

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

**Материаловедение и технология конструкционных  
материалов. Часть II**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог,  
мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог  
промышленного транспорта»

Белгород  
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова  
Кафедра автомобильных и железных дорог

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

**Материаловедение и технология конструкционных  
материалов. Часть II**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог,  
мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог  
промышленного транспорта»

Белгород  
2013

УДК 625.1.06/.07 (075)  
ББК 39.311 я 7  
М86

Составители: канд. техн. наук, проф. Г.С. Духовный  
канд. техн. наук, ст. преп. Н.В. Селицкая  
ассистент А.В. Сачкова  
Рецензент канд. техн. наук, доц. А.А. Логвиненко

**Материаловедение:** методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог промышленного транспорта»/ сост.: Г.С. Духовный, Н.В. Селицкая, А.В. Сачкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 50 с.

В методических указаниях подробно изложен порядок проведения лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Методические указания предназначены для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог промышленного транспорта»

Данное издание публикуется в авторской редакции.

УДК 625.1.06/.07 (075)  
ББК 39.311 я 7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум составлен в соответствии с рекомендованной программой циклом работ по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

В методических указаниях изложена методика проведения лабораторных работ по испытанию основных строительных материалов и изделий, которые применяются в промышленном и гражданском строительстве, при возведении мостов, туннелей, в строительстве метрополитенов и других сооружений. Приведено краткое описание лабораторных приборов и оборудования, дана методика расчета полученных результатов испытаний.

С целью повышения самостоятельности при подготовке и проведении лабораторных работ методические указания содержат контрольные вопросы для самоподготовки.

### **Общие положения о выполнении лабораторных работ**

1. Каждая лабораторная работа, каждое испытание это самостоятельная исследовательская работа, приступать к выполнению которой без знания основ явлений и свойств, которые изучаются не допустимо.

2. Осознанное выполнение лабораторных работ учит применять теоретические знания в экспериментальной работе, правильно планировать опыт, проводить измерение с достаточной точностью, анализировать и получать возможные результаты.

3. Студент получает методические указания до выполнения лабораторных работ, до занятия изучает теоретическую часть, суть и методику выполнения задания, также используя конспект или учебник. На занятиях уточняет у преподавателя все вопросы, которые возникли в процессе самоподготовки, и выполняет работу.

4. При проведении испытаний необходимо строго придерживаться правил техники безопасности.

5. После окончательной обработки материалов каждого занятия их результаты заносятся в соответствующие таблицы данного практикума, и делается вывод о соответствии качества материала требованиям стандарта. Заполнение всех граф в таблицах, предусмотренных лабораторной работой, обязательно.

6. За время, которое отведено для проведения лабораторного занятия, должны быть выполнены следующие составляющие:

- текущий контроль подготовленности студентов к выполнению конкретной лабораторной работы;

- выполнение задания темы занятия;
- оформление индивидуального отчета выполненной работы;
- защита отчета перед преподавателем.

7. Студенты, которые в результате текущего контроля в начале занятия показали неудовлетворительный уровень подготовленности, к лабораторному занятию не допускаются.

8. Отработка лабораторных работ для студентов, которые не были на них допущены или пропустили их по уважительной причине, выполняется во внеучебное время.

9. Зачет лабораторной работы проводится по полученным результатам и выводами студента, с коротким опросом или собеседованием по результатам работы. В отдельных случаях защита лабораторной работы может проводиться на следующем занятии.

10. Оценивание результатов лабораторной работы в форме зачета, в зависимости от уровня работы студента на занятии, полученных результатов и сделанных выводов. При этом учитываются пропуски студентами лабораторных работ.

11. Студентам, которые имеют хотя бы одну не зачисленную лабораторную работу, не зачисляется соответствующая контрольная аттестация. Они не имеют права на получение зачета или допуска к экзамену.

## Лабораторная работа № 1

### Испытание цемента

*Цель работы:* испытать цемент в соответствии с ГОСТ [1, 2, 3, 4] и сделать выводы о его качестве.

*Оборудование и материалы:* сито №008, весы технические, чаша и лопатка для перемешивания цементного теста, мерные емкости, конус с насадкой, встряхивающий столик, прибор Вика, металлическая разъемная форма размером 40×40×160 мм, лабораторная виброплощадка, гидравлический пресс, автоклав с рабочим давлением не менее 2,1 МПа, бачок для испытания кипячением, ванна с гидравлическим затвором, цемент, песок стандартный (нормальный) по ГОСТ [5], вода.

### Основные понятия

*Портландцементом* называют минеральное гидравлическое вяжущее вещество - продукт тонкого помола цементного клинкера с небольшой добавкой (3...5 %) естественного гипса. Цементный клинкер получают в результате обжига до спекания при температуре 1400...1450 °С сырьевой смеси из известняка (70...76 %) и глины (22...30 %).

Испытания цемента производят в соответствии с ГОСТ [1, 2, 3]; оценку качества – по ГОСТ [4].

По вещественному составу, приведенному в таблице

1, цементы подразделяют на пять типов:

- ЦЕМ I - портландцемент;
- ЦЕМ II - портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III - шлакопортландцемент;
- ЦЕМ IV - пуццолановый цемент;
- ЦЕМ V - композиционный цемент.

Примечание - Цемент типа ЦЕМ I не содержит минеральных добавок в качестве основного компонента.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II-ЦЕМ V подразделяют на подтипы А и В.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

Примеры условных обозначений:

1. Портландцемент класса 42,5 быстротвердеющий:

**Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108-2003.**

2. Портландцемент со шлаком (Ш) от 21% до 35%, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

**Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2003.**

3. Портландцемент с известняком (И) от 6% до 20%, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

**Портландцемент с известняком ЦЕМ II/А-И 32,5Н ГОСТ 31108-2003.**

4. Композиционный портландцемент с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы-уноса (З) и известняка (И) от 6% до 20%, класса прочности 32,5, быстротвердеющий:

**Композиционный портландцемент ЦЕМ II/А-К(Ш-З-И) 32,5Б ГОСТ 31108-2003.**

5. Шлакопортландцемент с содержанием доменного гранулированного шлака от 36% до 65%, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

**Шлакопортландцемент ЦЕМ III/А 32,5Н ГОСТ 31108-2003.**

6. Пуццолановый цемент с суммарным содержанием пуццоланы (П), золы-уноса (З) и микрокремнезема (МК) от 21% до 35%, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

**Пуццолановый цемент ЦЕМ IV/А (П-З-МК) 32,5Н ГОСТ 31108-2003.**

7. Композиционный цемент с содержанием доменного гранулированного шлака (Ш) от 11% до 30% и золы-уноса (З) от 11% до 30%, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

**Композиционный цемент ЦЕМ V/А(Ш-З) 32,5Н ГОСТ 31108-2003.**

## *1. Определение тонкости помола*

Тонкость помола цемента влияет на свойства цемента: скорость твердения, а также прочность затвердевшего цементного камня. Тонкость помола оценивают по данным рассева, а также по величине удельной поверхности.

### *1.1. Определение тонкости помола по остатку на сите*

Для просеивания отвешивают 50 г цемента, высушивают в сушильном шкафу при температуре 105...110 °С в течение 2 ч и охлаждают в эксикаторе.

При использовании прибора для механического просеивания отвешивают 50 г цемента с точностью до 0,05 г и высыпают его на сито. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического

просеивания. Через 5...7 мин от начала просеивания останавливают прибор, осторожно снимают доньшко и высыпают из него прошедший через сито цемент, прочищают сетку с нижней стороны мягкой кистью, вставляют доньшко и продолжают просеивание. Согласно ГОСТ [4], остаток на сите №008 должен быть не более 15 %.

Методика определения описана в п. 1 лабораторной работы № 8 части I методических указаний.

### ***1.2. Определение тонкости помола по удельной поверхности***

При определении удельной поверхности для расчета массы навески цемента используют величину его плотности.

Прибор Ле Шателье (рис. 1) помещают в стеклянную емкость с водой и закрепляют в штативе так, чтобы вся его градуированная часть была погружена в воду. Температура воды в емкости должна соответствовать температуре, при которой производилась калибровка прибора.

Прибор наполняют обезвоженным керосином до нулевой черты по нижнему мениску. После этого свободную от керосина часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. От цемента отбирают навеску массой 65 г и высыпают ее в прибор Ле Шателье ложечкой через воронку небольшими равномерными порциями. Для удаления пузырьков воздуха прибор вынимают из емкости с водой и поворачивают его в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. Затем прибор снова помещают в емкость с водой не менее чем на 10 мин, после чего проводят отсчет уровня жидкости в пределах верхней градуированной части прибора. Определяется плотность цемента.



Рис. 1. Прибор Ле Шателье



За плотность цемента принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

Результат вычисления округляют до  $0,01 \text{ г/см}^3$ .

Расчет массы навески цемента с учетом плотности и проведение испытаний для определения удельной поверхности выполняют в соответствии с инструкцией к прибору.

За удельную поверхность принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно быть более 1 % среднеарифметического значения.

Результат вычисления округляют до  $1 \text{ м}^2/\text{кг}$  ( $10 \text{ см}^2/\text{г}$ ).

## ***2. Определение нормальной густоты цементного теста***

Нормальной густотой цементного теста называют такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное цементным тестом, не доходит на  $5 \dots 7 \text{ мм}$  до пластинки, на которой установлено кольцо. Нормальную густоту выражают количеством воды затворения в процентах по отношению к массе цемента.

Для приготовления цементного теста отвешивают  $400 \text{ г}$  цемента, высыпают в чашу, предварительно протертую влажной тканью. Затем делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты. Углубление засыпают цементом и через  $30 \text{ с}$  после прилипания воды сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой.

Продолжительность перемешивания и растирания составляет  $5 \text{ мин}$  с момента наливания воды.

После окончания перемешивания кольцо быстро наполняют в один прием цементным тестом и  $5 \dots 6$  раз встряхивают его, постукивая пластинку о твердое основание. Поверхность теста выравнивают с краями кольца, срезая избыток теста ножом, протертым влажной тканью. Немедленно после этого приводят пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным устройством, затем быстро освобождают его и предоставляют пестику свободно погружаться в тесто. Через  $30 \text{ с}$  с момента освобождения стержня производят отсчет погружения по шкале. Кольцо с тестом при отсчете не должно подвергаться толчкам. При несоответствующей консистенции цементного теста изменяют количество воды и вновь затворяют тесто, добиваясь погружения пестика на заданную

глубину. Нормальную плотность цементного теста характеризуют количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента:

$$НГ = \frac{В}{Ц} \cdot 100, \quad (1)$$

где В – количество воды затворения, мл;

Ц – масса цемента для испытания, 400 г.

### **3. *Определение сроков схватывания цементного теста***

Скорость схватывания – важное свойство портландцемента, влияющее на свойства бетонной смеси. Как слишком быстрое, так и медленное схватывание – существенный недостаток цемента.

Начало и конец схватывания цементного теста определяют с помощью прибора Вика на цементном тесте нормальной плотности, но вместо пестика на нижней части подвижного стержня закрепляют иглу диаметром 1 мм и длиной 50 мм.

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика. Кроме того, проверяют чистоту поверхности и отсутствие искривления иглы. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста нормальной плотности, приготовленного и уложенного в кольцо. В этом положении закрепляют стержень стопором, затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто. В начале испытания, пока тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается слегка ее задерживать при погружении в тесто.

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. После каждого погружения иглу вытирают.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 2...4 мм. Концом схватывания цементного теста считают время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

### **4. *Определение равномерности изменения объема цемента***

Для испытания на равномерность изменения объема цемента готовят тесто нормальной плотности.

Две навески теста массой 75 г каждая, приготовленные в виде шариков, помещают на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Постукивают ею о твердое основание до обра-

зования из шариков лепешек диаметром 7...8 см и толщиной в середине около 1 см. Лепешки заглаживают смоченным водой ножом от наружных краев к центру до образования острых краев и гладкой закругленной поверхности.

Приготовленные лепешки хранят в течение  $(24 \pm 2)$  ч с момента изготовления в ванне с гидравлическим затвором, а затем подвергают испытанию кипячением.

По истечении времени хранения, две цементные лепешки вынимают из ванны, снимают с пластинок и помещают в бачок, с водой на решетку. Воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 3 ч, после чего лепешки в бачке охлаждают и производят их внешний осмотр немедленно после извлечения из воды.

Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, доходящих до краев, трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешек. Искривления обнаруживают при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки, при этом обнаруживаемые искривления не должны превышать 2 мм на краю или в середине лепешки. Допускается в первые сутки после испытаний появление трещин усыхания, не доходящих до краев лепешек, при условии сохранения звонкого звука при постукивании лепешек одна о другую. Образцы лепешек, выдержавших и не выдержавших испытание на равномерность изменения объема, сравнивают с рис. 2.

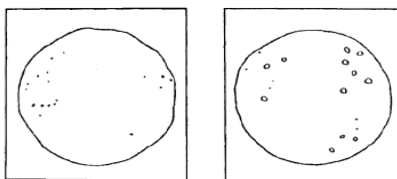


Рис. 2. Лепешки, выдержавшие испытание на равномерность изменения объема

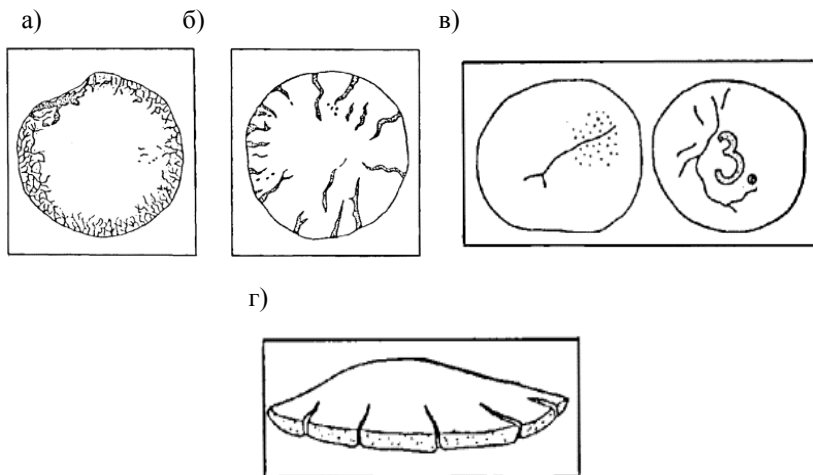


Рис. 3. Лепешки, не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема:

- а) разрушение; б) радиальные трещины; в) искривление;  
г) трещины усыхания

### 5. *Определение прочности цемента*

Марку цемента устанавливают по показателям прочности при сжатии половинок образцов - балочек размером  $40 \times 40 \times 160$  мм, полученных после испытания балочек на определение предела прочности при изгибе. Образцы изготовляют из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции состава 1:3, одна часть (по массе) цемента и три части нормального песка, при водоцементном отношении не менее 0,4 и консистенции раствора, который характеризуется распливом конуса на встряхивающем столике в пределах 106...115 мм. Используют стандартный (нормальный) полифракционный песок по ГОСТ [5].

Для определения нормальной консистенции цементно-песчаного раствора с водоцементным отношением - В/Ц – 0,4 отвешивают 1500 г песка и 500 г цемента, высыпают в сферическую чашу и перемешивают сухую смесь на протяжении 1 мин. Потом в центре смеси делают лунку и вливают в нее 200 мл воды. Смесь вручную перемешивают на протяжении 1 мин и переносят в механическую мешалку, в которой окончательно перемешивают на протяжении 2,5 мин.

Консистенцию цементного раствора определяют с помощью встряхивающего столика и формы-конуса (рис. 4).

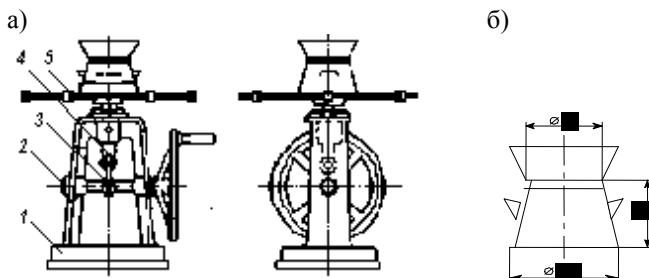


Рис. 4. Встряхивающий столик (а) и форма-конус (б):

1 – чугунная станина; 2 – вал; 3 – кулачок; 4 – ось; 5 – горизонтальный диск с зеркальным стеклом

Консистенцию цементного раствора на встряхивающем столике определяют таким способом. После окончания перемешивания цементного раствора заполняют им форму - конус в два приема слоями равной толщины, уплотняя раствор каждого слоя специальным штыком (рис. 5).

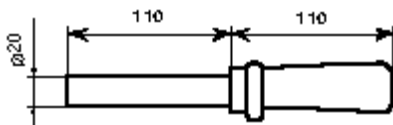


Рис. 5 – Штык для уплотнения цементно-песчаного раствора

Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний - 10 раз. Перед составлением раствора форму - конус и стекло увлажняют. После уплотнения цементного раствора излишек раствора срезают ножом и форму осторожно снимают вертикально вверх.

Раствор встряхивают на столике 30 раз, после чего измеряют расплыв конуса (диаметр коржа) в двух взаимно перпендикулярных направлениях стальной линейкой или штангенциркулем.

Консистенция раствора считается нормальной, если расплыв конуса находится в пределах 106...115 мм. Если он будет составлять менее 106 мм, следует увеличить количество воды в растворе. Минимальное количество воды должно быть 40 % от массы цемента.

Требуемое количество воды, выраженное в виде водоцементного отношения (В/Ц), принимают для приготовления раствора, используемого при приготовлении образцов-балочек.

Перед приготовлением образцов для испытания на изгиб внутреннюю поверхность стенок формы и поддона смазывают машинным маслом и закрепляют на виброплощадке с амплитудой колебаний 0,35 мм и частотой колебаний 2800...3000 об/мин.

Все три гнезда формы заполняют раствором, сначала приблизительно на 1 см по высоте и включают виброплощадку, после 2 мин вибрации все три гнезда форм равномерно небольшими порциями окончательно заполняют раствором.

Через 3 мин от начала вибрации, виброплощадку выключают, снимают с нее форму, срезают излишек раствора смоченным ножом, поверхность образцов зачищают вровень с краями формы, маркируют и помещают в ванную с гидравлическим затвором.

Через  $(24 \pm 2)$  ч после изготовления формы осторожно раскрывают, образцы в горизонтальном положении погружают на 28 сут в ванную с водой ( $t = 20 \pm 2$  °С) так, чтобы они не соприкасались друг с другом.

После окончания срока сохранения образцы вынимают из воды, насухо вытирают и не позднее, чем через 10 мин подвергают испытанию по методике, описанной в п. 1 и 2 лабораторной работы № 2 части I методических указаний.

Результаты испытаний цемента представляют в виде табл. 1.

*Таблица 1*

### Характеристика цемента

Показатель	Результаты испытаний
Тонкость помола, %	
Нормальная плотность, %	
Сроки схватывания, мин: начало конец	
Активность цемента, $R_{II}$	
Марка цемента	

Таблица 2

**Требования к классам прочности и его разновидностям**

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут не менее	7 сут не менее	28 сут			
			не менее	не более		
22,5Н	-	11	22,5	42,5	75	10
32,5Н	-	16	32,5	52,5		
32,5Б	10	-				
42,5Н	10	-	42,5	62,5	60	
42,5Б	20	-				
52,5Н	20	-	52,5	-	45	
52,5Б	30	-				

**Контрольные вопросы**

1. С какой целью вводят гипс при помоле цементного клинкера?
2. Что такое активность и класс прочности цемента?
3. Как влияют минералы  $C_3S$  и  $C_2S$  на прочность цементного камня?
4. В каких условиях хранятся образцы для определения класса прочности цемента?

## Лабораторная работа № 2

**Расчет и подбор состава строительного раствора**

*Цель работы:* произвести рациональный расчет строительного раствора и его подбор в соответствии с заданными свойствами, приготовить пробный замес и испытать раствор.

*Оборудование и материалы:* весы технические, чаша, конус для определения подвижности растворной смеси, штыковка, мерные емкости

сти, 2 линейки, стальные формы 7,07х7,07х7,07 см, пресс гидравлический, портландцемент М400, гипс, глина, кварцевый песок, вода.

### Основные понятия

*Строительный раствор* - искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего, мелкого заполнителя, воды и добавок.

Особенностью строительных растворов смесей является укладка их тонкими слоями без интенсивного механического уплотнения, в связи с чем, растворные смеси должны обладать высокой подвижностью и не содержать в своем составе крупный заполнитель.

Для изготовления растворов используют преимущественно неорганические вяжущие вещества (цементы, воздушную известь, гипс), однако, в дорожном строительстве и при специальных работах применяют и органические вяжущие вещества (битумные, полимерные).

Строительные растворы квалифицируются по:

- виду вяжущего;
- средней плотности;
- назначению.

По основному назначению растворы подразделяют на:

- кладочные (в том числе и для монтажных работ);
- облицовочные;
- штукатурные.

По применяемым вяжущим растворы подразделяют на:

- простые (на вяжущем одного вида);
- сложные (на смешанных вяжущих).

По средней плотности растворы подразделяют на:

- тяжелые;
- легкие.

Условное обозначение строительного раствора при заказе должно состоять из сокращенного обозначения с указанием степени готовности (для сухих растворных смесей), назначения, вида применяемого вяжущего, марок по прочности и подвижности, средней плотности (для легких растворов) и обозначения настоящего стандарта.

Пример условного обозначения тяжелого раствора, готового к употреблению, кладочного, на известково-гипсовом вяжущем, марки по прочности М100, по подвижности - П<sub>к</sub>2:

Раствор кладочный, известково-гипсовый, М100, П<sub>к</sub>2, ГОСТ 28013-98.



Для сухой растворной смеси, легкой, штукатурной, на цементном вяжущем, марки по прочности М50 и по подвижности - П<sub>к3</sub>, средней плотности D900:

Смесь сухая растворная штукатурная, цементная, М50, П<sub>к3</sub>, D900, ГОСТ 28013-98.

По прочности на сжатие строительные растворы бывают следующих марок: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 и 300.

Растворы, приготовленные на одном вяжущем, называются простыми, а на нескольких вяжущих – смешанными, или сложными.

Вяжущими для простых растворов служат портландцементы, пуццолановые портландцементы, шлакопортландцементы и специальные низкомарочные цементы, например, песчаный портландцемент марки 200, а также известь и гипс. Для экономии гидравлических вяжущих и улучшения технологических свойств строительных растворов широко применяют смешанные вяжущие (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые).

Известь в строительных растворах применяют в виде известкового теста или молока. Гипс используют главным образом в штукатурных растворах как добавку к извести.

Вода для затворения растворов не должна содержать примесей, оказывающих вредное воздействие на твердение вяжущего вещества. Пригодной для затворения растворов является водопроводная вода.

В качестве мелкого заполнителя для тяжелых строительных растворов применяют природные пески (кварцевые, полевошпатовые) или искусственные дробленые из плотных горных пород (граниты, известняки и др.).

Для изготовления легких растворов используют пески из пористых пород (пемза, туф, ракушечник) или из искусственных материалов (керамзитовые, перлитовые, аглопоритовые и др.). Во всех случаях размер зерен песка должен превышать 2,5 мм.

### ***1. Принципы подбора ориентировочного состава раствора***

Подбор состава сложного раствора заключается в определении рационального соотношения между составляющими компонентами раствора. При этом раствор рассчитанного состава должен иметь заданную подвижность и прочность через 28 суток.

Исходные данные:

- проектируемая марка раствора ( $R_p$ );
- вид вяжущего (цементно-известковое, цементно-глиняное);

- активность цемента ( $R_{ц}$ );
- подвижность растворной смеси;
- истинная плотность цемента -  $3120 \text{ кг/м}^3$ ;
- насыпная плотность цемента -  $1340 \text{ кг/м}^3$ ;
- плотность теста добавки: известкового –  $1400$ ; глиняного –  $1450 \text{ кг/м}^3$ .

Состав раствора для пробных замесов рассчитывают в следующем порядке: сначала определяют количество цемента на  $1 \text{ м}^3$  песка, необходимое для получения раствора заданной марки, затем устанавливают количество минеральной добавки, необходимое для получения нерасплаивающейся и удобоукладываемой растворной смеси, после этого вычисляют ориентировочный расход воды.

1. Расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  песка, кг:

$$Q_{ц} = \frac{1000 \cdot R_p}{0,7R_{ц}}, \quad (2)$$

где  $R_p$  – проектируемая марка раствора, кгс/см<sup>2</sup>;

$R_{ц}$  – активность цемента, кгс/см<sup>2</sup>.

2. Расход цемента по объему на  $1 \text{ м}^3$  песка, кг:

$$V_{ц} = \frac{Q_{ц}}{\rho_{н.ц.}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{н.ц.}$  – насыпная плотность цемента, кг/м<sup>3</sup>.

3. Расход известкового или глиняного теста по объему на  $1 \text{ м}^3$  песка, м<sup>3</sup>:

$$V_{д} = 0,17 \cdot (1 - 0,002 \cdot Q_{ц}). \quad (4)$$

4. Расход известкового или глиняного теста по массе на  $1 \text{ м}^3$  песка, кг:

$$Q_{д} = V_{д} \cdot \rho_{д}. \quad (5)$$

5. Состав сложного раствора по объему устанавливают путем деления расхода каждого компонента растворной смеси на расход цемента по объему:

$$\frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{д}}{V_{ц}} : \frac{1}{V_{ц}} = 1 : \frac{V_{д}}{V_{ц}} : \frac{1}{V_{ц}}. \quad (6)$$

6. Ориентировочный расход воды на  $1 \text{ м}^3$  песка для получения растворной смеси:

$$B = 0,5 \cdot (Q_{ц} + Q_{д}), \quad (7)$$

где  $Q_{ц}$  и  $Q_{д}$  – расход цемента и добавки на  $1 \text{ м}^3$  песка, кг.

Затем на пробных замесах подбирают смесь с необходимой подвижностью и прочностью.

## ***2. Приготовление пробного замеса***

Для приготовления пробного замеса пересчитывают количество исходных компонентов на 2 л растворной смеси, кг.

Отвешивают компоненты согласно выполненному расчету.

Песок высыпают в чашку, к нему добавляют цемент и тщательно перемешивают в течение 3...5 мин. Затем вводят известковое (или глиняное) тесто и снова перемешивают. После этого добавляют воду и окончательно перемешивают смесь в течение 3...5 мин.

Подвижность растворной смеси определяют по погружению конуса СтройЦНИЛа (рис. 6). Для определения подвижности сосуд наполняют примерно на 1 см ниже его краев. Уложенный раствор штыкуют 25 раз стержнем диаметром 10...12 мм и встряхивают 5...6 раз легким постукиванием сосуда о стол. Острие конуса приводят в соприкосновение с поверхностью раствора и закрепляют стержень в этом положении, отмечая положение стрелки на шкале. Затем дают конусу свободно погружаться в раствор и по окончании погружения конуса записывают второй отсчет по шкале. Глубину погружения конуса в раствор в см определяют как разность между первым и вторым отсчетами. Если фактическое погружение конуса отличается от заданного, то состав раствора корректируют.

Если погружение конуса оказалось большим, чем заданное, то добавляют песок в количестве 5...10% его расхода на опытный замес. Если погружение конуса оказалось меньше заданного, добавляют воду в количестве 5...10% ее расхода на опытный замес. После чего вновь определяют подвижность. Пробный замес корректируют до тех пор, пока подвижность растворной смеси не станет соответствовать заданной.

После корректировки пересчитывают расход исходных компонентов на 1 м<sup>3</sup> песка.



Рис. 6. Прибор для определения подвижности растворной смеси

Из откорректированной растворной смеси готовят контрольные образцы размером 7,07x7,07x7,07 см в количестве 3 шт., по прочности которых через 28 сут. определяют марку раствора и соответствие ее запроектированной.

Для этого (если подвижность бетонной смеси более 5 см) образцы-кубы изготавливают в металлических формах без поддонов, а с подвижностью менее 5 см – в формах с поддоном. Образцы в течение суток хранят в формах при температуре  $20 \pm 2$  °С, при влажности 95...100% - для гидравлических вяжущих и при влажности  $65 \pm 10\%$  - для воздушных вяжущих.

Затем их освобождают из форм, маркируют и до момента испытания хранят в камере нормального твердения 3 сут. с относительной влажностью воздуха 95... 100 %, после чего твердение продолжается на воздухе до момента испытаний.

Испытание контрольных образцов на прочность при сжатии (определение марки) производят на гидравлическом прессе в соответствии с п. 2 лаб. работы "Механические свойства строительных материалов".

За конечный результат принимают среднее арифметическое результатов 3-х испытаний образцов-кубов. По полученным данным устанавливаю марку раствора и ее соответствие запроектированному значению.

Если действительная прочность при сжатии отличается от заданной более чем на 15 %, то следует внести коррективы в состав раствора.

Результаты работы по подбору состава тяжелого бетона представляются в виде табл. 3.

Таблица 3

### Свойства и состав строительного раствора

Состав раствора Ц:Д:П	В	Подвижность, см	Предел прочности при сжатию, МПа	Марка раствора

### Контрольные вопросы

1. Какие этапы включает расчетно-экспериментальный метод подбора состава строительного раствора, какова цель каждого из них?
2. Что такое подвижность и как ее испытывают?
3. Как свойства растворной смеси влияют на ее свойства?
4. От чего зависит марка раствора?

### Лабораторная работа № 3

#### Расчет и подбор состава тяжелого бетона (цементобетона)

*Цель работы:* произвести рациональный расчет бетонной смеси и ее подбор в соответствии с заданными свойствами, приготовить пробный замес и испытать бетон.

*Оборудование и материалы:* пресс гидравлический, весы технические, открытая емкость для перемешивания бетонной смеси, стандартный конус СТРОЙЦНИЛ, штыковка, мерные емкости, 2 линейки, стальные формы 10x10x10 см, портландцемент М400, щебень, песок, вода.

#### Основные понятия

*Бетоном* называется искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной и уплотненной бетонной смеси, которая состоит из вяжущего вещества, воды, заполнителей (песка, щебня или гравия) и в необходимых случаях специальных добавок.

Смесь этих материалов до затвердевания называется *бетонной смесью*.

Бетоны классифицируют по ряду их свойств:

1. По средней плотности бетоны подразделяются:

- особо тяжелые ( $\rho_{cp} > 2500 \text{ кг/м}^3$ ; заполнитель - барит, металл);
- тяжелый ( $\rho_{cp} = 1800...2500 \text{ кг/м}^3$ ; заполнитель - щебень из горной породы или гравия, кварц, песок кварцевый);
- облегченный ( $\rho_{cp} = 1800...2200 \text{ кг/м}^3$ );
- легкий ( $\rho_{cp} = 500...1800 \text{ кг/м}^3$ );
- особо легкий ( $\rho_{cp} < 500 \text{ кг/м}^3$ ).

2. По границе прочности при сжатии образцов размером 150x150x150 мм бетоны подразделяются на марки и классы. *Марка бетона* ( $R_b$ ) характеризуется средним пределом прочности при осевом сжатии (в  $\text{кг/см}^2$ ) двух наиболее прочных из трех бетонных образцов 150x150x150 мм, изготовленных из рабочего состава и испытанных через 28 дней нормального твердения (при  $t^\circ=20\pm 2^\circ\text{C}$  и влажности не ниже 90%). *Класс бетона* - прочность, гарантированная с определенной обеспеченностью:

- особо тяжелые и тяжелые бетоны  
марка бетона  $R_{сж}$  - 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600;  
класс бетона В - 7,5; 10; 15; 20; 22,5; 30; 37,5; 45;
- легкие бетоны  
марка бетона  $R_{сж}$  - 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500;  
класс бетона В - 2,5; 3,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 22,5; 22,5; 37,5.

3. По назначению бетоны бывают следующих видов:

- обычный бетон (для несущих элементов сооружений и конструкций, которые воспринимают механические нагрузки);
- транспортный бетон, в том числе и дорожный (для конструкций и элементов конструкций, которые работают в нестабильных условиях влияния среды и нагрузок: дорожные и аэродромные покрытия, подрельсовые основы, мосты, трубы). Этот бетон имеет высокую морозостойкость, динамическую и усталостную прочность;
- гидротехнический бетон (для эксплуатации в условиях: беспрепятственного изменения влажности, замораживания и оттаивания, а также возможности солевой коррозии);
- облицовочный и отделочный бетон;
- специальные бетоны (для защиты окружающей среды и людей от радиоактивного излучения): кислотостойкий, жароустойчивый и т.п.

4. По виду вяжущего различают:

- а) бетоны на минеральных вяжущих:

- цементный;
- силикатный (с известковым вяжущим);
- с гипсовым вяжущим;
- со смешанным вяжущим;
- б) бетоны на органических вяжущих:
  - асфальтовый;
  - полимербетон (ПЦБ - полимерцементный бетон, ПСБ - полимер-силикатный бетон, БП - бетонополимер, ПБ - полимербетон).

### 1. Принципы подбора ориентировочного состава бетона

Исходные данные:

- проектируемая марка бетона ( $R_{28}$ );
- требуемая удобоукладываемость бетонной смеси (осадка конуса, см или жесткость,  $c$ ); активность цемента ( $R_{ц}$ );
- качество заполнителей (вид, крупность, пустотность, влажность, истинная и насыпная плотность);
- истинная плотность цемента -  $3120 \text{ кг/м}^3$ ;
- насыпная плотность цемента -  $1340 \text{ кг/м}^3$ .

Состав бетона для пробных замесов рассчитывают в следующем порядке [6].

1. Водоцементное отношение В/Ц вычисляют по формулам:

$$\text{В/Ц} = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{б} + 0,5 A \cdot R_{ц}}, \quad \text{для В/Ц} > 0,4 \text{ (обычный бетон);} \quad (8)$$

$$\text{В/Ц} = \frac{A_1 \cdot R_{ц}}{R_{б} + 0,5 A_1 \cdot R_{ц}}, \quad \text{для В/Ц} < 0,4 \text{ (высокопрочный бетон);}$$

(9)

где  $R_{б}$  – марка бетона,  $\text{кгс/см}^2$  (МПа);

$R_{ц}$  – активность цемента,  $\text{кгс/см}^2$  (МПа);

$A$  и  $A_1$  – коэффициенты, учитывающие качество материалов, табл. 4.

Таблица 4

#### Значения коэффициентов $A$ и $A_1$

Заполнители бетона	$A$	$A_1$
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

2. Расход воды (водопотребность  $л/м^3$ ) ориентировочно определяют, исходя из заданной удобоукладываемости бетонной смеси по табл. 5, которая составлена с учетом вида и крупности зерен заполнителя.

Таблица 5

**Водопотребность бетонной смеси**

Удобоукладываемость		Расход воды, $л/м^3$ при наибольшей крупности заполнителя, мм							
Осадка конуса, см	Жесткость, с	Гравий				Щебень			
		10	20	40	70	10	20	40	70
9...12	-	215	200	185	170	230	215	200	185
6...8	-	205	190	175	160	220	205	190	175
3...5	-	195	180	165	150	210	205	180	165
1...2	-	185	170	155	140	200	195	170	155
-	30...50	165	160	150	-	175	185	160	-
-	60...80	155	150	140	-	165	170	150	-
-	90...120	145	140	135	-	160	160	140	-
-	150...200	135	130	128	-	155	145	135	-

*Примечание: Данные табл. 4 справедливы для бетонов с расходом цемента не выше  $400 \text{ кг}/м^3$ . При использовании пуццолановых портландцементов расход воды увеличивается на 15...20 л. При использовании мелкого песка расход воды увеличивается на 10 л.*

3. Находят расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, кг

$$Ц = \frac{В}{В/Ц}, \quad (10)$$

где В – расход воды, л;

В/Ц – водоцементное отношение.

Если расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона окажется ниже допустимого по [7] (табл. 6), то необходимо увеличить его до требуемой нормы или ввести тонкомолотую добавку. Последняя нужна в том случае, когда активность цемента слишком высока для данной марки бетона.



Таблица 6

**Минимальный расход цемента для получения  
нераслаивающейся плотной бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>**

Смесь	Предельная крупность заполнителя, мм			
	10	20	30	40
Особо жесткая	160	150	140	130
Жесткая	180	160	150	140
Малоподвижная	200	180	160	150
Подвижная	220	200	180	160
Литая	250	220	200	180

4. Определяют расход щебня (гравия) кг/м<sup>3</sup>, по формуле:

$$\Pi = \frac{1}{\frac{a \cdot V_{\text{пуст.щ}}}{\rho_{\text{н.щ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{ц}}}}, \quad (11)$$

где  $a$  – коэффициент раздвижки зерен заполнителя (устанавливается по табл. 7);

$V_{\text{пуст. щ}}$  – пустотность крупного заполнителя (выраженная в долях единицы);

$\rho_{\text{н.щ}}$  – насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{ц}}$  – истинная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 7

**Значение коэффициента  $a$**

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент $a$ при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,30	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,40	1,46	-	-	-
500	1,56	-	-	-	-

*Примечание: При других значениях Ц и В/Ц коэффициент  $a$  находят интерполяцией.*

5. Определяют расход песка по формуле, кг/м<sup>3</sup>:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\Pi}{\rho_{\text{ц}}} - \frac{В}{\rho_{\text{в}}} - \frac{\Pi}{\rho_{\text{ц}}}\right) \cdot \rho_{\text{п}}, \quad (12)$$

где  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{п}$  – соответственно истинная плотность цемента и песка, кг/м<sup>3</sup>.

6. Теоретическая средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_{\text{б.см.}} = Ц + В + Щ + П. \quad (13)$$

7. Поправка в расчетный состав бетонной смеси с учетом влажности щебня и песка, кг:

$$П' = П + \frac{П \cdot W_{п}}{100}; \quad (14)$$

$$Щ' = Щ + \frac{Щ \cdot W_{щ}}{100}; \quad (15)$$

$$В' = В - \left( \frac{П \cdot W_{п}}{100} + \frac{Щ \cdot W_{щ}}{100} \right). \quad (16)$$

Результаты расчетов сводят в табл. 8.

Таблица 8

### Расход компонентов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Расчетный состав				Производственный состав			
Ц	В	Щ	П	Ц	В	Щ	П

Коэффициент выхода бетонной смеси производственного состава:

$$\beta = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц}} + \frac{Щ}{\rho_{н.щ}} + \frac{П}{\rho_{н.п}}}. \quad (17)$$

Значение коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах  $\beta = 0,55 \dots 0,75$ . Коэффициент выхода бетонной смеси показывает уменьшение объема бетонной смеси при перемешивании.

## 2. Уточнение расчетного состава бетона пробными замесами

После выполнения расчета состава бетона готовят пробный замес бетонной смеси объемом 10 л и определяют ее подвижность или жесткость.

Все материалы дозируются по массе с погрешностью не более  $\pm 1\%$ , в лабораторном опыте вода может дозироваться по объему.

При приготовлении бетонной смеси нужно придерживаться определенной последовательности операций. Вначале перемешивают в сухом состоянии песок и цемент до получения однородной массы, к ко-

торой необходимо добавлять крупный заполнитель и воду. В результате тщательного смешивания компонентов, обычно в течение 3...5 мин, получают бетонную смесь.

Подвижность бетонной смеси определяют на стандартном конусе, представляющем металлическую форму без дна в виде усеченного конуса высотой 300, диаметром верхнего основания 100 и нижнего – 200 мм (рис. 7).

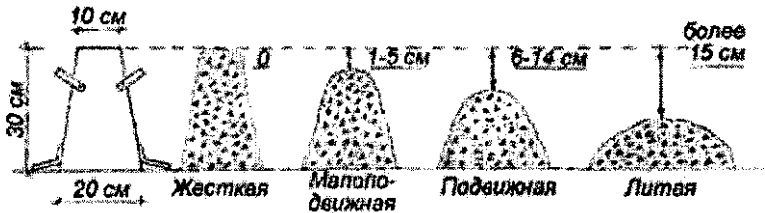


Рис. 7. Определение подвижности бетонной смеси

Форму, предварительно смоченную изнутри водой, устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность, не впитывающую влагу. Заполняют конус бетонной смесью в три слоя. Каждый уложенный слой высотой около 10 см равномерно уплотняют 25-кратным штыкованием стальным стержнем диаметром 16 и длиной 600 мм с закругленными концами.

Избыток смеси срезают мастерком вровень с краями формы, затем форму осторожно снимают, поднимая ее строго по вертикали, и ставят рядом с отформованным бетонным конусом. Бетонная смесь под действием собственной массы оседает. Величину осадки конуса измеряют

линейкой и выражают в сантиметрах. Чем больше осадка конуса, тем более подвижна бетонная смесь.

Если осадка конуса оказалась меньше заданной, то для увеличения подвижности бетонной смеси увеличивают расход цемента и воды на 5...10 % (при неизменном В/Ц). Снова перемешивают, измеряют осадку конуса и так до тех пор, пока не получают требуемый результат. Если в первоначальном измерении осадка конуса оказалась больше требуемой величины, добавляют по 5... 10 % песка и щебня. После введения дополнительных компонентов (если это необходимо) бетонную смесь тщательно перемешивают и вновь определяют подвижность. Таким образом производят корректировку состава до тех пор, пока величина подвижности достигнет заданной.



### **Контрольные вопросы**

2. Какие этапы включает расчетно-экспериментальный метод подбора состава тяжелого бетона, какова цель каждого из них?
3. Преимущества и недостатки бетона как строительного материала?
4. Как свойства бетонной смеси влияют на свойства бетона?
5. От чего зависит прочность бетона?

### Лабораторная работа № 4

#### **Испытание вязких нефтяных битумов**

*Цель работы:* определить основные свойства вязкого битума, оценить его качество.

*Оборудование и материалы:* пенетрометр; дуктилометр; прибор «Кольцо и шар»; прибор для определения температуры хрупкости битума; сушильный шкаф; электроплитка; водяная баня; стеклянная палочка; стальной нож; битум; каменные материалы (измельченный мрамор или кварцевый песок).

#### **Основные понятия**

Качество вязкого битума оценивается путем определения следующих показателей: условной вязкости (глубины проникания иглы в битум), растяжимости, температуры размягчения и температуры хрупкости, характеризующих температурный интервал вязкопластичного состояния битума, степени прилипания к каменному материалу (адгезии), стабильности свойств во времени в результате прогрева битума и др.

Основным показателем, характеризующим марку битума, является *условная вязкость*, однако при этом, испытываемый битум по другим показателям должен соответствовать ГОСТ [18].

Подготовка битума для испытания заключается в его обезвоживании, нагреве до 100...160 °С и процеживании через сито 0,071.

#### **1. Определение условной вязкости битумов**

За показатель условной вязкости принимают глубину проникания стандартной иглы в образец битума под нагрузкой 100 г в течение 5 с

при температуре  $25^{\circ}\text{C}$  и под нагрузкой 200 г в течение 60 с при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ . Условная вязкость битума определяется на пенетрометре (рис. 8).



Рис. 8. Пенетрометр с иглой

Обезвоженный, очищенный битум нагревают до  $100\dots 160^{\circ}\text{C}$  и заливают в металлическую стандартную цилиндрическую чашку (диаметр 55 мм, высота 45 мм) на высоту не менее 30 мм. Чашку с битумом охлаждают на воздухе 60 мин и затем помещают на 60 мин в водяную баню. Температура воды в бане должна быть  $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  или  $0\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  (вода со льдом). Помещают чашку с битумом в плоскодонный сосуд вместимостью не менее 0,5 л, наполненный водой так, чтобы высота воды над поверхностью битума была не менее 10 мм, температура воды в сосуде должна быть  $25\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Устанавливают сосуд с образцом битума на столик пенетрометра и подводят острие иглы к поверхности битума так, чтобы игла слегка касалась ее. Устанавливают стрелку на нуль, нажимают на кнопку прибора и не отпускают ее в течение 5 с, отмечая показания прибора.

Условную вязкость определяют в градусах пенетрации (каждый градус пенетрации соответствует глубине погружения иглы на 0,1 мм).

Повторяют определение вязкости не менее трех раз в различных точках на поверхности образца битума; точки определения берут на расстоянии не менее 10 мм от краев чашки и друг от друга. После каждого определения иглу протирают бензином и вытирают насухо.

При определении условной вязкости при  $0^{\circ}\text{C}$  образец, охлажденный на воздухе 60 мин, выдерживают 60 мин в воде со льдом при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ .

На плунжер прибора надевают дополнительный груз-шайбу массой 100 г или снимают – массой 50 г и дополнительно надевают груз-шайбу массой 150 г. Время погружения иглы – 60 с.

По показателю условной вязкости битум относят к той или иной марке.

## 2. *Определение растяжимости битумов*

*Растяжимость битума* характеризуется способностью образца к максимальному удлинению до момента разрыва сплошности при постоянной скорости деформирования и температуре, которая определяется на образцах битума в форме «восьмерки» и выражается в сантиметрах.

Растяжимость определяют в дуктилометре (рис. 9), который должен обеспечить растяжение 5 см/мин при температуре 25°C и 0,5 см/мин при температуре 0 °С.



Рис. 9. Дуктилометр

Покрывают смазкой внутреннюю сторону вкладышей латунной формы «восьмерки» и поверхность пластины, на которую укладывают формы. Заливают расплавленный битум в три формы «восьмерки» на уровень, несколько выше краев форм. Охлаждают образцы в течение 40 мин на воздухе, после чего горячим ножом срезают излишки битума (вровень с краями формы). Помещают образцы в сосуд с водой (или в ванну дуктилометра) на 60 мин. Вода должна иметь температуру  $25 \pm 0,5$  °С ( $0 \pm 0,1$ °С) при испытаниях. Высота слоя воды над образцами должна быть не менее 25 мм. Через час вынимают образцы из ванны, снимают их с пластин. Устанавливают образцы на штифты дуктилометра и снимают боковые части формы. Дуктилометр должен быть заполнен водой, имеющей температуру испытания битума 25 °С или 0 °С. Включают мотор дуктилометра и растягивают образцы до момента разрыва. В момент разрыва снимают показатели по линейке в сантиметрах.

Показатель растяжимости определяется как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов. Расхождение между ре-

зультатами испытаний не должно превышать 10% среднего арифметического.

### 3. *Определение температуры размягчения*

*Температура размягчения* битума характеризует его переход из упруговязкопластичного состояния в текучее.

Данный показатель определяют на приборе «Кольцо и шар» (рис. 10) в градусах Цельсия.



Рис. 10. Прибор «Кольцо и шар»

Латунные кольца располагают на металлической пластине, предварительно покрытой смазкой, и заливают расплавленным битумом с небольшим избытком. Охлаждают образцы на воздухе в течение 20 мин и срезают горячим ножом избыток битума вровень с краями колец. Устанавливают кольца в прибор «Кольцо и шар» и заливают воду с температурой  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в стакан прибора. Высота слоя воды над поверхностью битума должна быть не менее 50 мм. Образцы выдерживают не менее 15 мин. Вынимают прибор из стакана, укладывают по центру каждого кольца стальной шарик диаметром 9,53 мм и массой 3,5 г и опускают прибор в стакан. После чего воду в стакане начинают подогревать со скоростью  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в минуту. Отмечают температуру, при которой битум под воздействием шарика вытечет из кольца и коснется нижней пластины прибора.

За температуру размягчения принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний при условии, что разница между ними не превышает  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



#### **4. Определение прочности сцепления (адгезии) битума с каменными материалами**

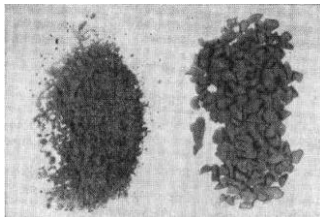
*Адгезия битума* – это прочность его прилипания к каменным материалам. Показателем интенсивности прилипания является способность битума удерживаться на поверхности каменного материала после воздействия на него кипящей воды в течение определенного времени.

В соответствии с ГОСТ [18] определяют сцепление битума с мрамором или песком.

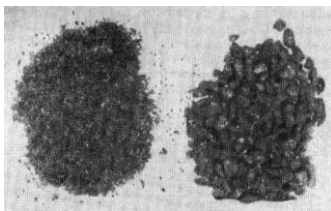
Измельченный мрамор крупностью до 2 мм или кварцевый песок промывают и высушивают в течение 2 ч при температуре 105 °С. Отвешивают в чашку 30 г мрамора или песка, 1,2 г испытуемого битума. Помещают чашку в термостат на 20 мин при температуре 100...120 °С. Перемешивают материалы до полного обволакивания битумом и выдерживают в течение 20 мин при комнатной температуре. В химический стакан вместимостью 250 мл заливают дистиллированную воду и доводят ее до спокойного кипения. Подготовленную смесь помещают на металлическую сетку, которую затем вешают внутри стакана на проволочных дужках, привязанных к окантовке сетки. Сетку со смесью выдерживают в кипящей воде в течение 30 мин. Сетку с испытуемым битумом сразу по окончании кипячения переносят в стакан с холодной водой, где выдерживают в течение 3-5 мин. После этого смесь переносят на бумагу и оценивают прилипание битума к поверхности мрамора или песка.

Битум считают выдержавшим испытание на сцепление с мрамором или песком, если после испытания сцепляемость с минеральным материалом не менее двух параллельных образцов не хуже изображения на рис. 10 соответствующего контрольного образца.

**Контрольный образец № 1** (полное покрытие поверхности минерального материала)



**Контрольный образец № 2** (не менее 3/4 покрытия поверхности минерального материала)



**Контрольный образец № 3** (менее 3/4 покрытия поверхности минерального материала)

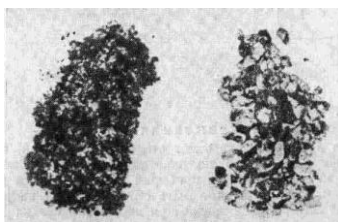


Рис. 11. Контрольные образцы битумоминеральных смесей  
Слева - смеси битума с песком; справа - смеси битума с мрамором

### 5. *Определение температуры хрупкости битума*

*Температура хрупкости* отражает точку перехода битума в хрупкое состояние и определяется на приборе для определения хрупкости битума (рис. 12). Этот аппарат имеет устройство для сгибания стальной пластины, покрытой пленкой битума, а также приспособление для понижения температуры.

На три стальные пластинки наносят по 0,4 г битума и с помощью нагрева и наклона пластинок добиваются равномерного растекания битума. Пластинки с пленкой битума поочередно вставляют в захваты прибора и начинают испытание при температуре не ниже 15 °С. Пластинки изгибаются и распрямляются в приборе с одновременным понижением температуры со скоростью 1 °С в минуту. Отмечают температуру в момент появления первой трещины на битумной пленке.

Аналогичные испытания проводят для других пластинок. За температуру хрупкости принимают среднее арифметическое значение трех определений, округленное до целого числа. Допускаемые расхождения между определениями не должны превышать 3 °С.



Рис. 12. Прибор для определения хрупкости битума

Работу оформляют в виде таблицы по следующей форме.

Таблица 10

### Вязкие битумы

Материал	Глубина проникания по пенетromетру, град. пен.			Растяжимость, см			Температура размягчения, °С			Сцепление	Температура хрупкости, °С		
	1	2	сред. знач.	1	2	сред. знач.	1	2	сред. знач.		1	2	сред. знач.

### Контрольные вопросы

1. Для каких работ применяют органические вяжущие?
2. Что называется битумом?
3. Какие битумы применяют в дорожном строительстве?
4. Чем характеризуется марка вязкого битума? Какие марки вязкого битума вы знаете?
5. По каким основным свойствам оценивают качество вязкого битума?

### Лабораторная работа № 5

#### Испытание асфальтобетона

*Цель работы:* приготовить образцы асфальтобетона для последующего определения его свойств.

*Оборудование и материалы:* весы гидростатические, сосуд, вместимостью 1...3 л, весы технические, вакуум-прибор, термометр химический ртутный стеклянный с ценой деления шкалы 1 °С, 10-тонный гид-

равлический пресс, прибор для определения слеживаемости холодных смесей.

### Основные понятия

*Асфальтобетонная смесь* — рационально подобранная смесь минеральных материалов [щебня (гравия) и песка с минеральным порошком или без него] с битумом, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии.

*Асфальтобетон* — уплотненная асфальтобетонная смесь.

Асфальтобетонные смеси (далее — смеси) и асфальтобетоны в зависимости от вида минеральной составляющей подразделяют на щебеночные, гравийные и песчаные.

Асфальтобетонные смеси (далее - смеси) и асфальтобетоны в зависимости от вида минеральной составляющей подразделяют на:

- щебеночные;
- гравийные;
- песчаные.

Смеси в зависимости от вязкости используемого битума и температуры при укладке подразделяют на:

- горячие, приготовляемые с использованием вязких и жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 120 °С;

- холодные, приготовляемые с использованием жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 5 °С.

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от наибольшего размера минеральных зерен подразделяют на:

- крупнозернистые с размером зерен до 40 мм;
- мелкозернистые – до 20 мм;
- песчаные – до 10 мм.

4.4. Асфальтобетоны в зависимости от величины остаточной пористости подразделяют на виды:

- высокоплотные с остаточной пористостью от 1,0% до 2,5%;
- плотные – св. 2,5% до 5,0%;
- пористые – св. 5,0% до 10,0%;
- высокопористые – св. 10,0%.

4.5. Щебеночные и гравийные горячие смеси и плотные асфальтобетоны в зависимости от содержания в них щебня (гравия) подразделяют на типы:

- А - с содержанием щебня св. 50% до 60%;
- Б - щебня (гравия) св. 40% до 50%;

В - св. 30% до 40%.

Высокоплотные горячие смеси и асфальтобетоны должны содержать щебня свыше 50% до 70%.

Высокопористые асфальтобетонные смеси подразделяют на высокопористые щебеночные и высокопористые песчаные.

Щебеночные и гравийные холодные смеси и асфальтобетоны в зависимости от содержания в них щебня (гравия) подразделяют на типы Бх и Вх.

Горячие и холодные песчаные смеси и асфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяют на типы:

Г и Гх - на песках из отсевов дробления;

Д и Дх - на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления.

### ***1. Приготовление образцов асфальтобетона***

Взвешивают в необходимом количестве (в соответствии с расчетом) предварительно просушенные минеральные материалы, после чего помещают их в металлическую чашку и подогревают до температуры 150...160 °С (при систематическом перемешивании). Затем добавляют обезвоженный битум, предварительно нагретый до температуры 130...150 °С и тщательно перемешивают в течение 10 мин. Общая масса всех составляющих материалов ориентировочно, кг: крупнозернистого асфальтобетона 16... 18; мелкозернистого асфальтобетона 6...7; песчаного асфальтобетона 2...3.

Перемешивание считается достаточным, если все зерна минерального материала равномерно покрыты битумом и в готовой асфальтобетонной смеси нет отдельных сгустков битума.

Из приготовленной асфальтобетонной смеси формируют образцы для испытаний: на сжатие при 50, 20 и 0 °С; определения водонасыщения; определения сопротивления сжатию в водонасыщенном состоянии при 20 °С.

Цилиндрические образцы изготавливают в стальных формах:

для песчаного асфальтобетона  $d = 50,5$  и  $h = 50,5$  мм;

для мелкозернистого асфальтобетона  $d = 71,4$  и  $h = 71,4$  мм;

для крупнозернистого асфальтобетона  $d = 101$  и  $h = 101$  мм.

Формы для изготовления образцов представляют собой полые стальные цилиндры. При уплотнении в них асфальтобетонных смесей должно быть обеспечено двухстороннее приложение нагрузки. Это достигается передачей давления на уплотняемую смесь через два вкладыша, свободно передвигавшихся в форме навстречу друг другу.

Ориентировочное количество смеси для получения одного образца песчаного асфальтобетона - 228...240 г; мелко- и среднезернистого - 625... 680 г; крупнозернистого - 1800... 1950 г.

Количество смеси для каждого образца может быть определено по формуле, г

$$q = \frac{\gamma \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h}{4}, \quad (18)$$

где  $\gamma$  - плотность уплотненной асфальтобетонной смеси, г/см<sup>3</sup>;

$D$  - диаметр формы, см;

$h$  - высота образца, см.

Образцы для асфальтобетона типов В, Г, Д формируют следующим образом: форму со вставленным нижним вкладышем наполняют предварительно взвешенной смесью, нагретой до температуры соответствующей типу смеси и марке битума, равномерно распределяют ее по форме подогретым ножом, после чего вставляют в форму второй (верхний) вкладыш и прессуют под нагрузкой 40 МПа в течение 3 мин.

Образцы из холодной асфальтобетонной смеси готовят в цилиндрических формах диаметром 71,4 мм. В центре нижнего вкладыша высотой 80 мм ввинчен стальной стержень диаметром 3 и длиной 150 мм. В центре верхнего вкладыша высотой 80 мм просверлено сквозное отверстие диаметром 3,5 мм.

Перед уплотнением холодную асфальтобетонную смесь и форму с вкладышами подогревают в термостате до температуры  $(80 \pm 2)$  °С. Форму устанавливают на две подставки высотой 25...30 мм, а нижний вкладыш со стержнем опускают в форму. Навеску асфальтобетонной смеси, нагретой до температуры  $(80 \pm 2)$  °С, засыпают через воронку в форму. Верхний вкладыш вводят в форму таким образом, чтобы стержень свободно вошел в отверстие. Затем, поддерживая форму рукой, нижние подставки убирают, а на верхний вкладыш, устанавливают груз, масса которого вместе с верхним вкладышем должна быть 20 кг, что обеспечивает давление 0,05 МПа. Под указанной нагрузкой асфальтобетонную смесь выдерживают 3 мин, после чего груз снимают, форму поднимают и снимают образцы.

Затем снимают с образца верхний вкладыш, а образец осторожно двумя руками снимают со стержня, укрепленного на нижнем вкладыше, и переносят к месту хранения, где выдерживают при температуре воздуха  $(15 \pm 2)$  °С не менее 4 ч.

Образцы испытывают через 20...42 ч хранения их в помещении при положительных температурах.

## 2. *Определение предела прочности при сжатии при температуре 50, 20, 0 °С*

Сущность метода заключается в определении предела прочности при сжатии образцов асфальтобетона при температурах, имитирующих условия работы асфальтобетонного покрытия.

Предел прочности при сжатии характеризует механическую прочность асфальтобетона и указывает на степень сцепления минеральных зерен, а так же величину внутреннего трения между ними.

При температуре 50 °С определяется температуроустойчивость материала, способность его сопротивляться механическим воздействиям при повышенных температурах, при  $T = 20$  °С - способность сопротивляться при обычных эксплуатационных условиях, при  $T = 0$  °С - трещиностойкость асфальтобетона.

За величину предела прочности при сжатии принимают разрушающую нагрузку, отнесенную к  $1 \text{ см}^2$  первоначальной площади образца.

Перед испытанием образцы термостатируют при заданной температуре:  $(50 \pm 2)$  °С,  $(20 \pm 2)$  °С или  $(0 \pm 2)$  °С. Температуру  $(0 \pm 2)$  °С создают смешением воды со льдом. Образцы из горячих смесей выдерживают при заданной температуре в течение 1 ч в воде.

Предел прочности при сжатии образцов определяют на прессах при скорости движения плиты пресса  $(3,0 \pm 0,3)$  мм/мин.

При использовании гидравлических прессов эту скорость перед проведением испытания следует установить при холостом ходе поршня.

Образец, извлеченный из сосуда для термостатирования, устанавливают в центре нижней плиты пресса, затем опускают верхнюю плиту и останавливают ее выше уровня поверхности образца на  $1,5 \dots 2$  мм. Это же может быть достигнуто соответствующим подъемом нижней плиты пресса. После этого включают электродвигатель пресса и начинают нагружать образец. Для уменьшения потерь теплоты образцов при соприкосновении с плитами между ними прокладывают плотную бумагу.

Максимальное показание силоизмерителя принимают за разрушающую нагрузку.

Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \cdot 10^{-2}, \quad (18)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$F$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца,  $\text{см}^2$ ;

$10^{-2}$  – коэффициент пересчета в МПа.

Расхождение между результатами испытаний отдельных образцов не должно превышать 10 %.

Результаты испытаний образцов заносят в табл. 11.

Таблица 11

### Результаты испытаний образцов

Разрушающая нагрузка $P, П$	Площадь поперечного сечения образца $F, \text{см}^2$	Предел прочности при сжатии, МПа

### 3. Определение водонасыщения асфальтобетона

Водонасыщение асфальтобетона - одна из характеристик его плотности и водостойкости.

Сущность метода заключается в определении количества воды, поглощенной образцом при заданном режиме насыщения.

Водонасыщение выражается в процентах от первоначального объема асфальтобетонного образца или его массы.

Образцы из смесей, взвешенные на воздухе и в воде, помещают в сосуд с водой с температурой  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см.

Сосуд с образцами устанавливают в вакуумную установку, где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (15 мм рт. ст.) в течение 1 ч при испытании образцов из смесей с вязкими органическими вяжущими. Затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой с температурой  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  в течение 30 мин. После этого образцы извлекают из сосуда, взвешивают в воде, обтирают мягкой тканью и взвешивают на воздухе.

Увеличение массы образца соответствует количеству поглощенной образцом воды. Приращение массы образца, отнесенное к первоначальному объему образца, составляет его водонасыщение по объему.

Водонасыщение образца  $W, \%$  вычисляют по формуле для смесей

$$W = \frac{g_3 - g}{g} \cdot 100, \quad (19)$$

где  $g$  – масса образца, взвешенного на воздухе,

$g$ ;

$g_1$  – масса образца, взвешенного в воде,  $g$ ;

$g_2$  – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе,  $g$ ;

$g_3$  – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе,  $g$ .

Результаты испытаний образцов заносят в табл. 12.



Таблица 12

### Результаты испытаний образцов

Масса сухого образца, взвешенного на воздухе $g_1, \text{г}$	Масса того же образца, взвешенного в воде $g_1, \text{г}$	Масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе $g_2, \text{г}$	Масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе $g_3, \text{г}$	Водонасыщение образца $W, \%$

#### 4. Определение коэффициента водостойкости асфальтобетона при длительном водонасыщении

Коэффициент водостойкости показывает, насколько уменьшилась прочность асфальтобетона после водонасыщения и характеризует сопротивление асфальтобетона разрушающему действию воды. Для испытаний используют те же образцы, на которых определено водонасыщение.

Сущность метода заключается в оценке степени падения прочности асфальтобетона после воздействия на него воды в условиях вакуума в течение 1,5 ч.

Асфальтобетонные образцы взвешивают на воздухе и в воде, а затем насыщают водой в вакуум-приборе в течение 1,5 ч.

Образцы вынимают из воды, вытирают фильтровальной бумагой и испытывают на сжатие.

Водостойкость  $K_e$  вычисляют с точностью до второго десятичного знака по формуле

$$K_e = \frac{R_{сж}^e}{R_{сж}^{20}}, \quad (20)$$

где  $R_{сж}^e$  – предел прочности при сжатии при температуре  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  водонасыщенных в вакууме образцов, МПа;

$R_{сж}^{20}$  – предел прочности при сжатии при температуре  $(20 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$  образцов до водонасыщения, МПа.

Характеристикой водостойкости при длительном водонасыщении является степень уменьшения прочности асфальтобетона после воздействия на него воды в течение 15 сут. Этот показатель более достоверно, чем при обычном водонасыщении, отражает действительное поведение материала в покрытии при длительном осеннем увлажнении.

Асфальтобетонные образцы взвешивают на воздухе и в воде и насыщают водой в вакуум-приборе, после чего переносят в другой сосуд с водой, в котором выдерживают в течение 15 сут, температуру воды

поддерживают в пределах  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ . По истечении 15 сут образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и определяют предел прочности при сжатии.

По результатам испытаний вычисляют водостойкость  $K_{\text{вл}}$  после длительного водонасыщения по формуле

$$V = V - \left( \frac{П \cdot W_{\text{п}}}{100} + \frac{Ш \cdot W_{\text{ш}}}{100} \right).$$

где  $R_{\text{сж}}^{60}$  – предел прочности при сжатии при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  образцов после насыщения водой в течение 15 сут, МПа;

$R_{\text{сж}}^{20}$  – предел прочности при сжатии при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  образцов до насыщения водой, МПа.

### Контрольные вопросы

1. Как происходит приготовление асфальтобетона?
2. В каких формах происходит изготовление образцов асфальтобетона?
3. Какие свойства асфальтобетона определены требованиями ГОСТа?
4. Что характеризует предел прочности асфальтобетона при сжатии и от чего зависит этот показатель?
5. Как определяется водонасыщение и коэффициент водостойкости?

## Лабораторная работа № 6

### Испытание древесины

*Цель работы:* произвести испытания древесины, изучить ее строение и свойства.

*Оборудование и материалы:* весы технические, сушильный шкаф, пресс гидравлический, образцы древесины размером  $20 \times 20 \times 30$  мм, штангенциркуль, металлическая линейка, образцы из коллекции для определения пороков древесины.

### Основные понятия

Древесиной называют освобожденную от коры ткань волокон, которая содержится в стволе дерева.

Древесина находит широкое и многообразное применение в строительстве, т.к. обладает редким сочетанием ценных свойств.

Высокая прочность сочетается с малой плотностью, а следовательно, обладает высоким коэффициентом конструктивного качества; высокая упругость способствует гашению вибрации и ударных нагрузок. Древесина морозостойка, не растворяется в воде и органических растворителях, легко обрабатывается, склеивается, хорошо удерживает различные крепления, обладает малой тепло-, звуко- и электропроводностью.

Однако древесина имеет и ряд недостатков, снижающих ее строительные свойства: неоднородность строения (анизотропность), предопределяющую неодинаковость механических, теплотехнических и других свойств в зависимости от направления волокон; наличие пороков; гигроскопичность, приводящую к изменению размеров древесины, короблению и растрескиванию; способность к загниванию и возгоранию.

Эти недостатки устраняют путем химической и химико-механической переработки древесины в плитные и листовые материалы - древесноволокнистые и древесно-стружечные плиты, шпон, фанеру и т.п. Пропитка древесины антисептиками и антипиренами изменяет свойства натуральной древесины, что позволяет получать материалы повышенной био- и огнестойкости, отличающиеся ценными технологическими и эксплуатационными свойствами.

### ***1. Изучение макро- и микроскопического строения древесины***

Знания, полученные при изучении макроscopicого строения древесины, используются для определения породы древесины и ее пороков, качественной характеристики древесного сырья и его пригодности для изготовления различных материалов и изделий.

Макроструктуру древесины изучают на 3-х основных разрезах: поперечном (торцевом) и 2-х продольных - радиальном и тангенциальном (рис. 13).

На поперечном разрезе ствола дерева можно видеть сердцевину, ядро и заболонь. Серцевина - рыхлая первичная ткань, состоящая из тонкостенных клеток, имеет матую прочность и легко загнивает. Ядро или спелая древесина - внутренняя часть ствола, состоящая из омертвевших клеток, пропитанных смолой у хвойных пород и дубильными веществами у лиственных. Древесина ядровой части ствола обладает большей прочностью и стойкостью к загниванию по сравнению с древесной заболонью. Движение влаги по этим каналам прекращается. Заболонь - молодая древесина, которая окружает ядро. По живым клеткам заболони перемещается влага, с растворенными питательными веществами. Заболонь имеет большую влажность, легко загнивает,

вследствие значительной усушки усиливает коробление пиломатериалов.

Древесина окружена корой, состоящей из наружной части корки и внутренней - луба. Между древесиной и лубом располагается камбий - тонкий слой, состоящий из живых клеток, размножающихся делением. Камбий имеет микроскопическую толщину и поэтому невидим невооруженным глазом. В слое камбия к центру дерева откладываются клетки древесины, а в сторону луба - лубяные.

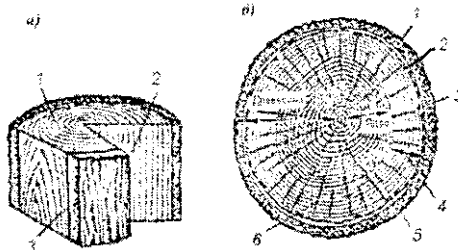


Рис. 13. Строение ствола дерева:

а - основные разрезы ствола: 1 - поперечный (торцевой); 2 - радиальный; 3 - тангенциальный; б - строение ствола дерева на поперечном разрезе: 1 - кора; 2 — камбий; 3 — луб; 4 -заболонь; 5 - сердцевина; 6 - сердцевинные лучи

Микроструктура древесины - это строение древесины, видимое при значительном увеличении. Под микроскопом можно увидеть, что древесина состоит из клеток веретенообразной формы, вытянутых вдоль ствола. (Некоторое количество клеток вытянуто в горизонтальном направлении). Каждая клетка имеет наружную часть - оболочку (стенку) и внутреннюю - полость. В оболочке клетки имеются утолщенные места, или поры, служащие для сообщения между клетками.

Клетки древесины по форме можно разделить на две основные группы: паренхимные и прозенхимные. Паренхимные - тонкостенные округлые или многогранные с примерно одинаковыми размерами по трем направлениям, составляющими от 10 до 100 мкм. Прозенхимные - сильно вытянутые в длину наподобие волокна, часто с утолщенной оболочкой, их поперечный размер составляет от 10 до 70 мкм, длина - от 1000 до 8000 мкм.

Одинаковые по форме и функциям группы клеток объединяются в ткани, имеющие различное назначение в жизни дерева: механические, проводящие и запасающие.

## **2. Физические свойства древесины**

К физическим свойствам древесины относят плотность древесного вещества, среднюю плотность, влажность и связанные с ней изменения - усушку, разбухание, растрескивание и коробление. Кроме того, к физическим свойствам относятся электро-, звуко- и теплопроводность. На лабораторных занятиях ограничиваются определением влажности, плотности, усушки древесины.

### **2.1. Определение влажности**

Древесина, имея волокнистое строение и большую пористость, обладает огромной внутренней поверхностью, которая сорбирует водяные пары из воздуха. Способность древесины изменять влажность в зависимости от температурно-влажностного состояния окружающего воздуха называется гигроскопичностью. Древесина при этом приобретает равновесную влажность.

По содержанию влаги различают: мокрую древесину - с влажностью около 100 % и более; свежесрубленную - 35 % и выше; воздушно-сухую - 15...20 %; комнатную - 8...12 % и абсолютно сухую древесину, высушенную до постоянной массы при температуре  $103 \pm 2$  °С. Стандартной считается влажность древесины 12 %, при которой определяют и сравнивают ее свойства.

В древесине различают связанную, или гигроскопическую влагу, находящуюся в стенках клеток, и свободную, или капиллярную влагу, которая заполняет полости клеток и межклеточное пространство.

Связанная влага, покрывая поверхность мельчайших частиц в стенках клеток водяными оболочками, раздвигает их. При этом, объем и масса древесины увеличиваются, а прочность древесины снижается. Свободная влага накапливается в полостях клеток, существенно не изменяет расстояния между элементами древесины и поэтому не влияет на ее объем и прочность, увеличивая лишь массу и теплопроводность.

Состояние древесины, при котором отсутствует свободная влага, а клеточные оболочки при данной температуре содержат максимальное количество связанной влаги, называется пределом гигроскопичности  $W_{пр}$  или пределом насыщения клеточных оболочек  $W_{ин}$ . В среднем он составляет 30 %.

## 2.2. Определение плотности

Сущность метода заключается в определении при соответствующей влажности древесины массы и объема образца и вычислении показателей плотности.

Плотность материала характеризуется отношением массы тела к объему, поэтому плотность древесины должна представлять собой именно объемную массу, а не объемный вес. Плотность древесинного вещества, которое образует оболочки клеток, мало зависит от породы; это объясняется практически одинаковым химическим составом древесины различных пород. Относительная плотность древесинного вещества представляет собой безразмерную величину, равную отношению плотности  $\rho_d$  совокупности веществ, слагающих клеточную оболочку, к плотности воды при 3,98° С.

Плотность древесины определяют при ее влажности в момент исследования и в абсолютно сухом состоянии.

Определение плотности древесины при влажности в момент исследования выполняется на образцах 20 × 20 × 30 мм (последний размер вдоль волокон). Образцы должны иметь прямые углы и гладкие поверхности. Размеры поперечного сечения и длину (а, b и l) измеряют штангенциркулем по осям симметрии образцов. Объем образца вычисляют с точностью до 0,01 см<sup>3</sup>. Сразу после измерений образец взвешивают и вычисляют плотность по формуле:

$$\rho_m(W) = \frac{m_w}{V_w}, \quad (22)$$

где  $m_w$  – масса образца при влажности W, г;

$V_w$  – объем образца при влажности W, см<sup>3</sup>.

Найденную плотность пересчитывают на стандартную (12%) влажность древесины:

$$\rho_m(12) = \rho_m(W) \cdot (1 + 0,01 \cdot (1 - k_o) - (12 - W)), \quad (23)$$

где  $k_o$  – коэффициент объемного высушивания, %;

W – влажность.

Если не определялся коэффициент объемного высушивания, то при пересчете для бука, березы и лиственницы значение его принимают равным 0,6, а для других пород древесины – 0,5.

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии определяется на образцах размером 20 × 20 × 30 мм (последний размер

вдоль волокон). Образцы высушивают в течение трех часов при температуре 50-60 ° С. После этого образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре  $103 \pm 2$  °С до постоянной массы. Высушенные образцы взвешивают и измеряют штангенциркулем размеры поперечного сечения ( $a_0$ ,  $b_0$ ) и длину 10 по всем осям симметрии образцов.

### 2.3. Определение усушки

Уменьшение линейных размеров и объёма древесины при удалении из неё связанной воды называется усушкой. Удаление свободной воды не вызывает усушки. Усушка древесины не одинакова в разных направлениях: в тангенциальном направлении в 1,5 - 2 раза больше, чем в радиальном.

Под полной усушкой, или максимальной усушкой  $V_{\max}$  понимают уменьшение линейных размеров и объёма древесины при удалении всего количества связанной воды. Формула для вычисления полной усушки, %, имеет вид:

$$V_{\max} = \frac{(a_{\max} - a_{\min})}{a_{\max}} \cdot 100\%, \quad (24)$$

где  $a_{\max}$  и  $a_{\min}$  – размер (объём) образца соответственно при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок и в абсолютно-сухом состоянии, мм ( $\text{мм}^3$ ).

Полная линейная усушка древесины наиболее распространённых отечественных пород в тангенциальном направлении составляет 8-10 %, в радиальном 3-7 %, а вдоль волокон 0,1-0,3 %. Полная объёмная усушка находится в пределах 11-17 %. Усушка древесины учитывается при распиловке брёвен на доски (припуски на усадку), при сушке пиломатериалов и т.д.

Внутренние напряжения возникают в древесине без участия внешних нагрузок. Они образуются в результате неодинаковых изменений объёма тела при сушке - сушильные напряжения, пропитке и в процессе роста дерева. Полные сушильные напряжения удобно как совокупность двух составляющих - влажностных и остаточных напряжений.

Влажностные напряжения вызваны неоднородной усушкой материала. В поверхностных зонах доски, где влажность ниже, чем в центре, из-за стеснения свободной усушки возникают растягивающие напряжения, а внутри доски - сжимающие. Остаточные напряжения обусловлены появлением в древесине неоднородных остаточных деформаций. Остаточные напряжения в отличие от влажностных не исчеза-

ют при выравнивании влажности в доске и наблюдаются как во время сушки, так и после её полного завершения.

Если растягивающие напряжения достигают предела прочности древесины на растяжение поперёк волокон, появляются трещины. Так появляются поверхностные трещины в начале сушки и внутренние в конце сушки.

### 3. Пороки древесины

Изменения внешнего вида, нарушения правильности строения, целостности тканей и другие недостатки, снижающие качество древесины и ограничивающие возможности её практического использования, называются пороками древесины.

Согласно ГОСТ 2140-81 все пороки разделены на девять групп:

- 1 — сучки;
- 2 — трещины;
- 3 — пороки формы ствола;
- 4 — пороки строения древесины;
- 5 — химические окраски;
- 6 — грибные поражения;
- 7 — биологические повреждения;
- 8 — инородные включения, механические повреждения и пороки обработки;
- 9 — покоробленности.



Рис. 14. Пороки древесины



В каждую группу входят несколько видов пороков, для некоторых пороков указаны их разновидности. Часть пороков характерна только для круглых лесоматериалов (брёвен и др.), другие пороки свойственны только пилопродукции (доскам, брусьям, заготовкам) или шпону. Есть пороки, которые встречаются у двух или всех трёх классов сортиментов.

### Контрольные вопросы

1. Что такое древесина?
2. Укажите достоинства и недостатки древесины.
3. Какие свойства древесины определены требованиями ГОСТа?
4. Что характеризует усушка древесины и от чего зависит этот показатель?
5. Перечислите пороки древесины.

### Лабораторная работа № 7

#### Испытание металла

*Цель работы:* произвести испытания металла, изучить его строение и свойства.

*Оборудование и материалы:* весы технические, сушильный шкаф, пресс гидравлический, образцы металла, штангенциркуль, металлическая линейка, образцы проката металла.

#### Основные понятия

Цель испытания металла состоит в том, чтобы оценить качество материала, определить его механические и эксплуатационные характеристики и выявить причины потери прочности. **Химические методы.** Химические испытания обычно состоят в том, что стандартными методами качественного и количественного химического анализа определяется состав материала и устанавливается наличие или отсутствие нежелательных и легирующих примесей. Они нередко дополняются оценкой стойкости материалов, в частности с покрытиями, к коррозии под действием химических реагентов. При макротравлении поверхность металлических материалов, особенно легированных сталей, подвергают селективному воздействию химиче-

ских растворов для выявления пористости, сегрегации, линий скольжения, включений, а также гросс-структуры. Присутствие серы и фосфора во многих сплавах удается обнаружить методом контактных отпечатков, при котором поверхность металла прижимается к сенсibilизированной фотобумаге. С помощью специальных химических растворов оценивается подверженность материалов сезонному растрескиванию. Проба на искру позволяет быстро определить тип исследуемой стали. Методы спектроскопического анализа особенно ценны тем, что позволяют оперативно проводить качественное определение малых количеств примесей, которые невозможно обнаружить другими химическими методами. Такие многоканальные приборы с фотоэлектрической регистрацией, как квантометры, полихроматоры и квантоваки, автоматически анализируют спектр металлического образца, после чего индикаторное устройство указывает содержание каждого присутствующего металла.

**Механические методы.** Механические испытания обычно проводят для выяснения поведения материала в определенном напряженном состоянии. Такие испытания дают важную информацию о прочности и пластичности металла. В дополнение к стандартным видам испытаний может применяться специально разработанное оборудование, воспроизводящее те или иные специфические условия эксплуатации изделия. Механические испытания могут проводиться в условиях либо постепенного приложения напряжений (статической нагрузки), либо ударного нагружения (динамической нагрузки).

**Виды напряжений.** По характеру действия напряжения разделяются на растягивающие, сжимающие и сдвиговые. Скручивающие моменты вызывают особый вид сдвиговых напряжений, а изгибающие моменты - сочетание растягивающих и сжимающих напряжений (обычно при наличии сдвиговых). Все эти различные виды напряжений могут быть созданы в образце с помощью стандартного оборудования, позволяющего определять предельно допустимые и разрушающие напряжения.

**Испытания на растяжение.** Это - один из самых распространенных видов механических испытаний. Тщательно подготовленный образец помещают в захваты мощной машины, которая прикладывает к нему растягивающие усилия. Регистрируется удлинение, соответствующее каждому значению растягивающего напряжения. По этим данным может быть построена диаграмма напряжение - деформация. При малых напряжениях заданное увеличение напряжения вызывает лишь небольшое увеличение деформации, соответствующее упругому поведению металла. Наклон линии напряжение - деформация служит

мерой модуля упругости, пока не будет достигнут предел упругости. Выше предела упругости начинается пластическое течение металла; удлинение быстро увеличивается до разрушения материала. Предел прочности при растяжении - это максимальное напряжение, которое металл выдерживает в ходе испытания.

**Испытания на ударную вязкость.** Один из самых важных видов динамических испытаний - испытания на ударную вязкость, которые проводятся на маятниковых копрах с образцами, имеющими надрез, или без надреза. По весу маятника, его начальной высоте и высоте подъема после разрушения образца вычисляют соответствующую работу удара (методы Шарпи и Изода).

**Испытания на усталость.** Такие испытания имеют целью исследование поведения металла при циклическом приложении нагрузок и определение предела выносливости материала, т.е. напряжения, ниже которого материал не разрушается после заданного числа циклов нагружения. Чаще всего применяется машина для испытания на усталость при изгибе. При этом наружные волокна цилиндрического образца подвергаются действию циклически меняющихся напряжений - то растягивающих, то сжимающих.

**Испытания на глубокую вытяжку.** Образец листового металла зажимается между двумя кольцами, и в него вдавливаются шаровой пуансон. Глубина вдавливания и время до разрушения являются показателями пластичности материала.

**Испытания на ползучесть.** В таких испытаниях оценивается совместное влияние длительного приложения нагрузки и повышенной температуры на пластическое поведение материалов при напряжениях, не превышающих предела текучести, определяемого в испытаниях малой длительности. Надежные результаты могут быть получены лишь на оборудовании, обеспечивающем точный контроль за температурой образца и точное измерение очень малых изменений размеров. Длительность испытаний на ползучесть обычно составляет несколько тысяч часов.

**Определение твердости.** Твердость чаще всего измеряют методами Роквелла и Бринелля, при которых мерой твердости служит глубина вдавливания "индентора" (наконечника) определенной формы под действием известной нагрузки. На склероскопе Шора твердость определяется по отскоку бойка с алмазным наконечником, падающего с определенной высоты на поверхность образца. Твердость - очень хороший показатель физического состояния металла. По твердости данного металла зачастую можно с уверенностью судить о его внутренней структуре. Испытания на твердость часто берут на вооружение отделы

технического контроля на производствах. В тех случаях, когда одной из операций является термообработка, нередко предусматривается сплошной контроль на твердость всей продукции, выходящей с автоматической линии. Такой контроль качества невозможно осуществить другими описанными выше методами механических испытаний.

**Испытания на излом.** В таких испытаниях образец с шейкой разрушают резким ударом, а затем излом исследуют под микроскопом, выявляя поры, включения, волосовины, флокены и сегрегацию. Подобные испытания позволяют приблизительно оценить размер зерна, толщину закаленного слоя, глубину цементации или разуглероживания и другие элементы gross-структуры в сталях.

**Оптические и физические методы.** Микроскопическое исследование. Металлургический и (в меньшей степени) поляризационный микроскопы часто позволяют надежно судить о качестве материала и его пригодности для рассматриваемого вида применения. При этом удается определить структурные характеристики, в частности размеры и форму зерен, фазовые соотношения, наличие и распределение диспергированных инородных материалов.

**Радиографический контроль.** Жесткое рентгеновское или гамма-излучение направляется на испытываемую деталь с одной стороны и регистрируется на фотопленке, расположенной по другую сторону. На полученной теневой рентгено- или гаммаграмме выявляются такие несовершенства, как поры, сегрегация и трещины. Произведя облучение в двух разных направлениях, можно определить точное расположение дефекта. Такой метод часто применяется для контроля качества сварных швов.

**Магнитно-порошковый контроль.** Этот метод контроля пригоден лишь для ферромагнитных металлов - железа, никеля, кобальта - и их сплавов. Чаще всего он применяется для сталей: некоторые виды поверхностных и внутренних дефектов удается выявить нанесением магнитного порошка на предварительно намагниченный образец.

**Ультразвуковой контроль.** Если в металл послать короткий импульс ультразвука, то он частично отразится от внутреннего дефекта - трещины или включения. Отраженные ультразвуковые сигналы регистрируются приемным преобразователем, усиливаются и представляются на экране электронного осциллографа. По измеренному времени их прихода к поверхности можно вычислить глубину дефекта, от которого отразился сигнал, если известна скорость звука в данном металле. Контроль проводится весьма быстро и зачастую не требует выведения детали из эксплуатации.

**Специальные методы.** Существует ряд специализированных методов контроля, имеющих ограниченную применимость. К ним относится, например, метод прослушивания со стетоскопом, основанный на изменении вибрационных характеристик материала при наличии внутренних дефектов. Иногда проводят испытания на циклическую вязкость для определения демпфирующей способности материала, т.е. его способности поглощать вибрации. Она оценивается по работе, превращающейся в теплоту в единице объема материала за один полный цикл обращения напряжения. Инженеру, занимающемуся проектированием строений и машин, подверженных вибрациям, важно знать демпфирующую способность конструкционных материалов.

**Прокат** в металлургии — продукция, получаемая на прокатных станах путём горячей, теплой или холодной прокатки.

**Сортамент** — совокупность прокатных профилей, отличающихся по форме и размерам.

**Профиль** — форма поперечного сечения прокатного изделия.

1. **листовой** (лист, полоса (рулон), штрипс):
  - горячекатаные тонкие (толщина до 4 мм);
  - горячекатаные толстые (толщина свыше 4 мм);
  - холоднокатаные;
  - Профнастил — это стеновой или кровельный материал для наружных ограждений, стен и крыш.
2. **сортовой**:
  - простой (круг, квадрат, шестигранник, полоса плоского сечения);
  - арматура — это изделие из металла, применяемое для армирования железобетонных конструкций;
3. **фасонный**:
  - общего (массового) потребления (угловой профиль, швеллеры, двутавровые балки и другие);
  - специального назначения (рельсы железнодорожные широкой и узкой колеи, рельсы трамвайные, профили с/х машиностроения, судостроения, нефтяной и электропромышленности).

По размеру профиля сортовой прокат делится на:

- **крупный** — круглая сталь диаметром 80-250 мм, квадратная сталь со стороной 70-200 мм, периодические арматурные профили № 70-80, угловая сталь с шириной полок 90-250 мм, швеллеры и двутавровые балки обычные и облегченные высотой 360—600 мм, специальные широкополочные двутавры и колонные профили высотой до 1000 мм, шестигранная сталь до № 100, рельсы железнодорожные длины 1 м с массой 43-75 кг, полосовая сталь шириной до 250 мм и др.;

– **средний** — круглые диаметра 32-75 мм, квадратные со стороной 32-65 мм и шестигранные до № 70, стальной периодический арматурный профиль № 32-60, двутавровые балки высотой до 300 мм, швеллеры высотой от 100—300 мм, рельсы узкой колеи Р18-Р24, штрипсы сечением до 8×145 мм, разнообразные фасонные профили отраслевого назначения и др;

– **мелкий** — круглая сталь диаметром 10-30 мм, квадратная сталь со стороной 8-10 мм, периодический арматурный профиль № 6-28, угловая сталь с шириной полок 20-50 мм, швеллеры № 5-8, полосовая сталь шириной до 60 мм, шестигранная сталь до № 30 и разнообразные фасонные профили отраслевого назначения эквивалентных размеров.

По типу обработки поверхности прокат делится на:

- шлифованный;
- зеркальный;
- калиброванный;
- матовый.

Металлические изделия, изготовленные с помощью прокатки нагретой до определённой температуры металлической заготовки.

Виды Металлопроката

- Плоский прокат: рулонная сталь, листовая сталь, жёсть, лента и прочее.
- Сортовой прокат: арматура, катанка, круг, квадрат, полоса, шестигранник, шары помольные и другие виды проката, у которых касательная к любой точке периметра его поперечного сечения данное сечение не пересекает.
- Фасонный прокат: угловой прокат, швеллер, балка двутавровая, рельсы, специальные профили для судостроения и другие виды проката, у которых касательная хотя бы к одной точке периметра поперечного сечения пересекает данное сечение.

Металлопрокат может изготавливаться из чёрной стали, легированной, нержавеющей, меди, алюминия и других металлов.

### Контрольные вопросы

1. Что такое металл?
2. Укажите достоинства и недостатки металла.
3. Какие свойства металла определены требованиями ГОСТа?
4. Основные характеристики металла, прокат, сортамент?

### Библиографический список

1. *Горчаков Г.И., Баженов М.Ю.* Строительные материалы: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
2. Строительные материалы: Учеб. для вузов / Под общей ред. В.Г. Микульского. – М.: Изд-во АСВ, 1996. – 488 с.
3. *Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М.* Технология производства строительных материалов: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 466 с.
4. *Гридчин А.М.* Дорожно-строительные материалы из отходов промышленности: Учеб. пособие. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1997. – 204 с.
5. *Попов Л.Н.* Лабораторный практикум по предмету «Строительные материалы и детали»: Учеб. пособие. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
6. Лабораторный практикум по строительным материалам: учебное пособие / А.М. Гридчин, В.С. Лесовик. С.А. Погорелов и др. – Белгород: Изд-во БИИММАП, 2001. – 223 с.
7. ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М.: МНТКС, 1987. – с.
8. ГОСТ 22688-77 Известь строительная. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1977. – с.
9. ГОСТ 23789-79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1980. – с.
10. ГОСТ 7025-91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – М.: МНТКС, 1991.
11. ГОСТ 310.2-76, ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81 Цементы. методы испытаний. – М.: МНТКС, 1994.
12. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: МНТКС, 2003.
13. ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
14. ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия. – М.: МНТКС, 1998.
15. ГОСТ 8269-87 Щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1993.
16. ГОСТ 7392-2002 Щебень из плотных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. – М.: МНТКС, 2003.

17. ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: МНТКС, 1992.
18. ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – М.: МНТКС, 1992.
19. ГОСТ 9128-2009 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – М.: МНТКС, 2010.
20. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов. Л., 1980.

## Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Испытание цемента.....	5
Лабораторная работа № 2. Расчет и подбор состава строительного раствора.....	14
Лабораторная работа № 3. Расчет и подбор состава тяжелого бетона (цементобетона).....	20
Лабораторная работа № 4. Испытание вязких нефтяных битумов.....	28
Лабораторная работа № 5. Испытание асфальтобетона.....	34
Лабораторная работа № 6. Испытание древесины.....	41
Лабораторная работа № 7. Испытание металла.....	48
Библиографический список.....	54



Учебное издание

**Материаловедение и технология конструкционных  
материалов. Часть II**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог,  
мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог  
промышленного транспорта»

Составители: Духовный Георгий Самуилович  
Селицкая Наталья Владимировна  
Сачкова Алиса Вадимовна

Подписано в печать      Формат 60×84/16. Усл.печ.л.      Уч.-изд.л.

Тираж 65 экз.      Заказ      Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46