосуд с водой в вертикальном положении при температуре (20±2)°С. Образцы не должны соприкасаться друг с другом, а также с дном и боковыми стенками сосуда. Слой воды над образцами – не менее 20 мм.

Образцы выдерживают в воде в течение (24±0,25) ч, затем извлекают их из воды, осушают фильтровальной бумагой, вторично измеряют в тех же точках и взвешивают.

Водопоглощение  $W_{\text{цсп}}^m$  рассчитывают по формуле

$$W_{\text{цсп}}^m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (89)$$

где  $m_1$  – масса водонасыщенного образца, г;

$m_2$  – масса сухого образца, г.

Согласно требованиям ГОСТ 26816–86 водопоглощение плит за 24 ч должна быть не более 16 % (см. прил. 6).

Разбухание по толщине  $\Delta h$  вычисляют по формуле

$$\Delta h = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \cdot 100\%, \quad (90)$$

где  $h_0$  – толщина образца до увлажнения, г;

$h_1$  – толщина образца после увлажнения, г.

Согласно требованиям ГОСТ 26816–86 разбухание плит по толщине за 24 ч должно быть не более 2 % (см. прил. 6).

Результаты определения физических свойств цементно-стружечных плит заносят в табл.31.

Т а б л и ц а 31

Результаты определения физических свойств ЦСП

№ образца	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Влажность по массе $W_m$ , %	Водопоглощение по массе $W_{цсп}^m$ , %	Разбухание по толщине $\Delta h$ , %
1				
2 и т.д.				

### Вопросы для самоконтроля

1. Как определяют плотность цементно-стружечных плит?
2. В каком диапазоне находится плотность ЦСП?
3. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 к влажности ЦСП?
4. Как определяют водопоглощение цементно-стружечных плит?
5. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 по водопоглощению ЦСП?
6. По какой формуле рассчитывается разбухание плит по толщине?
7. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 по разбуханию плит по толщине?

## Лабораторная работа № 14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

**Цель работы** – изучение методик определения основных механических свойств цементно-стружечных плит.

### 1.Определение прочности плит при изгибе

Прочность при изгибе перпендикулярно пласти плиты определяют на образцах шириной 75 мм и длиной, равной 25-кратной номинальной толщине плюс 50 мм, но не более 450 мм.

У образцов после кондиционирования определяют ширину и толщину. Ширину образца измеряют по его поперечной оси штанген-

циркулем с погрешностью не более 0,1 мм. Толщину образца измеряют на середине его длины в двух точках, на расстоянии 25 мм от продольных кромок. Измерения проводят микрометром или толщиномером с погрешностью не более 0,01 мм. За толщину образца принимают среднее арифметическое значение результатов измерений в двух точках.

Испытание образцов проводят на испытательной машине, оборудованной специальным устройством, состоящим из двух параллельных цилиндрических опор, которые можно передвигать в горизонтальной плоскости. У испытательного устройства устанавливают опоры на расстоянии, равном 25-кратной номинальной толщине плиты, но не более 400 мм, с погрешностью не более  $\pm 1$  мм. Образец укладывают на опоры так, чтобы продольная ось была перпендикулярна к опорам, а поперечная ось параллельна оси ножа (рис.9), и проводят равномерное его нагружение, фиксируя разрушающую нагрузку.

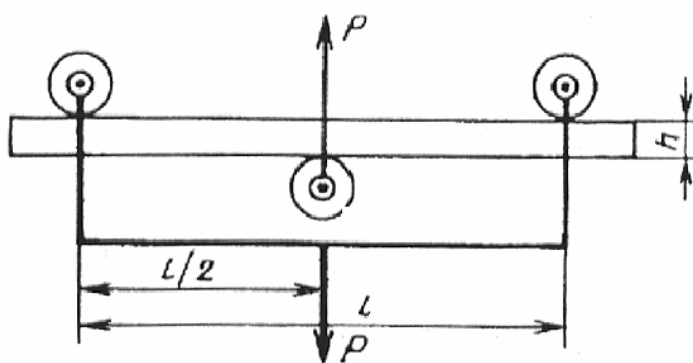


Рис.9. Схема для определения прочности образца цементно-стружечной плиты при изгибе

Предел прочности образца плиты при изгибе,  $R_{\text{изг}}$ , МПа, вычисляют по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (91)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кгс;

$l$  – расстояние между опорами испытательной машины, см;

$b$  – ширина образца, см;

$h$  – толщина образца, см.



## 2. Определение прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты

Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты определяют на образцах размером  $50 \times 50$  мм.

Для определения этого показателя на образцы ЦСП предварительно наклеивают колодки, изготовленные из древесины влажностью 12 %, размером  $65 \times 50 \times 20$  мм. Направление волокон древесины должно совпадать с длинной стороной колодки. Образцы к колодкам приклеивают таким образом, чтобы они по отношению друг к другу были развернуты на  $90^\circ$ . Склеивание производят при давлении 0,5 МПа.

Подготовленные образцы ставят в специальные захваты испытательной машины, которую равномерно нагружают до разрушения образца (рис.10). Нагрузки на образец должны возрастать равномерно в течение  $(60 \pm 15)$  с до разрушения образца или со скоростью перемещения подвижного захвата испытательной машины, равной 10 мм/мин.

Не учитывают результаты испытаний образцов, у которых расстояние от плоскости разрушения до плоскости клеевого шва составляет менее 1 мм, и проводят повторное испытание.

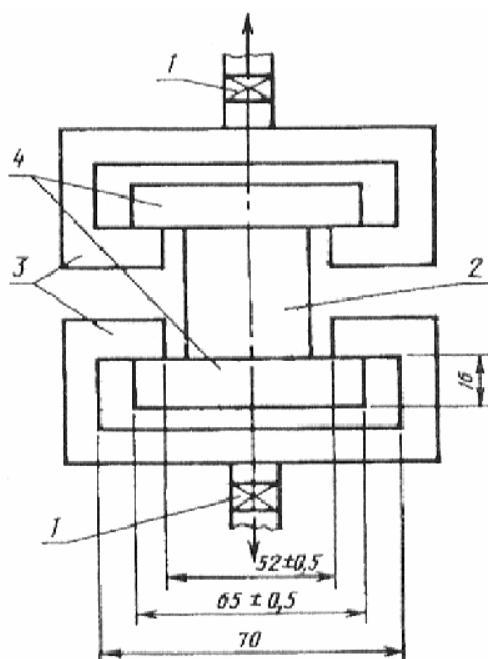


Рис.10. Схема испытания прочности при растяжении перпендикулярно к пласти цементно-стружечной плиты:  
1 – карданный шарнир; 2 – образец; 3 – захваты; 4 – колодки

Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти,  $R_{\text{раст}}$ , вычисляют с точностью до 0,01 МПа по формуле

$$R_{\text{раст}} = \frac{P}{b \cdot l}, \quad (92)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кгс;  
 $l$  – длина образца, см;  
 $b$  – ширина образца, см.

### 3. Определение твердости цементно-стружечных плит

Под твердостью материала принято понимать то сопротивление, которое оказывает материал проникновению в него индентера.

Твердость ЦСП определяют на образцах размером  $50 \times 50 \times h$  мм, где  $h$  – толщина образца, равная толщине плиты. Твердость определяют на пласти каждого отобранного образца в точке пересечения диагоналей.

Испытание проводят следующим образом. Образец помещают в приспособление и устанавливают приспособление в реверсор испытательной машины (рис.11). Конус с шариком ставят на образец так, чтобы шарик попал в отмеченное место. Совмещают нулевое деление на лимбе индикатора со стрелкой и производят нагружение со скоростью 2 мм/мин. В момент достижения шариком глубины вдавливания  $(2 \pm 0,05)$  мм измеряют нагрузку  $P$ . Твердость  $H$  вычисляют по формуле

$$H = \frac{P}{\pi \cdot h(d - h)}, \quad (93)$$

где  $P$  – нагрузка при вдавливании шарика в образец на глубину 2 мм, Н;  
 $h$  – глубина вдавливания шарика, мм;  
 $d$  – диаметр шарика, мм.

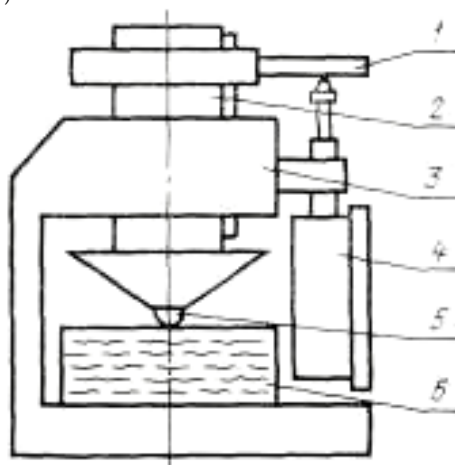


Рис.11. Схема испытания твердости ЦСП:  
1 – пластина; 2 – пуансон; 3 – корпус; 4 – индикатор; 5 – шарик; 6 – образец

Результаты определения механических свойств цементно-стружечных плит оформляют в табличном виде (табл.32).

Т а б л и ц а 32

Результаты определения механических свойств ЦСП

№ образца	Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа	Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти $R_{раст}$ , МПа	Твердость $H$ , Н/мм <sup>2</sup>
1			
2 и т.д.			

Полученные результаты сравнивают с требованиями ГОСТ 26816–86 (см. прил. 6) и справочными показателями физико-механических свойств цементно-стружечных плит (прил. 7) и делают выводы.

#### Вопросы для самоконтроля

1. По какой методике определяют прочность ЦСП на изгиб?
2. Каким показателем оценивается прочность плит на изгиб?
3. Назовите единицы измерения предела прочности при изгибе.
4. По какой формуле рассчитывается предел прочности при изгибе?
5. По какой методике проводят определение прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты?
6. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 по прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты?
7. Как определяют твердость цементно-стружечных плит?
8. Назовите единицы измерения твердости плит.

### Лабораторная работа № 15 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ И СТОЙКОСТИ ЦСП К ЦИКЛИЧЕСКИМ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

**Цель работы** – изучение методик определения морозостойкости ЦСП и стойкости к циклическим температурно-влажностным воздействиям.

#### 1. Определение морозостойкости

Сущность метода заключается в многократном попеременном замораживании-оттаивании насыщенных водой образцов.

При испытании образцов (размеры такие же, как при испытании на прочность при изгибе) измеряют их длину, ширину и толщину.

Одна группа образцов используется для испытания на морозостойкость, другая является контрольной. Образцы, предназначенные для испытания на морозостойкость, помещают в кассеты и погружают не менее чем на 48 ч в емкость с водой так, чтобы уровень воды был выше образцов не менее чем на 30 мм. После насыщения водой проводят попеременное замораживание и оттаивание образцов по следующему циклу:

- 1) замораживание – не менее 4 ч при температуре не выше минус 15 °С;
- 2) оттаивание – не менее 4 ч в воде при температуре не ниже плюс 10 °С.

Согласно ГОСТ 26816–86 число циклов должно составлять 50. После проведения 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания тщательно осматривают образцы и устанавливают наличие расслоений или других повреждений, сравнивая испытанные образцы с контрольными.

Затем испытанные и контрольные образцы насыщают водой не менее 48 ч и испытывают на прочность при изгибе (методика испытания приведена в лаб.работе №3).

За предел прочности при изгибе образцов принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов.

Результаты испытаний ЦСП на морозостойкость оформляют в табличном виде (табл.33).

Т а б л и ц а 33

Результаты определения морозостойкости ЦСП

№ образца	Размеры образца, см		Разрушающая нагрузка $P$ , кгс	Предел прочности при изгибе испытанного образца $R_{изг}^н$ , МПа	Предел прочности при изгибе контрольного образца $R_{изг}^к$ , МПа	Снижение прочности при изгибе $\Delta R_{изг}$ , %
	ширина	толщина				
1						
2						

Согласно ГОСТ 26816-86 снижение прочности при изгибе цементно-стружечных плит после 50 циклов испытания должно быть не более 10 %.

Сделать заключение по работе.

## 2. Определение стойкости ЦСП к циклическим температурно-влажностным воздействиям

Стойкость цементно-стружечных плит к циклическим температурно-влажностным воздействиям оценивают по изменению после 20 циклов испытания следующих показателей: предела прочности при изгибе и разбухания по толщине.

Методика определения прочности плит при изгибе изложена в лабораторной работе №3, п.1.

Методика определения разбухания плит по толщине рассмотрена в лабораторной работе №2, п.3.

Образцы делят на две группы. Одна группа образцов предназначена для испытания, другая является контрольной. Перед проведением испытания образцов предварительно измеряют их толщину.

Один цикл температурно-влажностных воздействий на образцы включает в себя следующие операции:

- образцы помещают на 18 ч в сосуд с водой, имеющей температуру  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , таким образом, чтобы они были покрыты водой на 2-3 см;

- извлеченные из воды образцы помещают в сушильный шкаф, где их просушивают при температуре  $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$  с вентиляцией в течение 6 ч.

После 20 циклов температурно-влажностных воздействий образцы кондиционируют в нормальных температурно-влажностных условиях до достижения исходной влажности  $(9 \pm 3)\%$  и измеряют толщину образцов после испытания. По полученным данным рассчитывают разбухание по толщине по формуле (90).

Затем испытанные и контрольные образцы испытывают на прочность при изгибе.

За предел прочности при изгибе образцов принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов.

Результаты испытаний ЦСП на стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям оформляют в табличном виде (табл.34).

Т а б л и ц а 34

Результаты определения стойкости ЦСП к циклическим температурно-влажностным воздействиям

№ образца	Разбухание по толщине $\Delta h, \%$	Предел прочности при изгибе испытанного образца $R_{изг}^И, \text{МПа}$	Предел прочности при изгибе контрольного образца $R_{изг}^К, \text{МПа}$	Снижение прочности при изгибе $\Delta R_{изг}, \%$
1				
2				

Согласно ГОСТ 26816–86 снижение прочности при изгибе цементно-стружечных плит после 20 циклов температурно-влажностных воздействий должно быть не более 30 %, а разбухание по толщине – не более 5 %.

Сделать заключение по работе.

### Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается сущность метода определения морозостойкости ЦСП?
2. По какому показателю оценивается морозостойкость ЦСП?
3. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 по морозостойкости плит?
4. По каким показателям оценивается стойкость цементно-стружечных плит к циклическим температурно-влажностным воздействиям?
5. Что включает в себя один цикл температурно-влажностных воздействий?
6. Какие требования предъявляет ГОСТ 26816–86 по стойкости ЦСП к циклическим температурно-влажностным воздействиям?

### Лабораторная работа № 16

#### УИРС. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

**Цель работы** – изучение зависимости линейных размеров цементно-стружечных плит от влажности окружающего воздуха.

Цементно-стружечные плиты, как и все материалы, содержащие в своем составе древесину, в зависимости от изменения влажности окружающей среды могут изменять свои линейные размеры. Данную особенность необходимо учитывать при проектировании, оставляя между плитами необходимые зазоры.

Так, например, при обшивке наружных вертикальных конструкций между плитами следует оставлять компенсационные швы (зазоры) – 8 мм, а при обшивке внутренних – 4 мм.

В горизонтальных конструкциях, например полах, плиты укладываются без зазора между собой. При этом между ЦСП и стенами необходимо предусмотреть зазор 10 мм по периметру помещения.

Однако изменение линейных размеров не влияет на качество и долговечность эксплуатации ЦСП.

Зависимость линейных размеров цементно-стружечных плит от влажности окружающего воздуха изучают в следующем порядке:

- Образцы цементно-стружечных плит размером 50×50 мм высушивают до постоянной массы при температуре 105°С.

- Штангенциркулем и толщиномером измеряют геометрические размеры образцов.

- После этого образцы помещают в эксикатор над насыщенным раствором соли при (20+2)°С. Образцы размещают в эксикаторе на фарфоровой вставке или проволочной сетке так, чтобы образцы не соприкасались с раствором. Выбор раствора соли производится в зависимости от заданной относительной влажности воздуха (см. табл.20).

- Взвешивание образцов проводят не реже 1 раза в неделю и испытания ведут до постоянной массы.

- После установления постоянной массы вновь измеряют геометрические размеры образцов и их массу.

- Рассчитывают сорбционную влажность образца,  $W_c^w$ , по формуле

$$W_c^w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (94)$$

где  $m_1$  – масса образца после выдержки во влажной среде, г;

$m_2$  – масса после высушивания образца до постоянной массы, г.

По результатам испытаний строят график зависимости сорбционной влажности цементно-стружечных плит от относительной влажности окружающего воздуха при температуре 20 °С. При построении графика по оси абсцисс откладывают относительную влажность воздуха, а по оси ординат – соответствующую сорбционную влажность ЦСП.

- Рассчитывают изменение линейных размеров образцов  $\Delta a(b, h)$ , мм/м, по формуле

$$\Delta a(b, h) = \frac{a_1(b_1, h_1) - a(b, h)}{a(b, h)}, \quad (95)$$

где  $a_1(b_1, h_1)$  – длина (ширина, толщина) образца после выдержки во влажной среде, мм;

$a(b, h)$  – длина (ширина, толщина) образца после высушивания до постоянной массы (в числителе формулы в мм, в знаменателе – в м).

- Полученные результаты эксперимента по определению влияния влажности окружающего воздуха на линейные размеры ЦСП записывают в табличной форме (табл.35).

Зависимость линейных размеров ЦСП  
от влажности окружающего воздуха

№ образца	Размеры образца после высушивания, мм			Размеры образца после выдержки во влажной среде, мм			Изменение линейных размеров, мм/м		
	$a$	$b$	$h$	$a_1$	$b_1$	$h_1$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta h$
1									
2									

По результатам испытаний строят график зависимости линейных размеров цементно-стружечных плит от относительной влажности окружающего воздуха при температуре 20 °С. При построении графика по оси абсцисс откладывают относительную влажность воздуха, а по оси ординат — соответствующие линейные размеры ЦСП.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Как влияет влажность воздуха на линейные размеры цементно-стружечных плит?
2. Что является причиной изменения линейных размеров ЦПС с увеличением влажности окружающего воздуха?
3. Как влияет сорбционная влажность ЦСП на теплопроводность материала?
4. С какой целью при обшивке стен цементно-стружечными плитами оставляют компенсационные швы (зазоры) ?
5. Как влияет изменение линейных размеров ЦСП на долговечность конструкций?



### 3. ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Древесные топливные брикеты (евродрова) — это удобный, экономичный и экологически чистый вид топлива. Топливные брикеты производят из сухих древесных остатков (опилки, щепа, стружка), спрессованных под большим давлением при высокой температуре без химических добавок и склеивающих веществ. Связующим веществом является лигнин, который содержится в самой древесине. В процессе термического спекания опилок уничтожается вся бактериальная флора и получается «мертвый» продукт для паразитов – жучков, грибов, плесени и микробов. Температура, возникающая при прессовании, способствует заплыванию поверхности брикетов, которая благодаря этому становится водонепроницаемой и препятствует гниению; поэтому топливные брикеты могут храниться довольно долго. Плотность брикетов больше, чем плотность древесины, благодаря чему они занимают меньше места при хранении.

При сжигании брикеты не оказывают негативного воздействия на окружающую среду и атмосферу отапливаемого помещения. При горении не выделяют дыма, копоти, угарного газа и других вредных веществ, в отличие от дров или угля.

В настоящее время только в нескольких европейских странах – Австрии, Швеции и Германии – официально существуют стандарты, разработанные специально для уплотненного топлива из биомассы (топливные брикеты и гранулы pellets). В подавляющем же большинстве европейских стран нет стандартов, предназначенных специально для топливных брикетов и гранул (пеллет). Их отсутствие объясняется тем, что внутренний рынок слишком молод и объемы внутреннего потребления незначительны.

В настоящее время еще не установлена не только единая методика испытаний брикетов, но и номенклатура обязательных видов механических испытаний.

Главными показателями качества топливных брикетов являются: теплотворная способность (калорийность, теплота сгорания), зольность (массовая доля золы), плотность, истираемость (массовая доля мелкой фракции – пыли и опилок), размеры (диаметр, длина).

В зависимости от конструктивных особенностей прессового оборудования брикеты могут иметь различные размеры и форму.

Различают три основных типа брикетов: прямоугольные (они же RUF-брикеты), по форме – небольшой кирпич, изготавливаются на гидравлических прессах; цилиндрические брикеты (с радиальным отверстием или без него), изготавливаются на гидравлических или

ударно-механических прессах и 4- или 6-гранные брикеты с радиальным отверстием (Пини-Кей), изготавливаются на механических (шнековых) прессах посредством сочетания очень высокого давления — 1000–1100 бар — и термической обработки (рис.12).



Рис. 12. Основные типы топливных брикетов

Брикеты цилиндрической или сферической формы с небольшими размерами называют гранулами (пеллетами) (рис.13).



Рис. 13. Топливные гранулы (пеллеты)

Характеристики брикетов и гранул различных типов приведены в приложении 8, а технические требования к ним – в прил. 9.

## Лабораторная работа № 17 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

**Цель работы** – изучение методик определения основных показателей качества топливных брикетов.

### 1. Определение плотности топливных брикетов

Основным фактором, определяющим механическую прочность, водостойкость и калорийность брикета, является его плотность. Чем плотнее брикет, тем выше показатели его качества. С уменьшением плотности снижается калорийность брикетов. Так, например, при плотности топливного брикета 650-750 кг/м<sup>3</sup> калорийность равна 3000-3200·10<sup>3</sup> ккал/м<sup>3</sup>, а при плотности 1200-1300 кг/м<sup>3</sup> калорийность составляет 5200-6190·10<sup>3</sup> ккал/м<sup>3</sup>.

Для определения плотности штангенциркулем измеряют размеры образцов брикетов с точностью до 0,1 мм, вычисляют их объем, а затем взвешивают эти образцы на технических весах.

Плотность  $\rho_{бр}$ , представляющую собой отношение массы материала к его геометрическому объему в естественном состоянии, вычисляют по формуле

$$\rho_{бр} = \frac{m}{V_{геом}}, \quad (96)$$

где  $m$  – масса топливного брикета, г (кг);

$V_{геом}$  – объем брикета, см<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>).

Если топливный брикет с радиальным отверстием, то при определении объема необходимо учитывать объем внутреннего отверстия.

$$V_{геом} = (F - F_1) \cdot h, \quad (97)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения брикета см<sup>2</sup> (м<sup>2</sup>);

$F_1$  – площадь внутреннего отверстия брикета ( $F_1 = \pi \cdot r^2$ ), см<sup>2</sup> (м<sup>2</sup>);

$h$  – высота брикета, см<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>);

$r$  – радиус внутреннего отверстия брикета, см (м).

За окончательный результат принимают среднеарифметическое значение.

## 2. Определение влажности топливных брикетов

Относительная влажность топливных гранул обычно составляет 8–12 %. Такая влажность позволяет обеспечить достаточно высокий КПД сжигания. Этот диапазон зафиксирован как требование в большинстве стандартов качества биотоплива.

Превышение влажности нежелательно по ряду причин, среди которых: опасность разрушения гранул, снижение КПД сжигания, удорожание транспортировки в больших объемах и т.п.

Сущность метода определения влажности брикетов заключается в высушивании навески брикета в сушильном шкафу при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  и вычислении потери массы взятой навески.

Испытание проводят следующим образом.

Пробу измельченного брикета массой 5-10 г помещают в предварительно взвешенную бюксу. Бюксу с навеской брикета устанавливают в сушильный шкаф и сушат при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 4 часов. Затем бюксу вынимают из шкафа, закрывают крышкой, охлаждают

на воздухе при комнатной температуре и взвешивают. Высушивание продолжают до установления постоянной массы.

Содержание влаги  $W_{\text{бр}}$  вычисляют по формуле

$$W_{\text{бр}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \cdot 100\%, \quad (98)$$

где  $m$  – массы пустой бьюксы, г;

$m_1$  – масса бьюксы с пробой до высушивания, г;

$m_2$  – масса бьюксы с пробой после высушивания, г.

Обработку результатов проводят методами математической статистики.

### 3. Определение зольности топливных брикетов

Зольность – характеристика качества биотоплива, показывающая отношение массы золы, остающейся после сгорания топлива, к исходной массе топлива. Одно из преимуществ древесного биотоплива – низкий уровень зольности. Топливные гранулы высшего качества имеют зольность ниже 0,5 %. Древесные гранулы промышленного назначения могут иметь более высокую долю золы.

Важность этой характеристики топливных гранул связана прежде всего с особенностями технологий сжигания. Современные автоматизированные топки малой тепловой мощности, предназначенные для сжигания топливных гранул, могут весьма чутко реагировать на превышение нормы по содержанию в биотопливе золы. Если зольность гранул выше допустимого уровня, это может привести к снижению КПД котла и даже – к его выходу из строя. Котельное оборудование средней мощности менее чутко реагирует на повышенную и высокую зольность биотоплива. Здесь допускается использование гранул с массовой долей золы 1 % и выше. Для котлов большой мощности высокая массовая доля золы как таковая не представляет существенной угрозы.

Зольность топливных брикетов зависит от вида исходного сырья. Зольность древесины в среднем составляет 0,1-1 %, зольность коры выше (для некоторых пород древесины она составляет 7 %). На зольность оказывает влияние влажность сырья. Так, например, сухая кора ели имеет зольность 2,1 %, а влажная – 5,6 %. Древесина сучьев и ветвей образует больше золы, чем древесина ствола.

Сущность метода определения зольности топливных брикетов заключается в озолении навески брикетов в муфельной печи и прокаливании зольного остатка при температуре  $(800 \pm 25)^\circ\text{C}$ .

Испытание проводят следующим образом.

Пробу топливного брикета массой 6-8 г помещают в предварительно взвешенный тигель и ставят в муфельную печь, где образовавшийся зольный остаток прокаливают при температуре  $(800 \pm 25)^\circ\text{C}$  в течение двух часов. Затем тигель с зольным остатком охлаждают сначала на воздухе в течение 5 минут, а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают.

Зольность брикета  $Z$ , %, вычисляют по формуле

$$Z = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \cdot 100\%, \quad (99)$$

где  $m$  – массы пустого тигля, г;

$m_1$  – масса тигля с пробой до прокаливания, г;

$m_2$  – масса тигля с пробой после прокаливания, г.

Обработку результатов проводят методами математической статистики.

#### 4. Определение содержания коры

Точечные пробы (не менее 3-х) массой не менее 500 г отбирают из емкости накопления измельченной брикетированной массы на глубине не менее 20 см. Точечные пробы соединяют вместе, тщательно перемешивают и методом двукратного квартования сокращают до навески массой 1000 г.

Для учебных целей берут лабораторную пробу измельченного брикета массой 10-15 г.

Из навески выбирают частицы, полностью состоящие из коры. От частиц древесины с корой кору отделяют и присоединяют к отобранной массе. Затем отобранную кору взвешивают. Массовую долю коры  $X$ , %, вычисляют по формуле

$$X = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (100)$$

где  $m$  – масса коры, г;

$m_1$  – масса навески брикета с корой, г.

#### 5. Определение массовой доли мелочи в топливных брикетах

Массовая доля мелочи характеризует такой показатель топливных брикетов, как истираемость (прочность гранул).

Прочность гранул и брикетов имеет значение при транспортировке и хранении, поскольку может быть причиной потерь при обработке

груза, а также фактором пожарной опасности. Кроме того, при сжигании в малых котлах пыль засоряет подающие шнеки, уменьшает поступление кислорода и может таким образом приводить к снижению КПД сгорания топлива и даже к выходу дорогостоящего оборудования из строя.

Массовую долю мелочи определяют следующим образом.

Общую пробу топливных брикетов взвешивают и по частям массой 5-10 кг (для учебных целей 2-3 брикета) рассеивают на сите с размером ячеек 25×25 мм до полного прекращения выделения подрешетного продукта. По окончании отсева подрешетный продукт взвешивают.

Содержание мелочи  $M$ , %, вычисляют по формуле

$$M = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (101)$$

где  $m$  – масса навески брикетов, г;

$m_1$  – масса подрешетного продукта, г.

Все вычисления производят до десятых долей и округляют до целых чисел.

## 6. Определение временного сопротивления на изгиб

Предел прочности при изгибе определяют путем испытания образца брикета на гидравлическом прессе, установив его на две опоры (рис.14).

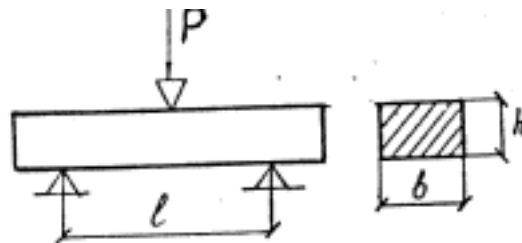


Рис.14. Схема испытания образцов на изгиб

Предел прочности при изгибе  $R_{\text{изг}}$ , кгс/см<sup>2</sup>, рассчитывают по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \quad (102)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, кгс;

$l$  – расстояние между опорами, см;

$b$  – ширина образца, см;

$h$  – высота образца, см.

Значения величин  $l$ ,  $b$ ,  $h$  ходят с помощью линейки с точностью до 1 мм.

Результаты определения основных показателей качества топливных брикетов записывают в табличной форме (табл.36).

Т а б л и ц а 36

Основные показатели качества топливных брикетов

№ образца	Плотность брикета, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )	Влажность брикета, $W_{бр}$ , %	Зольность брикета, $Z$ , %	Содержание коры $X$ , %	Массовая доля мелочи $M$ , %	Временное сопротивление на изгиб брикетов $R_{изг}$ , кгс/см <sup>2</sup>
1						
2						

Полученные результаты определения основных свойств топливных брикетов сравнивают с техническими требованиями (ТУ 13-785) (см. прил. 9) и делают заключение по работе (устанавливают сорт топливного брикета).

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды топливных брикетов Вы знаете?
2. Как влияет плотность топливных брикетов на основные показатели их качества?
3. По какой формуле рассчитывают плотность топливных брикетов?
4. На какие свойства топливных брикетов оказывает влияние их влажность?
5. В чем сущность метода определения влажности брикетов?
6. В каких единицах измеряется влажность брикетов?
7. От каких факторов зависит зольность топливных брикетов.
8. В чем заключается сущность метода определения зольности топливных брикетов?
9. Как определяют содержание коры в топливных брикетах?
10. В чем заключается сущность метода определения массовой доли мелочи в топливных брикетах?
11. Что характеризует массовая доля мелочи в топливных брикетах?
12. Приведите схему определения прочности брикета на изгиб.

## Лабораторная работа № 18 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

**Цель работы** – определение теплоты сгорания топливных брикетов.

Теплотворная способность – базовое свойство биотоплива, определяющее его энергетическую ценность. Чем выше теплотворная способность, тем больше энергии можно получить, сжигая 1 кг биотоплива, а значит, тем меньше расход гранул или брикетов за период и, следовательно, меньше затраты.

Теплотворная способность зависит от естественных характеристик сырья (биомассы), его состояния, наличия примесей и загрязнений, влажности биотоплива.

*Теплота сгорания* – это количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы топлива. Теплота сгорания, отнесённая к единице массы или объёма топлива, называется удельной теплотой сгорания в кДж/кг (ккал/кг),  $1 \text{ ккал} = 4,19 \text{ кДж}$ .

Теплота сгорания определяется химическим составом горючего вещества.

Различают высшую и низшую теплоту сгорания. Под *высшей теплотой сгорания* понимают то количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании вещества, включая теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания. *Низшая теплота сгорания* соответствует тому количеству теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учёта теплоты конденсации водяного пара. Теплоту конденсации водяных паров также называют скрытой теплотой сгорания.

Низшую и высшую теплоту сгорания связывает соотношение

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}} + k(W + 9H), \quad (103)$$

где  $k$  – коэффициент, равный 25 кДж/кг (6 ккал/кг);

$W$  – количество воды в горючем веществе, % (по массе);

$H$  – количество водорода в горючем веществе, % (по массе).

$9$  – коэффициент, показывающий, что при сгорании 1 кг водорода в соединении с кислородом образуется 9 кг воды.

Низшую удельную теплоту сгорания  $Q_{\text{н}}$ , кДж/кг, можно рассчитать по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_{\text{н}} = 339C + 1031H - 109O - 25W, \quad (104)$$

где  $C$ ,  $H$ ,  $O$  – содержание в древесине углерода, водорода и кислорода, % ( $C=50\%$ ,  $H=6\%$ ,  $O=43\%$ );

$W$  – относительная влажность древесины, % (по массе).



Удельная теплота сгорания слабо зависит от породы древесины, т.к. элементный химический состав различных пород примерно одинаковый. Теплота сгорания древесины хвойных пород является более высокой. Теплота сгорания абсолютно сухой древесины – 19,6-23,0 МДж/кг.

Основным фактором, определяющим теплоту сгорания древесины, является ее влажность. Теплота сгорания снижается с повышением влажности древесины. Так, теплота сгорания для коры из ели меняется следующим образом (по данным Веретенника Д.Г.).

Влажность, %	10	20	30	40	50	60	70
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	3723	3278	2753	2310	1824	1340	853

В основном теплота сгорания древесной коры и теплота сгорания древесины разных пород (кроме березы) примерно одинаковые.

Удельную низшую теплоту сгорания коры,  $Q_n^k$ , кДж/кг, можно определить по эмпирической формуле

$$Q_n^k = 19000 - 230 \cdot W. \quad (105)$$

При определении удельной низшей теплоты сгорания прессованного древесного топлива,  $Q_n^{д.т}$ , кДж/кг, пользуются формулой, учитывающей плотность прессуемого материала:

$$Q_n^{д.т} = Q_n \cdot \rho_{др}, \quad (106)$$

где  $Q_n$  – удельная низшая теплота сгорания материала, из которого изготовлен брикет, кДж/кг;

$\rho_{др}$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Как видно из формулы (106), при постоянной удельной теплоте сгорания древесины,  $Q_n$ , величина теплоты зависит от плотности сгораемого материала.

Плотность некоторых пород древесины при стандартной 12 %-й влажности приведена в табл.37.

Т а б л и ц а 37

Плотность древесины различных пород при 12 % влажности

Порода древесины	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	2
Сосна	520
Кора сосны	680
Ель	450

1	2
Кора ели	730
Береза	630
Липа	530
Дуб	690
Бук	650
Осина	510
Ольха	520
Клен	650
Лиственница	660
Ясень	750

Плотность влажной древесины значительно выше.

Плотность брикетов, полученных на шнековых прессующих установках, – 110-1400 кг/м<sup>3</sup>.

Зная удельную теплоту сгорания материала можно рассчитать количество тепла,  $Q$ , ккал, выделяемого при полном сгорании топлива любой массы по формуле

$$Q = Q_{\text{н}}^{\text{д.т}} \cdot m, \quad (107)$$

где  $Q_{\text{н}}^{\text{д.т}}$  – удельная теплота сгорания, ккал/кг;

$m$  – масса материала, кг.

### Пример расчета.

*Задание.* Сравнить низшую теплоту сгорания древесины сосны влажностью 10 % и брусковых брикетов из этой древесины плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup>.

Определяем низшую температуру сгорания древесины влажностью 10 % по формуле (104):

$$Q_{\text{н}} = 339 \times 50 + 1031 \times 6 - 109 \times 43 - 25 \times 10 = 18199 \text{ кДж/кг} (4346,7 \text{ ккал/кг}). \quad (108)$$

Выражаем эту величину через объем:

$$Q'_{\text{н}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 520 \text{ кг/м}^3 = 2260284 \text{ ккал/м}^3, \quad (109)$$

где 520 – плотность сосны влажностью 12 %, кг/м<sup>3</sup>.

Рассчитываем низшую теплоту сгорания топливных брикетов из сосны плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> по формуле (106):

$$Q_{\text{н}}^{\text{д.т}} = 4346,7 \text{ ккал/кг} \times 1200 \text{ кг/м}^3 = 5216040 \text{ ккал/м}^3. \quad (110)$$

Сравнивая полученные данные, видим, что в объемном выражении у брикетов из сосны теплота сгорания в 2,4 раза выше, чем у древесины сосны.

### Варианты заданий.

1. Сравнить низшую теплоту сгорания древесины березы влажностью 8 % и брусковых брикетов из этой древесины плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

2. Рассчитать низшую теплоту сгорания древесины липы при различной влажности (12, 25, 60, 80, 100, 150 %) и построить график зависимости теплоты сгорания от влажности древесины.

3. Рассчитать теплоту сгорания коры ели влажностью 20 % и брусковых брикетов из нее плотностью  $1100 \text{ кг/м}^3$ .

4. Рассчитать низшую теплоту сгорания брусковых брикетов из древесины осины влажностью 11 % различной плотности ( $1000, 1100, 1200, 1300, 1400 \text{ кг/м}^3$ ) и построить график зависимости теплоты сгорания от плотности топливных брикетов.

5. Рассчитать количество тепла, выделяемого при полном сгорании 1 т топливных брикетов плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$ , изготовленных из древесины сосны влажностью 12 %.

В табл. 38 приведены данные по величине удельной теплоты сгорания различных видов топлива.

Т а б л и ц а 38

Удельная теплота сгорания различных видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг
Бензин	44	Каменный уголь	22
Дизельное топливо	42,7	Бурый уголь	15
Нефть	41	Торф	8,1 – 15
Мазут	39,2	Дрова (березовые, сосновые)	10
Древесный уголь	31	Топливные брикеты	19-20,5

### Вопросы для самоконтроля

1. Что называют удельной теплотой сгорания топлива?
2. Низшая удельная теплота сгорания. Что это такое?
3. Высшая удельная теплота сгорания. Что это такое?
4. Назовите единицы измерения удельной теплоты сгорания.
5. По какой формуле можно рассчитать низшую удельную теплоту сгорания топливных брикетов?

6. Как влияет влажность древесины на ее теплоту сгорания?
7. Как зависит теплота сгорания от плотности топливных брикетов?
8. По какой формуле рассчитывается количество тепла, выделяемого при полном сгорании топлива?

## Лабораторная работа № 19 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

**Цель работы** – изучение технологии изготовления топливных брикетов.

### 1. Расчет потребного количества древесного сырья

Определяем массу образца топливного брикета (т.е. массу абсолютно сухих древесных отходов),  $m_{д.о}^{сух}$ , г, по формуле

$$m_{д.о}^{сух} = \rho_{бр} \cdot V_{обр}, \quad (111)$$

где  $\rho_{бр}$  – заданная плотность топливного брикета, г/см<sup>3</sup>;

$V_{обр}$  – объем образца, см<sup>3</sup>, рассчитывается по формулам

➤ для цилиндрического образца

$$V_{обр} = \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h, \quad (112)$$

➤ для брускового образца

$$V_{обр} = l \cdot b \cdot h, \quad (113)$$

где  $l, b, d$  – длина, ширина или диаметр формы, в которой будет изготавливаться образец, см;

$h$  – заданная высота образца, см.

Поскольку древесное сырье для изготовления топливных брикетов имеет некоторую влажность, необходимо вычислить его массу с влажностью,  $m_{д.о}^{вл}$ , по формуле

$$m_{д.о}^{вл} = m_{д.о}^{сух} + \frac{m_{д.о}^{сух} \cdot W_{д.о}}{100}, \quad (114)$$

где  $W_{д.о}$  – влажность древесных отходов, %.

### Пример расчета.

*Задание.* Рассчитать расход древесного сырья для изготовления 3 лабораторных образцов топливных брикетов цилиндрической формы диаметром 3 см и высотой 5 см, плотность брикетов составляет  $1200 \text{ кг/м}^3$  ( $1,2 \text{ г/см}^3$ ). Прессование брикетов производят при влажности древесного сырья 12 %.

Рассчитываем объем одного образца топливного брикета:

$$V_{\text{обр}} = 3,14 \times 3^2 / 4 \times 5 = 35,33 \text{ см}^3. \quad (115)$$

Объем трех образцов топливного брикета:

$$V_{\text{обр}}^3 = 3 \times 35,33 = 106 \text{ см}^3. \quad (116)$$

Масса абсолютно сухих древесных отходов для изготовления трех образцов топливного брикета составит:

$$m_{\text{д.о}}^{\text{сух}} = 1,2 \times 106 = 127,2 \text{ г}. \quad (117)$$

Масса влажных древесных отходов составит

$$m_{\text{д.о}}^{\text{вл}} = 127,2 + 127,2 \times 12 / 100 = 142,5 \text{ г}. \quad (118)$$

## 2. Подготовка древесного сырья

Подготовку древесного сырья для изготовления топливных брикетов ведут по влажности и крупности частиц. Как показывает практика, сырье для прессования должно иметь влажность в пределах 6-12 % и крупность частиц 0,5-1 мм (1-5 мм – не более 25 % от общего объема).

Для получения кондиционного древесного сырья проводят его рассев последовательно через сита с размерами ячеек 1,0 и 0,5 мм. Для изготовления топливного брикета отбирается фракция 1/0,5, то есть опилки, прошедшие через сито с отверстиями 1 мм и оставшиеся на сите с отверстиями 0,5 мм.

Для создания фиксируемой влажности навеску абсолютно сухих опилок смачивают рассчитанным количеством воды, тщательно перемешивают, помещают в полиэтиленовый пакет, плотно закрывают и оставляют на 24 часа для равномерного распределения влаги.

## 3. Определение влажности древесного сырья

Пробу древесного сырья насыпают в предварительно взвешенный сосуд, вновь взвешивают, а затем высушивают в сушильном шкафу при температуре  $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы.

Влажность древесного сырья по массе,  $W_m$ , рассчитывают по формуле

$$W_m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (119)$$

где  $m_1$  – масса пробы увлажненного древесного сырья (вычисленная как разность масс сосуда с сырьем и без него), г;

$m_2$  – масса пробы древесного сырья в сухом состоянии (разность масс сосуда с высушенным сырьем и без него), г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений.

#### 4. Определение насыпной плотности сырья

При дозировании древесного сырья по объему необходимо знать его насыпную плотность ( в сухом и влажном состоянии).

Пробу древесного сырья (1–2 кг) высушивают до постоянной массы при температуре  $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

В сосуд известной емкости (в лаборатории – 1,2 или 3 л) с высоты 100 мм над его верхним краем насыпают древесное сырье до образования избытка (конуса), который снимают металлической линейкой вровень с краями сосуда (без уплотнения). Мерный сосуд взвешивают как с материалом, так и без него, а затем вычисляют его насыпную плотность  $\rho_{\text{нас}}$  по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (120)$$

где  $m_1$  – масса сосуда, кг (г);

$m_2$  – масса сосуда с древесным сырьем, кг (г);

$V$  – объем сосуда, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>).

Испытания повторяют 2-3 раза, используя каждый раз новую порцию заполнителя. Насыпную плотность вычисляют как среднее арифметическое 2-3 результатов испытаний.

По этой же методике определяют насыпную плотность увлажненного древесного сырья.

#### 5. Изготовление образцов топливного брикета

Формование образцов проводят на лабораторном гидравлическом прессе в форме, представляющей собой цилиндрическую гильзу диаметром 3,5 см (возможно использование форм других сечений и размеров).

Подготовленную увлажненную и нагретую в сушильном шкафу до температуры 100-220°C древесную массу укладывают в форму-гильзу, которая установлена на металлический поддон и подпрессовывают вручную с помощью пуансона. Затем форму вместе с пуансоном загружают в пресс, плиты пресса смыкают и поднимают удельное давление до 100 МПа (1000 кг/см<sup>2</sup>). Нагрузку контролируют по манометру, установленному на прессе. Расчет необходимой для прессования нагрузки  $F_{пр}$ , кгс, ведут по формуле

$$F_{пр} = P_{уд} \cdot S_{бр}, \quad (121)$$

где  $P_{уд}$  – удельное давление прессования, кгс/см<sup>2</sup>;

$S_{бр}$  – площадь поперечного сечения топливного брикета, см<sup>2</sup>.

В процессе прессования горячей массы в закрытых пресс-формах внутри самой массы скапливается много водяного пара. Если сразу снять давление и освободить брикет из пресс-формы, то под действием внутреннего давления пара и упругих сил частиц древесины объем брикета увеличивается, появляются трещины и брикет может разрушиться. Поэтому необходима выдержка брикетов под давлением в течение некоторого времени.

Установлено, что продолжительность выдержки под давлением должно составлять 20-30 с.

После снятия давления образец выдавливают из гильзы вниз нажимным или другим пуансоном, предварительно удалив поддон и установив гильзу на опоры.

Отпрессованные образцы топливных брикетов охлаждаются до комнатной температуры, и испытываются их физико-механические показатели.

### Вопросы для самоконтроля

1. Как рассчитать количество необходимого древесного сырья?
2. Каковы оптимальные размеры древесных частиц для брикетирования?
3. Древесное сырье какой влажности используют для изготовления топливных брикетов?
4. При каком удельном давлении проводят изготовление топливных брикетов при штемпельном способе прессования?
5. Какие технологические операции включает в себя подготовка древесного сырья?
6. Для чего при прессовании топливных брикетов необходима выдержка их под давлением в течение некоторого времени?

Лабораторная работа № 20  
УИРС. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

**Цель работы** – изучение влияния различных технологических факторов на физико-механические свойства топливных брикетов.

Качество топливных брикетов зависит от множества факторов. Основными технологическими факторами, обуславливающими процесс получения прочного и плотного топливного брикета, являются давление прессования, влажность и крупность древесного сырья, температурный режим прессования и продолжительность прессования.

**1. Влияние фракционного состава древесного сырья  
на физико-механические свойства топливных брикетов**

Размеры частиц древесных отходов оказывают существенное влияние на свойства получаемых из них брикетов. Как показала практика, самое высокое качество брикетов достигается при прессовании опилок. При измельчении кусковых отходов в брикетирующую массу крупность ее частиц должна быть не более 1 мм, объем частиц крупностью 1-5 мм не более 25 %.

При увеличении размеров частиц прочность и плотность брикетов снижается. Более крупные частицы не позволяют получать качественный и прочный брикет.

**Задание по УИРС.** Установить влияние фракционного состава древесного сырья на физико-механические свойства топливного брикета при следующих данных:

Размеры образца, см – диаметр 3,5 см, высота 5 см.

Влажность древесного сырья – 12 %.

Удельное давление прессования – 1000 кгс/см<sup>2</sup>.

Температура подогрева древесного сырья – 150°С.

Фракции древесного сырья – 5/10; 3/5; 2/3; 0,5/2; <0,5.

Древесные отходы предварительно последовательно просеивают через сита с размерами ячеек 10,0; 5,0; 3,0; 2,0; 0,5. Подготовку сырья и изготовление образцов топливных брикетов ведут по методике, рассмотренной в лабораторной работе № 3.

Качество топливных брикетов оценивают по следующим показателям:

– внешний вид брикетов (характер поверхности, наличие трещин, расслоений и т.п.);



- плотность брикетов (методика определения рассмотрена в лабораторной работе № 1);
- прочность брикетов.

Прочность топливных брикетов косвенно можно оценить по показателю их крошимости. Крошимость брикетов определяется количеством ударов,  $n$ , которые выдерживает брикет при сбрасывании с высоты 1-1,5 м на цементный пол (в учебных целях с высоты 0,5 м).

Результаты испытаний записывают в табл.39.

Т а б л и ц а 39

Влияние фракционного состава древесного сырья на свойства топливных брикетов

№ п/п	Фракции древесного сырья	Внешний вид образца	Плотность $\rho_{бр}$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )	Показатель крошимости $n$
1	5/10			
2	3/5			
3	2/3			
4	0,5/2			
5	< 0,5			

На основании полученных экспериментальных данных строят график зависимости плотности и прочности топливных брикетов от фракционного состава древесного сырья и делают выводы по работе.

2. Влияние влажности древесного сырья на физико-механические свойства топливных брикетов

Влажность древесного сырья – один из наиболее важных факторов, влияющих на качество брикетов и на процесс брикетирования.

Различают оптимальную и критическую влажность сырья.

*Оптимальная* влажность 6-12 %, при ней достигаются наилучшие механические характеристики брикетов.

*Критической* называется влажность, при которой возможно образование брикетов, но брикеты рассыпаются сразу после выхода из пресса. Критическая влажность находится в пределах 15-20 %.

**Задание по УИРС.** Установить влияние влажности древесного сырья на физико-механические свойства топливного брикета при следующих данных:

Размеры образца, см: диаметр 3,5 см, высота 5 см.

Фракция древесного сырья – 0,5/2.

Удельное давление прессования – 1000 кгс/см<sup>2</sup>.

Температура подогрева древесного сырья – 150°С.  
Влажность древесного сырья – 0; 5; 8; 12; 20 и 30 %.

Подготовку сырья и изготовление образцов топливных брикетов ведут по методике, рассмотренной в лабораторной работе № 3.

Результаты испытаний записывают в табл.40.

Т а б л и ц а 40

Влияние влажности древесного сырья на свойства топливных брикетов

№ п/п	Влажность древесного сырья $W_{д.о}$ , %	Внешний вид образца	Плотность $\rho_{бр}$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )	Показатель крошимости $n$
1	0			
2	5			
3	8			
4	12			
5	20			
6	30			

На основании полученных экспериментальных данных строят график зависимости плотности и прочности топливных брикетов от влажности древесного сырья и делают выводы по работе.

### 3. Влияние температуры прессования на физико-механические свойства топливных брикетов

Существенное влияние на свойства топливных брикетов оказывает температурный режим.

Чем выше температура прессуемого материала, тем меньшее усилие требуется при его прессовании. Это объясняется тем, что с ростом температуры увеличивается пластичность материала. К тому же за время прохождения прессуемой массы по нагретому каналу на поверхности брикета образуется прочная пленка, удаляется часть влаги, и формируются физико-механические связи между частицами. Брикет становится прочнее.

Рекомендуемая температура, при которой получается прочный брикет, должна быть в пределах 150-250°С. При более низкой температуре брикеты будут менее прочными. Причиной ограничения верхнего предела температуры является обугливание верхних слоев брикета – происходит частичное разложение брикета (пиролиз).

**Задание по УИРС.** Установить влияние температуры подогрева древесного сырья на физико-механические свойства топливного брикета при следующих данных:

Размеры образца, см: диаметр 3,5 см, высота 5 см.

Фракция древесного сырья – 0,5/2.

Удельное давление прессования – 1000 кгс/см<sup>2</sup>.

Влажность древесного сырья – 12 %.

Температура подогрева древесного сырья – 20; 70; 100; 150 и 200°С.

Подготовку сырья и изготовление образцов топливных брикетов ведут по методике, рассмотренной в лабораторной работе № 3.

Результаты испытаний записывают в табл.41.

Т а б л и ц а 41

Влияние температуры подогрева древесного сырья на свойства топливных брикетов

№ п/п	Температура подогрева прессуемого материала, °С	Внешний вид образца	Плотность $\rho_{бр}$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )	Показатель крошимости $n$
1	20			
2	70			
3	100			
4	150			
5	200			

На основании полученных экспериментальных данных строят график зависимости плотности и прочности топливных брикетов от температуры подогрева древесного сырья и делают выводы по работе.

#### 4. Влияние давления прессования на физико-механические свойства топливных брикетов

Важнейший фактор, влияющий на показатели брикетов, – давление прессования. С увеличением усилия давления плотность брикетов, а следовательно, и их прочность повышается.

**Задание по УИРС.** Установить влияние давления прессования на физико-механические свойства топливного брикета при следующих данных:

Размеры образца, см: диаметр 3,5 см, высота 5 см.

Фракция древесного сырья – 0,5/2.

Влажность древесного сырья – 12 %.

Температура подогрева древесного сырья – 100°С.

Удельное давление прессования – 500; 750; 1000; 1250; 1500 кгс/см<sup>2</sup>.

Подготовку сырья и изготовление образцов топливных брикетов ведут по методике, рассмотренной в лабораторной работе № 3.

Результаты испытаний записывают в табл.41.

Т а б л и ц а 41

Влияние температуры подогрева древесного сырья  
на свойства топливных брикетов

№ п/п	Удельное давление прессования, кгс/см <sup>2</sup>	Внешний вид образца	Плотность $\rho_{бр}$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )	Показатель крошимости <i>n</i>
1	500			
2	750			
3	1000			
4	1250			
5	1500			

На основании полученных экспериментальных данных строят график зависимости плотности и прочности топливных брикетов от давления прессования и делают выводы по работе.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные технологические факторы влияют на качество топливных брикетов?
2. Как определяется крошимость топливных брикетов?
3. Как влияет фракционный состав древесного сырья на физико-механические свойства брикетов?
4. Какая влажность называется критической?
5. Как влияет влажность древесного сырья на физико-механические свойства брикетов?
6. Какова оптимальная температура прессуемого материала для брикетирования?
7. Как влияет температура прессуемого материала на свойства брикетов?
8. Как влияет давление прессования на свойства топливных брикетов?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции [Текст] / И.Х.Наназашвили. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
2. Мельникова, Л.В. Технология композиционных материалов из древесины [Текст] / Л.В.Мельникова. – М.: МГУЛ, 2007. – 234 с.
3. Гомонай, М.В. Технология переработки древесины [Текст] / М.В.Гомонай. – М.: МГУЛ, 2008. – 231 с.
4. Гомонай, М.В. Производство топливных брикетов [Текст] / М.В.Гомонай. – М.: МГУЛ, 2006. – 65 с.
5. Шитова, И.Ю. Использование отходов деревообработки в промышленности [Текст] / И.Ю.Шитова. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 138 с.
6. Прошин, А.П. Строительное материаловедение. Практикум. Ч.1. [Текст] /А.П.Прошин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 85 с.
7. Прошин, А.П. Строительное материаловедение. Практикум. Ч.2. [Текст] /А.П.Прошин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 87 с.
8. СН 549-82. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита / Утв. Гос. комитетом СССР по делам строительства от 4 мая 1982 г. № 116, gosthelp.ru.
9. Рекомендации по методам испытаний древесных плит для строительства / ЦНИИ строит. конструкций им. В.А. Кучеренко, ВНИИ деревообраб. пром-сти. – М.: ЦНИИСК 1985. – 49 с.
10. ГОСТ 19222–84 Арболит и изделия из него. Общие технические условия [Текст]. – М.: Стройиздат, 1984.
11. ГОСТ 12730.2–78: Бетоны. Методы определения влажности [Текст]. – М.: Стройиздат, 1978.
12. ГОСТ 12852.6–77. Бетон ячеистый. Метод определения сорбционной влажности [Текст]. – М.: Стройиздат, 1977.
13. ГОСТ 10180–2011. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – М.: Стройиздат, 2011.
14. ГОСТ 18105–86. Бетоны. Правила контроля прочности [Текст]. – М.: Стройиздат, 1986.
15. СНиП II-3–79\*\*\*. Строительная теплотехника [Текст]. – М.: Стройиздат, 1979.
16. ГОСТ 26816–86. Плиты цементно-стружечные. Технические условия [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.
17. ГОСТ 11843–76. Плиты древесно-стружечные. Метод определения твердости [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1987.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Содержание хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$  в растворах различной концентрации

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $\text{CaCl}_2$ , кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
2	1,015	0,02	0,02
4	1,032	0,041	0,04
6	1,049	0,063	0,06
8	1,066	0,085	0,08
10	1,084	0,108	0,1
12	1,102	0,132	0,12
14	1,12	0,157	0,14
16	1,139	0,182	0,16
17	1,148	0,195	0,17
18	1,158	0,209	0,18
19	1,168	0,222	0,19
20	1,178	0,236	0,20
21	1,18	0,25	0,21
22	1,198	0,265	0,22
23	1,208	0,278	0,23
24	1,218	0,293	0,24
25	1,228	0,307	0,25
26	1,239	0,322	0,26
27	1,249	0,377	0,27
28	1,26	0,353	0,28
29	1,271	0,369	0,29
30	1,282	0,385	0,3
31	1,293	0,401	0,31
32	1,304	0,417	0,32
34	1,326	0,451	0,34
36	1,35	0,486	0,36
38	1,374	0,522	0,38
40	1,396	0,558	0,4

Приложение 2

Содержание негашеной CaO и гашеной Ca(OH)<sub>2</sub> извести  
в известковом растворе различной средней плотности

Плотность раствора при 20°С, г/см <sup>3</sup>	CaO		Ca(OH) <sub>2</sub>	
	концентрация, %	в 1 л раствора, г	концентрация, %	в 1 л раствора, г
1,0085	0,99	10	1,31	13,2
1,0170	1,96	20	2,59	26,4
1,0245	2,93	30	3,87	39,6
1,0315	3,88	40	5,13	52,8
1,0390	4,81	50	6,36	66,1
1,0460	5,74	60	7,58	79,3
1,0535	6,65	70	8,79	92,5
1,0605	7,54	80	9,96	105,7
1,0675	8,43	90	11,14	118,9
1,0750	9,30	100	12,29	132,1
1,0825	10,16	110	13,43	145,3
1,0895	11,01	120	14,55	158,6
1,0965	11,86	130	15,67	171,8
1,1040	12,68	140	16,76	185,0
1,1110	13,50	150	17,84	198,2
1,1185	14,30	160	18,90	211,4
1,1255	15,10	170	19,95	224,6
1,1325	15,89	180	21,00	237,9
1,1400	16,67	190	22,03	251,1
1,1545	18,19	210	24,04	277,5
1,1615	18,94	220	25,03	290,71
1,1685	19,68	230	26,1	303,9
1,1760	20,41	240	26,96	317,1
1,1835	21,12	250	27,91	330,4
1,1905	21,84	260	28,86	343,6
1,1975	22,55	270	29,80	356,8
1,2050	23,24	280	30,71	370,0
1,2125	23,92	290	31,61	383,2
1,2195	24,60	300	32,51	396,4

Приложение 3  
Содержание алюминия сернокислого  $Al_2(SO_4)_3$   
в растворах различной концентрации

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $Al_2(SO_4)_3$ , кг, в 1 л раствора	Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $Al_2(SO_4)_3$ , кг, в 1 л раствора
1	1,009	0,0101	16	1,176	0,1882
2	1,019	0,0204	18	1,201	0,2162
4	1,040	0,0416	20	1,226	0,2452
6	1,061	0,0636	22	1,252	0,2754
8	1,083	0,0866	24	1,278	0,3067
10	1,105	0,1105	26	1,306	0,3396
12	1,129	0,1355	28	1,333	0,3752
14	1,152	0,1613			

Приложение 4  
Содержание нитрата кальция  $Ca(NO_3)_2$   
в растворах различной концентрации

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного $Ca(NO_3)_2$ , кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
1	1,010	0,010	0,01
2	1,014	0,020	0,02
3	1,021	0,031	0,03
4	1,029	0,041	0,04
5	1,037	0,052	0,05
6	1,045	0,063	0,06
7	1,050	0,074	0,07
8	1,055	0,084	0,08
9	1,062	0,095	0,09
10	1,077	0,103	0,10
15	1,117	0,173	0,15
20	1,154	0,233	0,20
25	1,211	0,303	0,25
30	1,259	0,378	0,30
35	1,311	0,459	0,35



Приложение 5

Содержание нитрит-нитрат хлорида кальция (ННКХ)  
в растворах различной концентрации

Концентрация раствора, %	Плотность раствора при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Содержание безводного ННКХ, кг	
		в 1 л раствора	в 1 кг раствора
1	1,008	0,010	0,01
2	1,018	0,020	0,02
3	1,026	0,031	0,03
4	1,035	0,041	0,04
5	1,043	0,054	0,05
6	1,052	0,063	0,06
7	1,060	0,076	0,07
8	1,070	0,087	0,08
9	1,078	0,099	0,09
10	1,087	0,108	0,10
15	1,131	0,170	0,15
20	1,175	0,235	0,20
25	1,218	0,305	0,25
30	1,263	0,379	0,30

Приложение 6

Требования по физико-механическим свойствам цементно-стружечных плит (ГОСТ 26816–86)

Наименование показателя	Норма для плит марок	
	ЦСП-1	ЦСП-2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100-1400	
Влажность, %	9±3	
Разбухание по толщине за 24 ч, %, не более	2,0	
Водопоглощение за 24 ч, %, не более	16,0	
Прочность при изгибе, МПа, не менее, для толщин, мм: – от 8 до 16 включ. – от 18 до 24 включ. – от 26 до 40 включ.	12,0 10,0 9,0	9,0 8,0 7,0
Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти плиты, МПа, не менее	0,4	0,35
Шероховатость пласти Rz по ГОСТ 7016, мкм, не более, для плит: – нешлифованных – шлифованных	320 80	320 100

Приложение 7

Справочные показатели физико-механических свойств  
цементно-стружечных плит (ГОСТ 26816-86)

Наименование показателя	Значение для плит марок	
	ЦСП-1	ЦСП-2
Модуль упругости при изгибе, МПа, не менее	3500	3000
Твердость, МПа	45-65	
Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup> , не менее	1800	
Удельное сопротивление выдергиванию шурупов из пласти, Н/м	4-7	
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	1,15	
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,26	
Класс биостойкости	4	
Стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям: - снижение прочности при изгибе, % (после 20 циклов температурно-влажностных воздействий), не более - разбухание по толщине (после 20 циклов температурно-влажностных воздействий), %, не более	30  5	
Горючесть	Группа трудногораемых	
Морозостойкость (снижение прочности при изгибе после 50 циклов), %, не более	10	

Приложение 8

Характеристика брикетов и гранул различных типов

Тип брикета	Форма брикета	Размеры сечения (ширина×высота), мм	Длина брикета, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Шашечный	Призматическая, прямоугольного сечения со скругленными ребрами	(120-160)×(50-70)	25-40	950-1100
Брусковый	Брусек квадратного или восьмиугольного сечения с центральным отверстием или без него	(50-70)×(50-70)	30-400	800-1300
Цилиндрический	Цилиндр с центральным отверстием или без него	диаметр 25-100	30-400	800-1300
Гранулы	Цилиндр или эллипсоид	диаметр 3-16	6-25	900-1500

Приложение 9

Технические требования к топливным брикетам (ТУ 13-785)

Наименование показателя	Значение для топливных брикетов сортов		
	высший	1	2
Плотность, кг/м <sup>3</sup> не менее	950	950	950
Влажность, %	до 5	5-10	10-18
Зольность, %, не более	5	5	5
Низшая удельная теплота сгорания, МДж/кг	16,7-23	14,6-16,7	13,8-14,6
Массовая доля частиц размером менее 25 мм, %, не более	5	5	5
Временное сопротивление на изгиб брикетов, кг/см <sup>2</sup> , до:			
	из опилок	20	20
из щепы	7	7	7

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ПРОИЗВОДСТВО АРБОЛИТА .....	5
1.1. Контроль качества органического целлюлозного наполнителя .....	5
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ОРГАНИЧЕСКОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ ПРИМЕСЕЙ И ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ .....	5
1. Определение содержания в органическом наполнителе примесей .....	5
2. Определение содержания пород древесины в наполнителе .....	6
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ .....	7
1. Определение фракционного состава органического наполнителя	7
2. Определение максимального размера частиц органического наполнителя .....	9
3. Определение коэффициента формы частиц органического наполнителя .....	9
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ .....	10
1. Определение насыпной плотности органического наполнителя	10
2. Определение средней плотности органического наполнителя..	11
3. Определение объема межзерновых пустот в наполнителе .....	12
4. Определение пористости древесного наполнителя .....	13
5. Определение влажности органического наполнителя .....	13
6. Определение водопоглощения органического наполнителя .....	13
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ РЕДУЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЕ .....	15
Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРИГОДНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ .....	17
1.2. Контроль качества приготовления арболитовой смеси .....	21
Лабораторная работа № 6. РАСЧЕТ СОСТАВА АРБОЛИТОВОЙ СМЕСИ .....	22
1. Определение исходных данных .....	22
2. Подбор состава арболита .....	22
3. Пример подбора состава арболита .....	26

Лабораторная работа № 7. КОРРЕКТИРОВКА СОСТАВА АРБОЛИТОВОЙ СМЕСИ .....	28
1.3. Контроль качества арболита.....	34
Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ АРБОЛИТА .....	34
1. Определение средней плотности арболита.....	34
2. Определение однородности по средней плотности арболита .....	37
Лабораторная работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРБОЛИТА .....	39
1. Определение влажности арболита.....	39
2. Определение водопоглощения арболита.....	39
3. Определение сорбционной влажности арболита .....	40
Лабораторная работа № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АРБОЛИТА НА СЖАТИЕ .....	42
1. Определение предела прочности арболита при сжатии.....	42
2. Определение коэффициента вариации прочности арболита.....	44
3. Определение требуемой прочности арболита .....	45
Лабораторная работа № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АРБОЛИТА.....	47
1. Определение коэффициента теплопроводности арболита с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 .....	48
2. Расчетный метод определения коэффициента теплопроводности арболита .....	51
3. Теплотехнический расчет ограждающей конструкции из арболита.....	53
2. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.....	55
Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ .....	57
1. Определение размеров плиты .....	57
2. Определение качества поверхности плиты .....	59
Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.....	61
1. Определение плотности плит .....	61
2. Определение влажности плит .....	62
3. Определение водопоглощения и разбухания ЦСП .....	62

Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ .....	63
1. Определение прочности плит при изгибе .....	63
2. Определение прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты .....	65
3. Определение твердости цементно-стружечных плит .....	66
Лабораторная работа № 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ И СТОЙКОСТИ ЦСП К ЦИКЛИЧЕСКИМ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ .....	67
1. Определение морозостойкости .....	67
2. Определение стойкости ЦСП к циклическим температурно-влажностным воздействиям .....	69
Лабораторная работа № 16. УИРС. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ .....	70
3. ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ .....	73
Лабораторная работа № 17. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ .....	74
1. Определение плотности топливных брикетов .....	74
2. Определение влажности топливных брикетов .....	75
3. Определение зольности топливных брикетов .....	76
4. Определение содержания коры .....	77
5. Определение массовой доли мелочи в топливных брикетах .....	77
6. Определение временного сопротивления на изгиб .....	78
Лабораторная работа № 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ .....	80
Лабораторная работа № 19. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ .....	84
1. Расчет потребного количества древесного сырья .....	84
2. Подготовка древесного сырья .....	85
3. Определение влажности древесного сырья .....	85
4. Определение насыпной плотности сырья .....	86
5. Изготовление образцов топливного брикета .....	86

Лабораторная работа № 20. УИРС. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ .....	88
1. Влияние фракционного состава древесного сырья на физико- механические свойства топливных брикетов .....	88
2. Влияние влажности древесного сырья на физико-механические свойства топливных брикетов .....	89
3. Влияние температуры прессования на физико-механические свойства топливных брикетов .....	90
4. Влияние давления прессования на физико-механические свойства топливных брикетов .....	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	93
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	94

Учебное издание

Кислицына Светлана Николаевна  
Самошин Андрей Павлович  
Шитова Инна Юрьевна

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
Лабораторный практикум

Учебное пособие

Редактор М.А. Сухова  
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 18.08.14. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 80 экз.  
Заказ №272.



Издательство ПГУАС.  
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.