

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине:**

**«Безотходные технологии в производстве строительных материалов  
изделий и конструкций»**

**для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе  
магистратуры «Инновационные технологии высокопрочных и  
высокофункциональных бетонов»**

**Квалификация (степень) выпускника  
Магистр**

**Казань - 2016**

*Составители Красникова Н.М., Хозин В.Г., Морозов Н.М., Хохряков О.В.*

УДК 666.982

ББК 38.33

Безотходные технологии в производстве строительных материалов изделий и конструкций: Методические указания к лабораторно-практическим работам для студентов по направлению подготовки 08.04.01 “Строительство”, по программе магистратуры «Инновационные технологии высокопрочных и высокофункциональных бетонов»/ Казанский государственный архитектурно-строительный университет; Сост.: Красникова Н.М., Хозин В.Г., Морозов Н.М., Хохряков О.В. 2016. 36 с.

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

В методических указаниях приводятся основные сведения о технологических особенностях использования вторичных продуктах или отходов промышленности в строительной индустрии, необходимые для приобретения навыков утилизации промышленных отходов.

Табл. 7, Библиогр.: 5 назв. Илл.2.

**Рецензент:** генеральный директор ООО «ИнжЦ «Стройхимкомпозит»,  
к.т.н. Богданов А.Н.

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2016 г.

## Содержание

<b>Введение</b>	4
<b>Лабораторно-практическая работа №1.</b> Способы утилизации бетона.	6
<b>Лабораторно-практическая работа №2.</b> Вторичное использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя	11
<b>Лабораторно-практическая работа №3.</b> Вторичное использование бетонного лома в качестве мелкого заполнителя	17
<b>Лабораторно-практическая работа №4.</b> Вторичное использование прогидратированного цемента в качестве активной добавки в цементных бетонах	23
<b>Лабораторно-практическая работа №5.</b> Использование отходов деревообработки в производстве арболита	28

## ВВЕДЕНИЕ

Строительство, как самая материалоемкая отрасль народного хозяйства по объему и разнообразию исходных сырьевых компонентов, является самым мощным потребителем отходов, способным рационально использовать их в виде вторичного сырья для производства строительных материалов и их компонентов. Возврат такого рода отходов в общий производственный (материальный) оборот в качестве вторичного сырья – неизбежная и прогрессирующая во всем мире тенденция использования потенциала вторичных ресурсов, а также повышение ресурсо- и энергосбережения.

Так, например, по данным Европейской ассоциации по сносу зданий, каждый год на планете образуется свыше 2,5 млрд т строительных отходов.

В России необходимо переработать и утилизировать свыше 45 млн т бетонного лома и свыше 1,5 млн т металлических конструкций. Только в Москве ежегодно в среднем требуется переработать свыше 1,5 млн т различных строительных отходов, произведенных предприятиями строительного комплекса.

Поэтому проблема экономии и рационального использования материальных ресурсов в условиях нынешнего этапа развития экономики приобрела особую актуальность. Уменьшение материальных затрат оказывает непосредственное влияние на снижение себестоимости и повышение рентабельности производства, так как они составляют 80% издержек предприятий, из которых 63,6% приходится на сырье и материалы, 4,1% на топливо, 2,8 – на энергию и 7,9 – на амортизацию. Сокращение материальных затрат на производство единицы продукции – это значительное более крупный резерв экономии по сравнению со снижением трудоемкости и фондоемкости промышленного производства.

Курс «Основы безотходных технологий» и лабораторный практикум направлены на формирование у студентов полного и ясного представления:

- об основах рационального ресурсопользования при переработке природного сырья в строительные материалы с применением промышленных, с/х и бытовых отходов;
- об эффективном использовании строительных материалов;
- изучение взаимосвязи промышленного производства с окружающей природной средой;
- представление модели полного «жизненного цикла» строительной продукции и его рециклинг.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

### СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ БЕТОНА

В результате разборки зданий и сооружений, а также накопления некондиционной продукции на предприятиях сборного железобетона образуются значительные количество бетонного лома.

Первое применение дробленого бетона началось с использованием его в качестве подсыпки под временные дороги и для заполнения пустот и оврагов.

В настоящее время переработка бетонного лома направлена в основном на получение вторичных заполнителей и извлечение арматурной стали.

Переработка строительных отходов осуществляется, **в основном, механическим способом на дробильно-сортировочных установках.** Разрушение конструкций при утилизации бетонного лома может производиться ударными методами, раскалыванием, резкой, дроблением (рис.1). Из средств разрушения ударными методами применяют гидравлические и пневматические молоты, раскалыванием — гидроклинья; резкой — алмазные круги, оборудование для плазменной резки и др.; дроблением — бетоноломы с перемещаемыми прямыми или изогнутыми зубьями, подвешиваемые на экскаваторе вместо ковша. При разрушении крупногабаритных конструкций может быть использована энергия взрыва и расширения. Применение расширяющихся реактивов позволяет уменьшить шум, вибрации и выброс строительного мусора при разрушении конструкций. Ряд расширяющихся реактивов разработан на основе извести.

*Примечание: Для разрушения железобетонных конструкций длиной до 12 м применяют гидравлические прессы, развивающие давление до 2 МПа.*

Арматура из бетона извлекается с помощью магнитных сепараторов. После извлечения арматуры бетонный лом поступает на щековую дробилку для получения вторичного щебня.

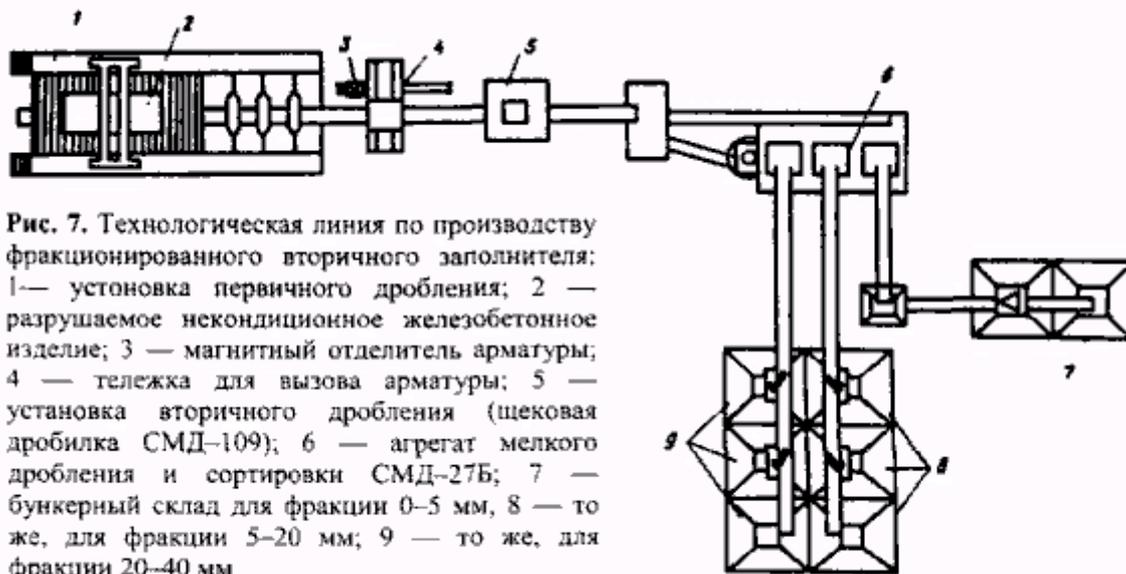


Рис.1 Схема утилизации бетонного лома.

Установлено, что применение крупных заполнителей из дробленого бетона классов В20—В40 позволяет получать бетон той же или незначительно (на 5—10%) ниже прочности бетона на природных заполнителях.

*Примечание: С уменьшением крупности вторичного заполнителя (до 3—10 мм) при прочих равных условиях прочность бетона существенно снижается. Наибольшее снижение прочности характерно для бетона на вторичном известняковом заполнителе (около 20%) и примерно вдвое меньше — на гранитном.*

*При замене мелкого природного заполнителя (из кварцевого песка средней крупности) заполнителем из дробленого бетона (фракции менее 3 мм) при В/Ц-0,65 прочность снижается в среднем на 20% для бетона на вторичном гранитном и на 25% для бетона на вторичном известняковом заполнителях. При этом существенно ухудшается удобоукладываемость бетонных смесей.*

*Использование вторичных заполнителей увеличивает деформативность бетона; она тем больше, чем меньше крупность заполнителя и прочность бетона, подвергаемого дроблению. Модуль упругости бетона на вторичных заполнителях снижается на 7—18% по сравнению с бетоном на природных заполнителях. Ухудшение прочностных свойств бетонов на заполнителях из дробленого бетона и возрастание их деформативности под нагрузкой могут быть компенсированы введением в смесь добавок суперпластификаторов.*

Положительный эффект достигается при использовании крупного заполнителя из дробленого бетона в сочетании с природным кварцевым песком.

Применение крупного заполнителя из дробленого бетона не уменьшает, а в некоторых случаях увеличивает морозостойкость. Это обусловлено высокой прочностью сцепления зерен этого заполнителя и цементного камня. Применение мелкого заполнителя из дробленого бетона приводит к снижению морозостойкости из-за его высокого водопоглощения и, как следствие, повышенной капиллярной пористости бетона.

*Примечание: Повышение качества заполнителей из дробленого бетона достигается их активацией. Эффект активации заполнителей состоит в разрушении слабых зерен щебня или удалении остатков цементного камня, образовании свежих сколов, что приводит к повышению технических характеристик бетонов за счет улучшения качества контактной зоны.*

*Из методов активации можно отметить механические, химические и др. При механических методах активации дробленого бетона предусматривается самоизмельчение при перемешивании щебня в смесительных установках или их обработка в шаровых мельницах с металлическими шарами.*

Хорошие результаты достигнуты в случае помола дробленого бетона со стальными шарами после предварительного низкотемпературного обжига. В данном случае был получен щебень, практически свободный от растворного компонента, а его свойства — дробимость, водопоглощение и насыпная плотность близки к аналогичным показателям исходного щебня.

В работе предлагается изучить новый способ утилизации бетонного лома – термический метод. Известно, что при температуре выше 900 °С начинается дегидратация цементного камня. Т.е. связующие (прогидратированный цемент) при обжиге переходит в порошкообразное (возможно первоначальное) состояние и материалы бетона (заполнители) распадаются (расщепляются) на составляющие.

**Целью** данной работы получения бетонного лома двумя способами – механическим и термическим.

**Задачи** лабораторно-практической работы:

1. Получение бетонного лома механическим способом, с использованием лабораторной щековой дробилки.

1.1 Рассев полученного лома на составляющие: крупный и мелкий заполнители и цемент.

2. Получение бетонного лома термическим способом, с использованием лабораторной печи для обжига.

2.2 Рассев полученного лома на составляющие: крупный и мелкий заполнители и цемент.

**Выводом** лабораторно-практической работы должно быть получение составляющих материалов для бетона из отходов лома бетона.

Перечень приборов, приспособлений и оборудования, необходимых для выполнения лабораторно-практической работы:

- щековая лабораторная дробилка;
- лабораторная обжиговая печь;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- обжиговая печь;
- набор стандартных сит (КСИ): 0,14мм, 5 мм, 10 мм, 20 мм, 40 мм
- сосуд металлический цилиндрический объемом 1 л;

Работа выполняется двумя бригадами. Каждая бригада выполняет одно из нижеуказанных заданий. Характеристика исходных материалов, состав задаются преподавателем.

Задание №1: Получение бетонного лома механическим способом.

Задание №2: Получение бетонного лома термическим способом, с использованием лабораторной печи для обжига.

### **Работа выполняется в следующем порядке:**

Работа выполняется двумя бригадами. Каждая бригада выполняет одно из вышеуказанных заданий.

1. Бетонные образцы дробятся в щековой дробилке.

1.1 Бетонные образцы обжигаются в печи.

2. Полученный после дробления/обжига бетонный лом рассеивается на крупный, мелкий заполнители и цемент на стандартном наборе сит.

2.1 Полученные пробы просеять ручным или механическим способом через сита с круглыми отверстиями диаметрами 40, 20, 10, 5, 2,5 и 0,14 мм. При этом толщина слоя бетонного лома на каждом из сит не должна превышать  $\frac{1}{3}$  высоты сита. Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой пробы. Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падение зерен.

3. Крупный заполнитель из бетонного лома, находящийся на ситах диаметром 20, 10 и 5 мм, помещается в тару для выполнения лабораторной работы №2.

4. Мелкий заполнитель из бетонного лома, находящийся на ситах диаметром 2,5 и 0,14 мм, помещается в тару для выполнения лабораторной работы №3.

5. Сыпучий материал, прошедший сито 0,14 мм, помещается в герметичную тару для выполнения лабораторной работы №4.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

### ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕТОННОГО ЛОМА В КАЧЕСТВЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Энергозатраты при добыче природного щебня в 8 раз выше, чем при получении щебня из бетона, а себестоимость бетона, приготавливаемого на вторичном щебне, снижается на 25 %.

Положительный эффект достигается при использовании крупного заполнителя из дробленого бетона в сочетании с природным кварцевым песком.

Применение крупного заполнителя из дробленого бетона не уменьшает, а в некоторых случаях увеличивает морозостойкость. Это обусловлено высокой прочностью сцепления зерен этого заполнителя и цементного камня. Применение мелкого заполнителя из дробленого бетона приводит к снижению морозостойкости из-за его высокого водопоглощения и, как следствие, повышенной капиллярной пористости бетона.

Следует отметить, что в настоящее время в г. Москве ежегодно образуется около 1500 тыс. т строительных отходов. Только 70-80 тыс. т **(5%) перерабатывается в щебень, остальные вывозятся на полигоны, либо скапливаются на десятках несанкционированных свалок.**

Прочность щебня и гравия характеризуют маркой, определяемой по дробимости щебня (гравия) при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Марки по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород должны соответствовать требованиям табл. №1, а марки по дробимости щебня из изверженных пород табл. №2, гравия – табл. №3.

Таблица 1

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	в сухом состоянии	в насыщ. водой состоянии
1200	До 11 включ.	До 11 включ.
1000	Св. 11 до 13	Св. 11 до 13
800	Св. 13 до 15	Св. 13 до 15
600	Св. 15 до 19	Св. 15 до 20
400	Св. 19 до 24	Св. 20 до 28
300	Св. 24 до 28	Св. 28 до 38
200	Св. 28 до 35	Св. 38 до 54

Таблица 2

Марка по дробимости щебня из изверженных пород	Потеря массы при испытании щебня, %	
	из интрузивных пород	из эффузивных пород
1400	До 12 включ.	До 9 включ.
1200	Св. 12 до 16	Св. 9 до 11
1000	Св. 16 до 20	Св. 11 до 13
800	Св. 20 до 25	Св. 13 до 15
600	Св. 25 до 34	Св. 15 до 20

Марки по дробимости щебня из гравия и гравия должны соответствовать требованиям табл. №3.

Таблица 3

Марка по дробимости щебня из гравия и гравия	Потеря массы при испытании щебня, %	
	Щебня из гравия	гравия
1000	До 10 включ.	До 8 включ.
800	Св. 10 до 14	Св. 8 до 12
600	Св. 14 до 18	Св. 12 до 16
400	Св. 18 до 26	Св. 16 до 24

**Целью** данной работы определить эффективность использования бетонного лома в качестве крупного заполнителя.

**Задачи** лабораторно-практической работы:

1. Сравнить физико-механические свойства природного крупного заполнителя и заполнителей, полученных из бетонного лома (лабораторная работа №1).
2. Определить влияние вида крупного заполнителя на прочностные характеристики бетона.

**Решение задачи №1.**

Средства контроля и вспомогательное оборудование

- пресс гидравлический с максимальным усилием до 500 к N,
- цилиндры стальные с внутренними диаметрами 75 и 150 мм и высотой соответственно 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером,
- весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329,
- сита с отверстиями диаметром 2,5; 5; 10; 20 мм,
- сито с сеткой 1,25 мм,
- шкаф сушильный.

Выполнение работы

Работа выполняется звеньями по 3-4 человека. Первое звено определяет марку природного щебня. Второе звено – заполнителя, полученного термическим методом, третье – заполнителя, полученного механическим способом.

Дробимость щебня определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Порядок выполнения:

Испытывают три вида крупного заполнителя: природный и два вида подготовленного крупного заполнителя на лабораторной работе №1.

1. Каждую фракцию щебня (гравия) испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракции 5-10, 10-20 мм испытывают в сухом состоянии в стальном цилиндре диаметром 75 мм, фракцию 20-40 мм - в цилиндре Ø 150 мм.

2. Из остатков на сите с отверстиями 5 мм, 10 мм отобрать по 2 аналитические пробы массой не менее 0,5 кг каждая.

3. Насыпать в цилиндр пробу щебня (гравия) с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра.

4. В цилиндр вставить плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия).

5. Поместить цилиндр на плиту пресса.

6. Увеличивая силу нажатия пресса на 1 – 2 кН в секунду (100 – 200 кгс) довести ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН (5000 кгс).

7. После сжатия испытываемую пробу высыпать из цилиндра и взвесить.

8. Затем её просеять в зависимости от фракции через сито с отверстиями размером:

1,25 – для щебня фракции 5-10 мм;

2,5 – для щебня фракции 10-20 мм.

9. Взвесить остаток щебня на сите после взвешивания.

#### Обработка результатов

Дробимость  $D_p$ , в % определяют с точностью до 1 % по формуле:

$$D_p = (m - m_1) / m * 100, \text{ где}$$

$m$  – масса аналитической пробы щебня (гравия), г;

$m_1$  – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), г.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний щебня.

При испытании щебня (гравия) состоящего из смеси фракций дробимость определяют по формуле:

$$D_p = \frac{D_{p5} * a_5 + D_{p10} * a_{10}}{a_5 + a_{10}}, \text{ где}$$

$D_{p5}$ ,  $D_{p10}$  – дробимость щебня (гравия) соответственно 5 – 10, 10 – 20 мм, в %;

$a_5$ ,  $a_{10}$  – содержание щебня (гравия) соответственно фракции 5 – 10, 10 – 20 мм, в % (данные берутся из п.4.5 – определение зернового состава).

По окончании испытаний определяется марка по дробимости щебня и гравия. Решением задачи №1 должно быть установление целесообразности использования отходов лома бетона в качестве крупного заполнителя.

### **Решение задачи №2.**

Работа выполняется двумя бригадами. Каждая бригада выполняет одно из нижеуказанных заданий. Характеристика исходных материалов, состав задаются преподавателем.

Перечень приборов, приспособлений и оборудования, необходимых для выполнения лабораторной работы:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- набор стандартных сит (КСИ): 5 мм, 20 мм, 40 мм
- сосуд металлический цилиндрический объемом 1 л;
- формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685;
- лабораторная виброплощадка;
- испытательная машина.

Порядок выполнения:

1. Приготовить бетонную смесь на плотном природном заполнителе.

2. Приготовить бетонную смесь с использованием крупного заполнителя, полученного из бетонного лома термическим методом.

3. Приготовить бетонную смесь с использованием крупного заполнителя, полученного из бетонного лома механическим методом.

4. Оценка свойств бетона каждого состава.

Решением задачи №2 должно быть установление целесообразности использования отходов лома бетона в качестве крупного заполнителя.

**Выводом** лабораторно-практической работы должно быть установление целесообразности использования отходов лома бетона в качестве крупного заполнителя.

## **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3**

### **ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕТОННОГО ЛОМА В КАЧЕСТВЕ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

Песок — мелкий заполнитель, в бетонной смеси наиболее тесно связан с цементным тестом, составляя с последним растворную часть. Чем больше песка вводится в смесь, тем большей (при прочих равных условиях) оказывается вязкость растворной части (вязкость необходима для поддержания крупного заполнителя во взвешенном состоянии во избежание расслаивания бетонной смеси), тем меньшим будет расход цемента. Однако чрезмерное содержание песка приводит к снижению прочности бетона. Поэтому содержание песка должно быть оптимальным.

Песок в зависимости от значений нормируемых показателей качества (зернового состава, содержания пылевидных и глинистых частиц) подразделяют на два класса (первый и второй).

В зависимости от зернового состава песок подразделяют на группы по крупности:

1 класс - очень крупный, повышенной крупности, крупный, средний и мелкий.

2 класс – очень крупный, повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Каждую группу песка характеризуют значением модуля крупности и полным остатком на сите №063, указанным в табл. 1.

Содержание зерен крупностью свыше 10, 5 и менее 0,14 мм, а также содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать значений, в % по массе (не более), указанных в табл. 2.

Природный песок при обработке раствором гидроксида натрия (колориметрическая проба на органические примеси по ГОСТ 8735) не должен придавать раствору окраску, соответствующую или темнее цвета эталона.

Таблица 1 – группа песка

Группа песка	Модуль крупности (М <sub>к</sub> )	Полный остаток на сите №063, в % по массе
Очень крупный	Свыше 3,5	Свыше 75
Повышенной крупности	От 3,0 до 3,5	65 – 75
Крупный	От 2,5 до 3,0	45 – 65
Средний	От 2,0 до 2,5	30 – 45
Мелкий	От 1,5 до 2,0	10 – 30
Очень мелкий	От 1,0 до 1,5	до 10
Тонкий	От 0,7 до 1,0	не нормируется
Очень тонкий	До 0,7	не нормируется

Таблица 2 – класс песка

Класс и группа песка	Содержание зерен крупностью			Содержание пылевидных и глинистых ч-ц	Содержание глины в комках
	Св. 10 мм	Св. 5 мм	менее 0,16 (0,14) мм		
<b>I класс</b> Очень крупный	Не нормируется			-	-
Повышенной крупности Крупный и средний	0,5	5	5	2	0,25
Мелкий	0,5	5	10	3	0,35
<b>II класс</b> Очень крупный Повышенной крупности	5	20	10	-	-
Крупный и средний	5	15	15	3	0,5
Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20	5	0,5
Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не норм	10	1,0

**Целью** данной работы определить эффективность использования бетонного лома в качестве мелкого заполнителя.

**Задачи** лабораторно-практической работы:

1. Сравнить свойства природного мелкого заполнителя и заполнителей, полученных из бетонного лома (лабораторная работа №1).
2. Определить влияние вида мелкого заполнителя на прочностные характеристики бетона.

**Решение задачи №1.**

Средства контроля и вспомогательное оборудование.

- весы по ГОСТ 23711, ГОСТ 24104;
- набор сит по ГОСТ6613 с сетками 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 и сита с круглыми отверстиями 10; 5; 2,5 мм.

Выполнение работы.

Работа выполняется звеньями по 3-4 человека. Первое звено определяет модуль крупности природного мелкого заполнителя. Второе звено – заполнителя, полученного термическим методом, третье – заполнителя, полученного механическим способом.

Порядок выполнения:

1. Взвесить 2 кг высушенного непросеянного песка.
2. Просеять его через сита с круглыми отверстиями диаметрами 10 и 5 мм.
3. Взвесить остатки на ситах 10 и 5 мм.

Вычислить содержание в песке фракции гравия с размером зерен от 5 до 10 мм ( $G_{p5}$ ) и св.10мм ( $G_{p10}$ ) в процентах по массе по формулам:

$$G_{p10} = M_{10} / M * 100;$$

$$G_{p5} = M_5 / M * 100; \quad \text{где}$$

$M_{10}$  – остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм, г;

$M_5$  – остаток на сите с отверстиями диаметром 5 мм, г;

$M$  - масса пробы, г.

4. Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отобрать навеску массой 1000 г (1кг) для определения зернового состава песка.

5. Просеять 1 кг песка через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и сетками № 1,25; 0,63; 0,315; 0,14.

Просеивание производят механическим или ручным способами. Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 минуты через него проходило не более 0,1 % общей массы просеиваемой навески.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падение зерен песка.

#### Обработка результатов

По результатам просеивания вычисляют:

- частый остаток на каждом сите ( $a_i$ ) в % по формуле:

$$a_i = m_i / m * 100, \text{ где}$$

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

$m$  – масса просеиваемой навески, г.

- полный остаток на каждом сите ( $A_i$ ) в % по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + a_{0,315} + \dots + a_i, \text{ где}$$

$a_{2,5}, a_{1,25}, a_{0,63}, a_{0,315} \dots a_i$  – частные остатки на соответствующих ситах.

- модуль крупности песка ( $M_k$ ) без зерен размером крупнее 5 мм по формуле:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100, \text{ где}$$

$A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,14}$  – полные остатки на соответствующих ситах.

Результат определения зернового состава песка оформляют в таблице или изображают графически в виде кривой просеивания.

Таблица 3 – остатки на ситах

№ сита	Остаток на ситах, г	Остатки на ситах, %	
		частные	полные
2,5	$m_{2,5}$	$a_{2,5}$	$A_{2,5}$
1,25	$m_{1,25}$	$a_{1,25}$	$A_{1,25}$
0,63	$m_{0,63}$	$a_{0,63}$	$A_{0,63}$
0,315	$m_{0,315}$	$a_{0,315}$	$A_{0,315}$
0,14	$m_{0,14}$	$a_{0,14}$	$A_{0,14}$
дно	$m_{\text{дно}}$	$a_{\text{дно}}$	$A_{\text{дно}}$

По окончании испытаний определяется модуль крупности песка. Решением задачи №1 должно быть установление целесообразности использования отходов лома бетона в качестве мелкого заполнителя.

### **Решение задачи №2.**

Работа выполняется двумя бригадами. Каждая бригада выполняет одно из нижеуказанных заданий. Характеристика исходных материалов, состав задаются преподавателем.

Перечень приборов, приспособлений и оборудования, необходимых для выполнения лабораторной работы:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- набор стандартных сит (КСИ): 5 мм, 20 мм, 40 мм
- сосуд металлический цилиндрический объемом 1 л;
- формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685;
- лабораторная виброплощадка;
- испытательная машина.

Порядок выполнения:

1. Приготовить бетонную смесь на плотном природном заполнителе.

2. Приготовить бетонную смесь с использованием мелкого заполнителя, полученного из бетонного лома термическим методом.

3. Приготовить бетонную смесь с использованием мелкого заполнителя, полученного из бетонного лома механическим методом.

4. Оценка свойств бетона каждого состава.

Решением задачи №2 должно быть установление целесообразности использования отходов лома бетона в качестве мелкого заполнителя.

**Выводом** лабораторно-практической работы должно быть установление целесообразности использования отходов лома бетона в качестве крупного заполнителя.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

### ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГИДРАТИРОВАННОГО ЦЕМЕНТА В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ В ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ

Теория твердения портландцемента развивается на базе основополагающих работ Ле-Шателье, Михаэлиса, А. А. Байкова, П. А. Ребиндера и других выдающихся ученых. Большой вклад в науку о вяжущих веществах внесли П. И. Боженков, П. П. Будников, Ю. М. Бутт, А. В. Волженский, В. А. Воробьев, С. И. Дружинин, В. А. Кинд, О. П. Мчеделов-Петросян, В. Н. Юнг и др.

В данной работе мы будем исследовать влияние гидратированного цементного камня, как активной добавки к портландцементу или его полной замены.

Гипотеза основана на представлении строения цементного камня В.Н. Юнгом. **Микроструктура цементного камня** — состоит из непрореагированных частиц цемента, новообразований и микропор различных размеров, микроструктура цементного камня напоминает строение бетона и поэтому была названа профессором В.Н.Юнгом микробетоном.

#### Сущность способа вторичного использования гидратированного цемента

Активность цемента теряется при его взаимодействии с влагой и в том числе с влагой воздуха (рис. 1 а, б).

Бетоны не являются после их разрушения и даже длительного хранения химически активными продуктами.



Гидратированная  
часть цементного  
зерна

а

б

Рис. 1. а - цементное зерно; б - частично гидратированное цементное зерно

Как видно из рис.1, процесс гидратации частицы цемента с поверхности. По мере увеличения толщины слоя гидратных новообразований процесс дальнейшей гидратации постепенно затухает. Таким образом, цемент теряет свою активность. Для дальнейшего использования этого вяжущего необходимо снять с поверхности частиц гидратную оболочку путем дополнительного помола цемента. Прочность гидратов ниже, поэтому они после помола имеют большую дисперсность, чем частицы цемента.



Рис.2

а — свежий цемент, б — молотый гидратированный цемент

Зачастую активность молотого гидратированного цемента (МГЦ) выше активности свежего цемента до момента гидратации. Это связано с тем, что при затворении МГЦ водой процесс кристаллообразования происходит быстрее за счет появления центров кристаллизации (рис. 2). В то время как в свежем цементе происходит длительное формирование кристаллических центров, в

МГЦ они уже есть, в виде гидратированного цемента, и поэтому процесс роста кристаллов схватывания и твердения там протекает, намного быстрее.

Такие центры кристаллообразования называют затравками, и они относятся к добавкам третьего класса (В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг «Добавки в бетон»). Также к затравкам относится 2-водный гипс, который используется при производстве изделий из полуводного гипса.

Примечание: Бетоны не являются после их разрушения и даже длительного хранения химически активными продуктами.

**Целью** данной работы является утилизация гидратированного цемента и использование его в качестве затравки для ускорения процессов твердения цементных растворов или для полной его замены.

**Задача** лабораторно-практической работы:

1. Дать характеристику порошкообразного материала. Определить удельную поверхность вяжущего.
2. Оценить активность промышленно выпускаемого портландцемента и вяжущего на основе прогидратированного цемента.

Решение задачи №1.

Определить насыпную плотность и удельную поверхность (ПСХ-12) всех порошкообразных образцов.

Решение задачи №2.

1. Приготовить растворную смесь на промышленно выпускаемом цементе (ПЦ 400, ПЦ 500).
2. Приготовить растворную смесь с использованием гидратированного вяжущего, полученного термическим способом.
3. Приготовить растворную смесь с использованием гидратированного вяжущего, полученного механическим способом.

Перечень приборов, приспособлений и оборудования, необходимых для выполнения лабораторной работы:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104;

- встряхивающий столик;
- формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 310.4;

- лабораторная виброплощадка;

- испытательная машина.

Работа выполняется в следующем порядке:

Работа выполняется бригадами по 2-3 человека. Каждая бригада выполняет одно из вышеуказанных заданий.

Приготовление растворов по ГОСТ 310.4: в чашу, засыпается необходимое количество всех компонентов раствора. После тщательного перемешивания раствора определяется его расплыв на встряхивающем столике. Диаметр расплыва должен составлять 106-115 мм. Для определения расплыва на встряхивающий столик устанавливают стандартный конус. Внутреннюю поверхность конуса и диск столика перед испытанием протирают влажной тканью. Заполняют раствором форму-конус на половину высоты и уплотняют 15 штыкованием металлической штыковкой. Затем наполняют конус раствором с небольшим избытком и штыкуют 10 раз. После уплотнения верхнего слоя избыток раствора удаляют ножом. Нож предварительно протирают влажной тканью. Затем снимают конус в вертикальном направлении. Раствор встряхивают на столике 30 раз за  $(30 \pm 5)$  с, после чего штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию и двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение. Расплыв конуса с  $V/C=0,40$  должен быть в пределах 106-115 мм. Если расплыв конуса окажется менее 106 мм, количество воды увеличивают для получения расплыва конуса 106-108 мм. Если расплыв конуса окажется более 115 мм, количество воды уменьшают для получения расплыва конуса 113-115 мм.

Водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106-115 мм, принимают для проведения дальнейших испытаний.

4. Оценка свойств каждого вяжущего. Испытание контрольных образцов по ГОСТ 310.4.

На основании полученных данных делаются выводы и выбираются оптимальные составы, позволяющие получить максимальную прочность. Составы заносятся в табл.1.

Таблица 1- Оптимальный состав

№	Цемент, г	МГЦ,		Песок, г	Вода, мл	Расплав, мм	Прочность, МПа	
		г	Способ получения				R <sub>изг</sub>	R <sub>сж</sub>
1	500	0		1500				
2	400	100	термический	1500				
3	250	250	термический	1500				
4	0	500	термический	1500				
5	400	100	механический	1500				
6	250	250	механический	1500				
7	0	500	механический	1500				

**Выводом** лабораторно-практической работы должно быть установление целесообразности использования отходов вяжущего из лома бетона в качестве затравки для ускорения процессов твердения цементных растворов.

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АРБОЛИТА

**Арболит** — лёгкий бетон основе цемента вяжущего, органических заполнителей (до 80-90% объёма) и химических добавок. Также известен как древобетон.

НД: ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия», СН 549-84 «Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита».

Разработан и стандартизирован в 60-е годы XX в. В СССР, где было построено более 100 арболитовых заводов.

Важнейшей характеристикой арболита, как и любого строительного материала, является предел прочности на сжатие. Предел прочности на сжатие арболита варьируется от М5-М15 для теплоизоляционного и от М25 до М50 (и даже до М100) - для конструкционного (табл.1).

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

Таблица 1

Средняя плотность арболита в зависимости от вида заполнителя

Вид арболита	Класс по прочности на сжатие	Марка по прочности при осевом сжатии	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , арболита на			
			измельченной древесине	костре льна или дробленных стеблях хлопчатника	костре конопли	дробленной рисовой соломе
Теплоизоляционный	В0, 35	М5	400-500	400-450	400-450	500
	В0, 75	-	500-650	550-650	550-650	600-700
	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	-	-

	V3, 5	M50	700-850	-	-	-
--	-------	-----	---------	---	---	---

Арболит обладает повышенной прочностью на изгиб, очень хорошо поглощает звуковые волны.

Арболит не поддерживает горение, удобен для обработки. Конструкционные виды обладают высоким показателем прочности на изгиб, могут восстанавливать свою форму после временного превышения предельных нагрузок.

К недостаткам арболита можно отнести пониженную влагостойкость. Наружная поверхность конструкций из арболита, соприкасающихся с атмосферной влагой, должна иметь защитный отделочный слой. Влажность воздуха в помещениях со стенами из арболита желательно поддерживать не выше 75%.

Технические характеристики арболита приведены в табл. 2.

Таблица 2-Технические характеристики арболита

Наименование показателей	Заполнитель из отходов	
	лесопиления	лесозаготовок
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	400-800	500-850
Прочность при сжатии, МПа	0,5-5,0	
Прочность при изгибе, МПа	0,7-1,0	
Модуль упругости, МПа	250-2300	
Морозостойкость, не менее, циклы	25-50	
Водопоглощение, %	40-85	
Усадка, %	0,4-0,5	
Сорбционное увлажнение (при относительной влажности 40-90%)	4-8	4,5-12
Биостойкость	Биостойкий (V группа)	
Огнестойкость	Трудногораемый (огнестойкость 0,75-1,5 ч)	
Коэффициент звукопоглощения (при частотах звука 125-2000 Гц)	0,17-0,6	

Для изготовления арболита и изделий из него применяют следующие материалы:

- минеральное вяжущее: портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий цемент - кроме пуццоланового, гипс;

- в качестве органического заполнителя применяется измельчённая древесина (древобетон), костра льна или конопли (костробетон), дроблёная рисовая солома или дроблёные стебли хлопчатника.

- для минерализации наполнителя используют хлорид кальция, нитрат кальция, жидкое стекло или иные вещества, блокирующие негативное действие органических веществ на затвердевание цемента (лучшими добавками считаются хлористый кальций и сернокислый алюминий. Возрастание прочности арболита с введением сернокислого алюминия объясняется тем, что он, соединяясь с сахарами, переводит их в безвредное состояние);

- вода по ГОСТ 23723.

Органические заполнители должны удовлетворять требованиям:

1) измельченная древесина: размеры древесных частиц не должны превышать по длине 40, по ширине 10, а по толщине 5 мм, примесь коры не более 10%, хвои и листьев - более 5%.

2) костра конопли и льна, измельченные стебли хлопчатника и измельченная рисовая солома: длина частиц - не более 40 мм, содержание очеса и пакли - не более 5%.

**Целью** данной работы является расчет состава арболита плотностью 500 и его экспериментальная проверка в контрольных замесах.

**Задачи** лабораторной работы:

1. Расчет состава конструкционного арболита;
2. Изготовление и испытание контрольных образцов древобетона;

### 3. Корректировка состава древобетона.

**Выводом** лабораторной работы должно быть установление целесообразности использования отходов деревообработки для получения арболита.

Работа выполняется в следующем порядке:

1. Получение исходных данных для расчета состава древобетона;
2. Выбор материалов для бетона и получение необходимых данных, характеризующих их свойства;
3. Ориентировочное определение состава;
4. Приготовление лабораторных замесов;
5. Формование опытных образцов;
6. Испытание опытных образцов из бетона с анализом полученных результатов;
7. Назначение состава конструкционного арболита.

Перечень приборов, приспособлений и оборудования, необходимых для выполнения лабораторной работы:

- ареометр для определения плотности хим. добавок;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- сосуд металлический цилиндрический объемом 1 л;
- формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685;
- испытательная машина.

Работа выполняется двумя бригадами. Каждая бригада выполняет одно из нижеуказанных заданий. Характеристика исходных материалов, состав задаются преподавателем.

Задание №1: изготовить образцы арболита на основе портландцемента, древесных опилок (рубленные сучья кустов), жидкого стекла.

Задание №2: изготовить образцы арболита на основе гипса, древесных

опилок (рубленные сучья кустов), хлористого кальция.

Порядок выполнения работы:

1. Расчет состава на приготовление  $1\text{ м}^3$  арболита.

Расход цемента (вяжущего) для различных конструкций и изделий из арболита в каждом отдельном случае зависит от марки цемента (вяжущего), марки арболита, вида заполнителя, его характеристики и т.д.

Ориентировочный расход цемента (вяжущего) рекомендуется определять следующим образом: требуемая марка арболита умножается на коэффициент 17, например, для арболита марки 15 ориентировочный расход цемента на  $1\text{ м}^3$  арболита составит  $15 \times 17 = 255$  кг.

Заполнители.

Наиболее распространенным является древесный заполнитель. К нему предъявляются следующие требования. Не рекомендуется применять крупные древесные частицы, так как после увлажнения изделия последнее так увеличивается в объеме, что это приводит к разрушению. Мелкие частицы древесного заполнителя потребуют больше цементного раствора. Основной недостаток древесного заполнителя — его химическая активность.

Расход заполнителя зависит от плотности древобетона, так для изготовления арболита плотностью 600 необходимо заполнителя  $600\text{--}650\text{ кг/м}^3$ .

В качестве заполнителя применяют опилки со стружкой (соотношение 1:1 или 1:2), стружку, щепу, опилки со стружкой и щепой (соотношение 1:1:1). Костру льна применяют в том же виде, в каком она бывает на льнозаводах. Стебли же конопли надо предварительно дробить на кормодробилках.

Арболит получается качественней в том случае, когда заполнитель имеет форму игольчатую, удлиненную, в среднем с такими размерами

частиц: длина 15 — 25 мм, ширина и толщина 2 — 5 мм.

Химические добавки: при изготовлении арболита общее количество добавок достигает 2—4% от веса цемента или 6—12 кг на 1 м<sup>3</sup> арболита. Химические добавки можно применять как отдельно, так и в сочетаниях: хлористый кальций и сернокислый алюминий (1:1), растворимое стекло и известь гашеная (1:1). Перед применением химические добавки предварительно растворяют в воде и после этого вливают в арболитовую смесь.

Примечание: применение хлористого кальция увеличивает прочность арболитовых блоков. Хорошие результаты дает применение жидкого стекла — водный раствор силиката натрия или кальция — 8—10 кг на 1 м<sup>3</sup> арболита. В твердом состоянии оно похоже на обыкновенное стекло. Растворяют его в горячей воде.

## 2. Технология изготовления арболита.

В органический наполнитель добавить воду с растворенными в ней химическими добавками и тщательно перемешать. Затем мокрый органический наполнитель посыпают цементом (вяжущим) и всю массу перемешивают до получения однородной смеси. У хорошей смеси все древесные частицы покрыты цементом.

Примерный расход материалов на 1 м<sup>3</sup> арболита марки 15 и 25 приведен в табл.3.

Таблица 3

Потребность материалов для получения 1 м<sup>3</sup> арболита марок 15 и 25

Марка арболита	ПЦ 400, кг	Органический наполнитель (любого вида), кг	Химические добавки, кг	Вода л
15	250-280	240-300	12	350-400
25	300-330	240-300	12	350-400

Арболитовую массу укладывают в форму в два-три приема послойно с трамбованием каждого слоя.

Примечание: по желанию арболитовым формам можно придать декоративную отделку. Для этого на дно формы (это будет лицевая поверхность) укладывают тонким слоем гранитную крошку, посыпают ее цементом и наполняют арболитовой смесью. Можно использовать и битую керамическую плитку. Выложив ею дно, пространство между плитками заливают цементным раствором заподлицо с плитками, а затем укладывают арболитовую смесь.

### 3. Испытание контрольных образцов

Образцы испытывают после 28-суточного твердения в нормальных условиях.

Опорные грани образца выбираются так, чтобы сжимающая нагрузка была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в форму. Опытный образец помещают на нижнюю плиту пресса, тщательно центрируя его по оси (ось пресса должна совпадать с осью образца). Нагрузка при испытании должна возрастать плавно со скоростью 0,4 - 0,6 МПа/сек, но не менее 30 сек.

Предел прочности на сжатие определяют (как среднее арифметическое всех испытаний) по формуле:

$$R_{\sigma} = P/F, \text{ МПа} \quad (1)$$

где P - разрушающая нагрузка, кг ;

F - площадь сечения образца, см<sup>2</sup>.

## Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона.- М.: Изд-во АСВ, 2003 - 500 с.
2. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
3. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия
4. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона: Учеб. для строит. вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 272 с.
5. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине:

### **«Безотходные технологии в производстве строительных материалов изделий и конструкций»**

для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе  
магистратуры «Инновационные технологии высокопрочных и  
высокофункциональных бетонов»

Составители: Красиникова Наталья Михайловна  
Хозин Вадим Григорьевич  
Морозов Николай Михайлович  
Хохряков Олег Викторович

Редакция авторов

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2016.  
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ.л. 1,5. Тираж 50. Заказ

---

Печатно-множительный отдел  
Казанского государственного архитектурно-строительного университета  
420043, Казань, Зеленая, 1