

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра технологии  
строительных материалов, изделий и конструкций

**С.В. Черкасов, А.М. Усачев,**

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

*Рекомендовано научно-методическим советом  
Воронежского ГАСУ  
в качестве учебного пособия  
для бакалавров направления «Строительство»*

Воронеж 2015

УДК 620.22, 691.1 (07)  
ББК 38.3

**Черкасов С.В.**  
Ч-495 **Строительные материалы:** учеб. пособие / С.В. Черкасов,  
А.М. Усачев; Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2015. – 137  
с.

Содержит лабораторные работы по проектированию составов композиционных строительных материалов и изделий.

Предназначено для бакалавров направления «Строительство».

Табл. 10. Библиогр.: 7 назв.

УДК 620.22, 691.1 (07)  
ББК 38.3

**Рецензенты:** кафедра технологии вяжущих веществ, бетонов и керамики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства;  
кафедра строительного материаловедения и технологии Братского государственного университета  
В.В. Кулаков, директор ООО «ЮгоВостокСтройМеханизация»

ISBN 978-5-89040-348-3 © Черкасов С.В., Усачев А.М. 2015  
© Воронежский ГАСУ, 2015

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ПОДБОР СОСТАВА СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

#### 1.1. Общие сведения

**Строительным раствором** называют искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, мелкого заполнителя, воды и в необходимых случаях различных добавок (минеральных, поверхностно-активных, химических и др.).

Смесь этих материалов до затвердевания называют **растворной смесью**.

Строительные растворы классифицируют по назначению, по виду вяжущего, по средней плотности, пределу прочности при сжатии и морозостойкости.

1) По назначению растворы подразделяют на:

- *кладочные* для кладки стен, фундаментов из кирпича, бутового камня, бетонных и кирпичных блоков, для монтажных работ;
- *отделочные*, используемые для штукатурных работ, нанесения декоративных покрытий, изготовления монолитных архитектурных деталей и рельефов;
- *специальные*, к которым относятся гидроизоляционные, тампонажные, кислотоупорные, жаростойкие, термоизоляционные, акустические, рентгенозащитные и др.

2) По виду вяжущего растворы разделяются на:

- *простые*, изготавливаемые на одном вяжущем (цементные, известковые, гипсовые);
- *сложные*, изготавливаемые на смешанных вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

3) По средней плотности строительные растворы разделяются на:

- *тяжелые*, средней плотностью  $1500 \text{ кг/м}^3$  и более, изготавливаемые на обычном кварцевом песке;
- *легкие*, средней плотностью менее  $1500 \text{ кг/м}^3$ , изготавливаемые на пористых заполнителях (пористые пески, туф, пемза, шлак) или путем поризации вяжущего теста.

4) По пределу прочности на сжатие растворы разделяются на марки, представленные в табл. 1.1.

Таблица 1.1

## Марки строительного раствора по прочности

Марка раствора	Вид вяжущего	Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее
<b>4</b>	Воздушная, гидравлическая известь, известково-пуццолановые, известково-золевые вяжущие	0,4 (4)
<b>10</b>		1,0 (10)
<b>25</b>	Известково-шлаковые вяжущие, портландцемент, шлакопортландцемент, пластифицированный и гидрофобный портландцемент, пуццолановый портландцемент	2,5 (25)
<b>50</b>		5,0 (50)
<b>75</b>		7,5 (75)
<b>100</b>		10,0 (100)
<b>150</b>		15,0 (150)
<b>200</b>		20,0 (200)
<b>300</b>		30,0 (300)

5) По показателю морозостойкости растворы делятся на марки: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

Основными свойствами затвердевшего раствора являются прочность на сжатие, морозостойкость, средняя плотность, долговечность.

Основными показателями качества растворной смеси являются подвижность, водоудерживающая способность и расслаиваемость.

Подвижность – это способность растворной смеси растекаться под действием сил собственного веса или приложенных внешних сил. По величине подвижности растворы делятся на марки, представленные в табл. 1.2.

Таблица 1.2

## Марка раствора по подвижности

Марка по подвижности	Норма подвижности по погружению конуса, см
П <sub>к</sub> 1	1...4
П <sub>к</sub> 2	4...8
П <sub>к</sub> 3	8...12
П <sub>к</sub> 4	12...14

Расслаиваемость – это свойство растворной смеси, характеризующее связность ее составляющих при вибрационных воздействиях.

Водоудерживающая способность - способность растворной смеси удерживать в себе воду при интенсивном отсосе ее пористым основанием.

Подобрать (рассчитать) состав раствора это значит определить оптимальное соотношение между всеми составляющими для получения раствора с необходимыми физико-механическими свойствами.

Подбор состава раствора производят с учетом назначения раствора, его марки, условий эксплуатации, а также подвижности растворной смеси, выбираемой в зависимости от назначения раствора и условий его укладки.

Подбор состава строительного раствора включает 5 этапов. На первом этапе устанавливается назначение раствора, на втором - осуществляется выбор

сырьевых компонентов, на третьем - делается расчет ориентировочного состава, на четвертом – подбирается нужная подвижность смеси и на пятом – достигается требуемая марка раствора.

## 1.2. Цель работы

Ознакомиться с методикой подбора состава сложного строительного раствора, оценкой некоторых качественных показателей растворной смеси и раствора.

## 1.3. Порядок выполнения работы

### 1.3.1. Назначение раствора

В зависимости от назначения раствора устанавливаются подвижности растворной смеси (табл. 1.3) и марки раствора (табл. 1.4).

Таблица 1.3

Подвижность растворной смеси в зависимости от назначения раствора

Основное назначение раствора	Глубина погружения конуса, см	Марка по подвижност и $P_k$
<b>Кладочные:</b>		
Для бутовой кладки:		
- вибрированной	1...3	$P_{к1}$
- невибрированной	4...6	$P_{к2}$
Для кладки из пустотелого кирпича или керамических камней	7...8	$P_{к2}$
Для кладки из полнотелого кирпича; керамических камней; бетонных камней или камней из легких пород	8...12	$P_{к3}$
Для заливки пустот в кладке и подачи растворонасосом	13...15	$P_{к4}$
Для устройства постели при монтаже стен из крупных бетонных блоков и панелей; расшивок горизонтальных и вертикальных швов в стенах из панелей и крупных бетонных блоков	5...7	$P_{к2}$
<b>Отделочные:</b>		
Для крепления плит из природного камня и керамической плитки по готовой кирпичной стене	6...8	$P_{к2}$
Для крепления облицовочных изделий легкобетонных панелей и блоков в заводских условиях		
<b>Специальные</b>		
Раствор для грунта	7...8	$P_{к2}$
Раствор для набрызга:		
- при ручном нанесении	8...12	$P_{к3}$
- при механизированном способе нанесения	9...14	$P_{к4}$
Раствор для накрывки:		
- без применения гипса	7...8	$P_{к2}$
- с применением гипса	9...12	$P_{к3}$

Таблица 1.4

## Марка строительного раствора в зависимости от назначения

№	Область применения раствора	Марка
1	Кладка стен зданий (в зависимости от их этажности и влажности воздуха в помещениях)	4...150
2	Кладка столбов, простенков, рядовых перемычек, карнизов	25...150
3	Заполнение горизонтальных швов при монтаже стен из легких бетонных панелей, не менее	50
4	Расшивка горизонтальных и вертикальных швов в стенах из крупных блоков, не менее	50

## 1.3.2. Выбор сырьевых материалов

Выбор вяжущих материалов при приготовлении растворов следует производить с учетом назначения и марки раствора, а также условий эксплуатации конструкции (табл. 1.5).

Таблица 1.5

## Рекомендации к выбору вяжущих при приготовлении растворов

Рекомендуется к применению	Допускается к применению
<b>1. Для наземных конструкций при относительной влажности воздуха в помещениях не выше 60 % и для фундаментов, возводимых в маловлажных грунтах</b>	
<b>Марка раствора 25 и выше</b>	
Портландцемент, пластифицированный и гидрофобный портландцемент, шлакопортландцемент	Пуццолановый портландцемент, известково-шлаковые вяжущие
<b>Марка раствора 10 и ниже</b>	
Известь гидравлическая, известково-шлаковые вяжущие	Известково-пуццолановые и известково-золевые вяжущие
<b>2. Для наземных конструкций при относительной влажности воздуха в помещениях свыше 60 % и для фундаментов, возводимых во влажных грунтах</b>	
<b>Марка раствора 25 и выше</b>	
Пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент, пластифицированный и гидрофобный портландцемент	Известково-шлаковые вяжущие
<b>Марка раствора 10 и ниже</b>	
Известково-шлаковые вяжущие	Известково-пуццолановые и известково-золевые вяжущие, известь гидравлическая
<b>3. Для фундаментов при действии агрессивных сульфатных вод (независимо от марки)</b>	
Сульфатостойкий портландцемент	Пуццолановый портландцемент
<b>4. Для монтажа крупноблочных и крупнопанельных бетонных и каменных стен</b>	
<b>Марка раствора 25 и выше</b>	
Портландцемент, пластифицированный и гидрофобный портландцемент	Шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> песка в растворах на цементном и цементосодержащих вяжущих должен быть не менее 100 кг, а для кладочных растворов в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации – не менее указанного в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Минимальный расход цемента

При сухом и нормальном режимах помещения	100
При влажном режиме помещения	125
При мокром режиме помещения	175

Для улучшения свойств растворной смеси (повышения подвижности и водоудерживающей способности) в нее вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки. Из неорганических добавок наибольшее применение имеют известь, глина, зола ТЭЦ, молотый доменный шлак. К числу наиболее распространенных органических пластификаторов относят мылонафт, СДБ.

Качество применяемого песка должно удовлетворять требованиям ГОСТ. В качестве заполнителя для растворов возможно применять: песок для строительных работ, золу-уноса, золошлаковый песок, пористые пески, пески из шлаков тепловых электростанций, черной и цветной металлургии

Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть, мм, не более:

- кладочные (кроме бутовой кладки) .....2,50;
- бутовая кладка..... 5,004
- штукатурные (кроме накрывочного слоя) .....2,50;
- штукатурные накрывочного слоя..... 1,25;
- отделочные..... 1,25.

1.3.3. Расчет ориентировочного состава

Расчет состава строительного раствора производится на 1 м<sup>3</sup> песка в рыхло-насыпном состоянии.

**Порядок расчета:**

1. Определяют расход песка (*П*) в кг по формуле

$$P = V_n \cdot \rho_{нп}, \quad (1.1)$$

где  $V_n$  – объем песка, м<sup>3</sup>,

$\rho_{нп}$  – насыпная плотность песка, кг/ м<sup>3</sup>.

2. Определяют расход цемента ( $Ц$ ) в кг на  $1 \text{ м}^3$  песка по формуле

$$Ц = \frac{R_p}{\kappa \cdot R_u} \cdot 1000, \quad (1.2)$$

где  $R_p$  – заданная марка раствора, МПа ( $\text{кгс/см}^2$ );

$R_u$  – активность или марка цемента, МПа ( $\text{кгс/см}^2$ );

$\kappa$  – коэффициент; для портландцемента равный 1, для пуццоланового цемента и шлакопортландцемента – 0,88.

Расход цемента по объему ( $V_u$ ) в  $\text{м}^3$  определяют по формуле

$$V_u = \frac{Ц}{\rho_{нц}}, \quad (1.3)$$

где  $\rho_{нц}$  – насыпная плотность цемента,  $\text{кг/м}^3$ .

3. Расход неорганического пластификатора (известкового, глиняного или трепельного теста) по объему ( $V_d$ ) в  $\text{м}^3$  определяется по формуле

$$V_d = 0,17 (1 - 0,002Ц), \quad (1.4)$$

где  $Ц$  – расход цемента, кг.

Пересчитывают расход добавки по массе:

$$Д = V_d \cdot \rho_d, \quad \text{кг} \quad (1.5)$$

где  $\rho_d$  – плотность добавки,  $\text{кг/м}^3$ .

Рекомендуется известковую добавку вводить в виде теста плотностью  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Глиняную добавку вводят также в виде теста. Плотность глиняного теста при этом составляет  $1350 \dots 1450 \text{ кг/м}^3$ .

4. Ориентировочный расход воды на  $1 \text{ м}^3$  песка для получения растворной смеси заданной подвижности определяют по формуле

$$B = 0,5 (Ц + Д), \quad \text{л} \quad (1.6)$$

где  $Ц$  – расход цемента, кг;

$Д$  – расход добавки, кг.

В последующем расход воды уточняется опытным путем на пробных замесах по величине подвижности растворной смеси.

5. Записывают состав раствора в частях путем деления расхода каждого компонента растворной смеси на расход цемента:

$$\text{Состав по объему:} \quad \frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{д}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}}. \quad (1.7)$$

$$\text{Состав по массе:} \quad \frac{Ц}{Ц} : \frac{Д}{Ц} : \frac{П}{Ц}, \quad (1.8)$$

где  $V_{ц}$ ,  $V_{д}$ ,  $V_{п}$  и  $Ц$ ,  $Д$ ,  $П$  – соответственно объемные и массовые расходы цемента, добавки и песка в растворе.

**Пример 1.** Требуется рассчитать состав сложного строительного раствора, используемого для кладки стен из керамического кирпича марки 75 ( $R_p = 75$ ) при следующих данных: подвижность растворной смеси 8...12 см, в качестве вяжущего используется шлакопортландцемент марки М400 с насыпной плотностью  $\rho_{нц} = 1,3 \text{ г/см}^3$ ; в качестве заполнителя используется овражный песок средней крупности ( $M_k = 2,2$ ), насыпной плотностью  $\rho_{пн} = 1500 \text{ кг/м}^3$ ; в качестве добавки применяется известковое тесто плотностью  $\rho_{д} = 1400 \text{ кг/м}^3$ . Записать состав раствора по объему и по массе. Пересчитать состав на замес объемом 5 л.

1. Расход песка ( $П$ ) определяют по формуле

$$П = V_{пн} \cdot \rho_{пн} = 1 \cdot 1500 = 1500 \text{ кг.}$$

2. Определяют расход цемента ( $Ц$ ) на  $1 \text{ м}^3$  песка по формуле

$$Ц = \frac{R_p}{k \cdot R_{ц}} \cdot 1000 = \frac{75}{0,88 \cdot 400} \cdot 1000 = 213 \text{ кг.}$$

Расход цемента по объему ( $V_{ц}$ ) определяют по формуле

$$V_{ц} = \frac{Ц}{\rho_{нц}} = \frac{213}{1300} = 0,164 \text{ м}^3 = 164 \text{ л.}$$

3. Расход известкового теста по объему ( $V_{д}$ ) определяется по формуле

$$V_{д} = 0,17 (1 - 0,002Ц) = 0,17 (1 - 0,002 \cdot 213) = 0,097 \text{ м}^3 = 97 \text{ л.}$$

Пересчитывают расход добавки по массе

$$Д = V_{д} \cdot \rho_{д} = 0,097 \cdot 1400 = 135,8 \text{ кг.}$$

4. Ориентировочный расход воды на  $1 \text{ м}^3$  песка определяют по формуле

$$В = 0,5 (Ц + Д) = 0,5(213 + 135,8) = 174,4 \text{ л.}$$

5. Записывают состав раствора по объему

$$\frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{д}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}} = \frac{0,164}{0,164} : \frac{0,097}{0,164} : \frac{1}{0,164} = 1 : 0,59 : 6,1;$$

и по массе

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{Д}{Ц} : \frac{П}{Ц} = \frac{213}{213} : \frac{135,8}{213} : \frac{1500}{213} = 1 : 0,64 : 7,04.$$

6. Пересчет состава на замес объемом 5 л или 0,005 м<sup>3</sup>.

$$П = 0,005 \cdot 1500 = 7,5 \text{ кг};$$

$$Ц = 0,005 \cdot 213 = 1,065 \text{ кг};$$

$$Д = 0,005 \cdot 135,8 = 0,68 \text{ кг};$$

$$В = 0,005 \cdot 174,4 = 0,87 \text{ л}.$$

**Пример 2.** Требуется рассчитать состав сложного строительного раствора, используемого для заполнения горизонтальных швов марки 50 ( $R_p = 50$ ) при следующих данных: подвижность растворной смеси 5...7 см, в качестве вяжущего используется портландцемент марки М300 с насыпной плотностью  $\rho_{нц} = 1,1 \text{ г/см}^3$ ; в качестве заполнителя используется морской песок, насыпной плотностью  $\rho_{пн} = 1,49 \text{ г/см}^3$ ; в качестве добавки применяется глиняное тесто плотностью  $\rho_{д} = 1450 \text{ кг/м}^3$ . Записать состав раствора по объему и по массе. Пересчитать состав на замес объемом 5 л.

1. Расход песка ( $П$ ) определяют по формуле

$$П = V_n \cdot \rho_{пн} = 1 \cdot 1490 = 1490 \text{ кг}.$$

2. Определяют расход цемента ( $Ц$ ) на 1 м<sup>3</sup> песка по формуле

$$Ц = \frac{R_p}{\kappa \cdot R_{ц}} \cdot 1000 = \frac{50}{1 \cdot 300} \cdot 1000 = 167 \text{ кг}.$$

Расход цемента по объему ( $V_{ц}$ ) определяют по формуле

$$V_{ц} = \frac{Ц}{\rho_{нц}} = \frac{167}{1100} = 0,15 \text{ м}^3 = 150 \text{ л}.$$

3. Расход известкового теста по объему ( $V_{д}$ ) определяется по формуле

$$V_{д} = 0,17 (1 - 0,002Ц) = 0,17 (1 - 0,002 \cdot 167) = 0,113 \text{ м}^3 = 113 \text{ л}.$$

Пересчитывают расход добавки по массе

$$Д = V_{д} \cdot \rho_{д} = 0,113 \cdot 1450 = 164 \text{ кг}.$$

4. Ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> песка определяют по формуле

$$B = 0,5 (Ц + Д) = 0,5(167 + 164) = 165,5 \text{ л.}$$

5. Записывают состав раствора по объему

$$\frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{д}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}} = \frac{0,15}{0,15} : \frac{0,113}{0,15} : \frac{1}{0,15} = 1 : 0,74 : 6,6;$$

и по массе

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{Д}{Ц} : \frac{П}{Ц} = \frac{167}{167} : \frac{164}{167} : \frac{1500}{167} = 1 : 0,98 : 8,9.$$

6. Пересчет состава на замес объемом 5 л или 0,005 м<sup>3</sup>.

$$П = 0,005 \cdot 1490 = 7,45 \text{ кг};$$

$$Ц = 0,005 \cdot 167 = 0,835 \text{ кг};$$

$$Д = 0,005 \cdot 164 = 0,82 \text{ кг};$$

$$B = 0,005 \cdot 165,5 = 0,83 \text{ л.}$$

### 1.3.4. Определение и подбор подвижности растворной смеси

После выполнения расчета готовится пробный замес объемом 5 л песка из соответствующего количества цемента, добавки и воды. Компоненты растворной смеси тщательно перемешивают в лабораторной сферической чаше

сначала в сухом состоянии, а затем вместе с расчетным количеством воды в течение 5...7 мин. Добавку в виде теста лучше вводить вместе с водой затворения. После приготовления растворной смеси проверяют ее подвижность и при необходимости производят корректировку состава.

Подвижность растворной смеси определяется с помощью стандартного конуса (рис. 1.1). Величина подвижности характеризуется глубиной погружения в растворную смесь эталонного конуса массой 300 г и углом при вершине 30°. Перед определением подвижности растворную смесь помещают в

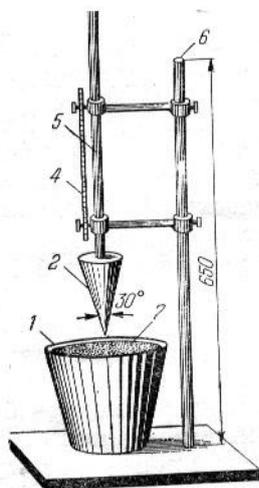


Рис. 1.1. Стандартный конус для определения подвижности растворной смеси:

- 1 – емкость; 2 – конус; 3 – стопорный винт;  
4 – шкала; 5 – стержень;  
6 – штатив; 7 – растворная смесь

емкость 1 в виде усеченного конуса. Уровень раствора в сосуде должен быть на

1 см ниже его краев. Уложенный раствор штыкуют 25 раз стержнем диаметром 10 мм и встряхивают о край стола 5...6 раз. Затем острие конуса 2 приводят в соприкосновение с поверхностью раствора, закрепляют его направляющий стержень 5, фиксируют начальное положение указателя на шкале прибора 4, после чего отпускают зажим 3 и дают возможность конусу свободно погружаться в смесь.

По величине погружения конуса устанавливают подвижность смеси (см) как среднее арифметическое двух испытаний.

В тех случаях, когда погружение конуса отличается от заданного состав раствора корректируют, добавляя либо песок, либо воду до тех пор, пока подвижность растворной смеси не будет равна заданной.

### 1.3.5. Определение марки раствора

Марку раствора определяют испытанием на сжатие кубов (3 шт.) размером 70,7×70,7×70,7 мм в возрасте, установленном стандартом на данный вид раствора.

Образцы из растворной смеси подвижностью до 5 см изготавливают в формах со стальным дном. Форму заполняют раствором в два слоя. Уплотнение слоев производят 12 нажимами шпателя: 6 нажимов вдоль одной стороны и 6 - в перпендикулярном направлении. Образцы растворной смеси подвижностью 5 см и более изготавливают в формах без дна. Форму при этом устанавливают на керамический кирпич, покрытый влажной газетной бумагой (рис. 1.2). Формы заполняют растворной смесью в один прием и уплотняют 25 штыкованиями стального стержня по концентрической окружности от центра к краям.

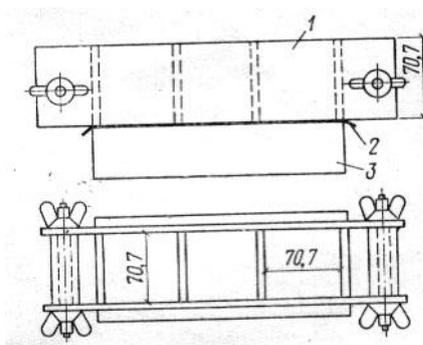


Рис. 1.2. Форма для изготовления образцов из растворной смеси, подвижностью более 5 см:

- 1 – металлическая форма; 2 – влажная газетная бумага;  
3 – керамический кирпич

Образцы раствора, предназначенного для эксплуатации в воздушно сухих условиях и приготовленные на воздушных вяжущих, твердеют на воздухе при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха  $65 \pm 10$  %. Образцы

раствора, приготовленные на гидравлических вяжущих, в течение первых 3 сут должны храниться в камере нормального твердения при относительной влажности воздуха 95...100 %. Дальнейшее твердение обусловлено условиями эксплуатации. Если это влажная среда то образцы хранятся в воде, если воздушная - в помещении при относительной влажности воздуха  $65 \pm 10$  %.

За проектный возраст раствора, если иное не установлено в проектной документации, следует принимать, сут:

- для растворов, приготовленных без применения гидравлических вяжущих.....7 сут;
- для растворов с применением гидравлических вяжущих .....28 сут.

Предел прочности раствора на сжатие определяется по формуле

$$R_p = \frac{P}{A}, \quad \text{кгс/см}^2, \text{ МПа} \quad (1.9)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

$A$  – площадь сечения образца,  $\text{м}^2$  ( $\text{см}^2$ ).

Из трех испытаний вычисляется среднее и полученное значение сравнивается с табличными (см. табл. 6.1), в результате чего устанавливается марка раствора. Если требуемая марка не достигнута, то делается корректировка состава.

При отсутствии форм  $70,7 \times 70,7 \times 70,7$  мм допускается определение предела прочности раствора на сжатие производить на половинках балочек размером  $40 \times 40 \times 160$  мм.

#### *Аттестационные вопросы*

1. Что представляет собой строительный раствор?
2. Как классифицируются строительные растворы?
3. По каким показателям осуществляется выбор вида вяжущего для строительного раствора?
4. Перечислите основные показатели качества растворной смеси и раствора.
5. С какой целью вводят в строительные растворы неорганические и органические добавки?
6. Какие исходные данные должны быть известны перед определением состава смешанного строительного раствора?
7. Изложите последовательность подбора состава смешанного строительного раствора.
8. Опишите методику приготовления пробного замеса растворной смеси.
9. Как определяется подвижность растворной смеси?
10. Как производится определение прочности раствора и его марки?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО (КОНСТРУКЦИОННОГО) БЕТОНА

#### 2.1. Общие сведения

**Бетоном** называют искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рациональной по составу, тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества, воды и заполнителей. Также в состав бетонов вводят добавки, улучшающие свойства как смесей, так и затвердевших конгломератов.

Смесь компонентов бетона до начала ее затвердевания называют **бетонной смесью**.

Тяжелый (обычный) бетон содержит плотные заполнители (кварцевый песок, щебень или гравий из плотных каменных пород) и применяется в качестве конструкционного материала.

Пористость тяжелых бетонов не превышает 7 %.

Важнейшим показателем качества бетона является его прочность, выражающаяся классом или маркой. Класс бетона по прочности на сжатие - это гарантированная прочность его на сжатие с обеспеченностью 0,95. Соотношение между классами бетона и его марками по прочности на сжатие при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 %, представлено в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Соотношение между классами и марками тяжелого бетона

Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона, $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона, $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Марка бетона по прочности
В 3,5	45,8	М50	В 21,5	294,5	М300
В 5	65,5	М75	В 25	327,4	М350
В 7,5	98,2	М100	В 26,5	359,9	М350
В 10	131,0	М150	В 30	392,9	М400
В 12,5	163,7	М150	В 35	458,4	М450
В 15	196,5	М200	В 45	589,4	М600
В 20	261,9	М250	В 50	654,8	М700

Проектирование состава бетона заключается в определении расхода исходных материалов (вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей) на 1 м<sup>3</sup> уплотненной бетонной смеси. От правильности проектирования состава бетона зависит его прочность, плотность, водонепроницаемость, теплопроводность и морозостойкость. Рациональным считается тот состав бетона, в котором расход вяжущего минимальный, а заполнителей -

максимальный, при условии получения плотного бетона с заранее назначенными строительно-техническими свойствами. Состав бетонной смеси выражают в виде весового соотношения между цементом, песком и щебнем (гравием) с обязательным указанием водоцементного отношения и активности цемента (1:Х:У по массе при В/Ц = n) или в виде расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> уложенной и уплотненной бетонной смеси, например:

цемента _____	280 кг
песка _____	700 кг
щебня _____	1250 кг
воды _____	170 кг
Итого: 2400 кг	

Различают номинальный (лабораторный) состав бетона, установленный для сухих материалов, и производственный (полевой) - для материалов в естественно-влажном состоянии. Лабораторный состав определяют расчетно-экспериментальным способом. Производственный состав уточняется непосредственно в условиях производства путем корректировки расхода заполнителей бетона на влажность.

## *2.2. Цель работы*

Изучить расчетно-экспериментальный способ определения состава тяжелого бетона

## *2.3. Порядок выполнения работы*

### *2.3.1. Состав работы*

Проектирование состава бетона включает следующие этапы:

1. Выбор материалов для бетона исходя из требований к нему, обусловленных особенностями службы и изготовления конструкций. Определение свойств сырьевых материалов.
2. Определение предварительного состава бетона расчетно-экспериментальным способом.
3. Корректировка состава бетона при получении требуемых значений удобоукладываемости смеси и класса (марки) бетона путем проведения пробных лабораторных замесов.
4. Проведение окончательной корректировки состава в условиях производства с учетом колебаний в свойствах заполнителей или других факторов.

### 2.3.2. Сырьевые материалы для тяжелого бетона

Для определения состава бетона предварительно определяют следующие данные: класс и плотность бетона, гранулометрический состав заполнителей, объем межзерновых пустот в заполнителях, прочность, влажность, среднюю и истинную плотность заполнителей, вид и марку цемента, его среднюю и истинную плотность, удобоукладываемость бетонной смеси, способ формирования изделий из проектируемого бетона.

Для приготовления тяжелого бетона в качестве вяжущих материалов следует применять портландцемент и шлакопортландцемент, сульфатостойкий и пуццолановый цементы. Марку цемента следует назначать в зависимости от требуемой прочности (марки или класса) бетона согласно данным табл. 2.2. Минимальный расход цемента для неармированных (бетонных) конструкций должен составлять не менее 200 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона, а для железобетонных конструкций - не менее 220 кг. Максимальный расход цемента в бетоне не должен превышать 600 кг на 1 м<sup>3</sup>.

Таблица 2.2

Марка цемента в зависимости от заданного класса бетона

Класс (марка) бетона	B7,5 (100)	B10 (150)	B15 (200)	B25 (300)	B30 (400)	B40 (500)	B45 (600)
Марка цемента	300	400	400	400	500	600	600

При выборе щебня (гравия) для тяжелого бетона следует иметь в виду, что прочность щебня (в насыщенном водой состоянии) должна превышать прочность бетона в 2 раза, если его марка 300 и более, и в 1,5 раза для бетонов меньших марок. Максимально допустимая крупность щебня зависит от размера бетонируемой конструкции. Для достижения необходимой удобоукладываемости нельзя применять щебень крупнее  $\frac{1}{4}$  части минимального размера сечения конструкции и больше минимального расстояния между стержнями арматуры. При изготовлении плит покрытий применяют щебень с максимальной крупностью зерен, составляющей до  $\frac{1}{2}$  толщины плиты. Крупность заполнителей в бетонных смесях, подаваемых по трубопроводам, должна быть не более  $\frac{1}{3}$  их диаметра. Плотность заполнителей для тяжелого бетона должна составлять 2000...2800 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве мелкого заполнителя для тяжелого бетона следует применять природный песок и песок из отсеков дробления истинной плотностью 2000...2800 кг/м<sup>3</sup>. Для бетона наиболее пригоден крупный и средний песок по модулю крупности ( $M_k = 2...3,5$ ). Песок для бетонов марок 200 и выше должен иметь насыпную плотность не ниже 1550 кг/м<sup>3</sup>, в остальных случаях - не ниже 1400 кг/м<sup>3</sup>.

Вода для приготовления бетонных смесей должна содержать ограниченное количество органических веществ, не содержать окрашивающих примесей, нефтепродуктов, масел, жиров.

### 2.3.3. Расчет ориентировочного состава бетона

Для определения состава тяжелого бетона существует ряд расчетно-экспериментальных методов. Наибольшее распространение получил метод абсолютных объемов, согласно которому, во-первых, сумма объемов всех компонентов в 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси составляет 1 м<sup>3</sup>, т.е.

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + B = 1, \quad (2.1)$$

где  $Ц$ ,  $B$ ,  $П$ ,  $Щ$  – расходы цемента, воды, песка и щебня на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;

$\rho_{ц}$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_{щ}$  – истинные плотности цемента, песка и щебня, кг/м<sup>3</sup>.

И, во-вторых, цементно-песчаный раствор расходуется на заполнение объема межзерновых пустот крупного заполнителя с некоторой раздвижкой его зерен. Это условие характеризует следующее уравнение:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_n} + B = \frac{Щ}{\rho_{щн}} \cdot V_n \cdot K_p, \quad (2.2)$$

где  $\rho_{щн}$  – насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>;

$V_n$  – объем межзерновых пустот щебня (в долях единицы);

$K_p$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (коэффициент избытка раствора).

Кроме того, в расчете используется формула закона прочности бетона:

$$R_{628} = A \cdot R_{ц} (Ц/B - 0,5), \quad (2.3)$$

где  $R_{628}$  – прочность бетона при сжатии, кгс/см<sup>2</sup>;

$R_{ц}$  – активность (или марка) цемента, кгс/см<sup>2</sup>;

$A$  – коэффициент, зависящий от качества заполнителей, принимаемый по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Значение коэффициента качества заполнителей бетона

Качество заполнителей	$A$
Высокое	0,65
Рядовое (среднее)	0,60
Пониженного качества (гравий вместо щебня, мелкий песок)	0,55

Расчет состава бетона по методу абсолютных объемов производится в следующей последовательности:

1. Определяют водоцементное отношение ( $B/C$ ), исходя из требуемой прочности бетона ( $R_{b28}$ ), по формуле

$$B / C = \frac{AR_{\text{ц}}}{R_b + 0,5AR_{\text{ц}}} \quad (2.4)$$

2. В зависимости от принятой подвижности (или жесткости) бетонной смеси, наибольшего размера зерен крупного заполнителя и его вида определяют ориентировочный расход воды (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Ориентировочный расход воды на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси			Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности, мм					
			гравия			щебня		
марка	осадка конуса, см	жесткость, с	10	20	40	10	20	40
СЖ3	0	150...200	145	130	120	155	145	130
СЖ3	0	90...120	150	135	125	160	150	135
СЖ2	0	60...80	160	145	130	170	160	145
Ж4	0	30...50	165	150	135	175	165	150
Ж3	0	20...30	175	160	140	185	175	155
Ж2	0	15...20	180	165	145	195	180	160
П1	2...2,5	-	185	170	150	200	185	165
П1	3...4	-	190	175	155	205	190	170
П2	5	-	195	180	160	210	195	175
П2	7	-	200	185	170	215	200	180
П2	8	-	210	195	175	220	205	185
П3	10...12	-	220	205	185	230	215	195

3. Вычисляют расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси по формуле

$$C = \frac{B}{B/C}, \text{ кг}, \quad (2.5)$$

где  $B$  – расход воды на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, л;

$B/C$  – водоцементное отношение, доли.

4. Расход щебня (гравия) и песка в кг на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси вычисляют по формулам

$$Щ = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{щ}} + \frac{V_{щ} \cdot K_p}{\rho_{щн}}}, \quad (2.6)$$

$$P = \left[ 1 - \left( \frac{C}{\rho_{ц}} + \frac{B}{\rho_{в}} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} \right) \right] \rho_n, \text{ кг}, \quad (2.7)$$

где  $C, B, Ш, P$  – расход цемента, воды, щебня и песка на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, кг;  
 $V_{ц}$  – объем межзерновых пустот щебня (в долях единицы);  
 $K_p$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя;  
 $\rho_{ц}, \rho_n$  – истинная плотность щебня и песка,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\rho_{цн}$  – насыпная плотность щебня,  $\text{кг/м}^3$ .

Значение коэффициента раздвижки зерен для умеренно жестких бетонных смесей принимается  $1,15 \dots 1,2$ , а для жестких бетонных смесей –  $1,0 \dots 1,1$ . Для подвижных бетонных смесей значения зависят от расхода цемента и принимаются согласно данным табл. 2.5.

Таблица 2.5

Значение коэффициента раздвижки зерен заполнителя для подвижных смесей

Расход цемента на $1 \text{ м}^3$ бетонной смеси, кг	Значения $K_p$	
	Бетон на гравии	Бетон на щебне
250	1,34	1,30
300	1,42	1,36
350	1,48	1,42
400	1,52	1,47

5. Записывают состав бетона в частях по массе путем деления расхода каждого компонента смеси на расход цемента:

$$C : D : P : Ш = \frac{C}{C} : \frac{D}{C} : \frac{P}{C} : \frac{Ш}{C}, \quad (2.8)$$

где  $C, D, P$  – соответственно расходы цемента, песка и щебня в бетоне.

#### 2.3.4. Подбор удобоукладываемости бетонной смеси и марки бетона с помощью опытных замесов

Для производства работ и обеспечения высокого качества бетона в конструкции или изделиях необходимо, чтобы бетонная смесь имела удобоукладываемость (консистенцию), соответствующую условиям ее укладки. Удобоукладываемость бетонной смеси оценивают показателем подвижности или жесткости. При проектировании состава бетона удобоукладываемость смеси назначают в зависимости от вида и способа формирования изделия согласно данным табл. 2.6.

## Удобоукладываемость бетонной смеси в зависимости от способа формирования

Вид конструкции и способ уплотнения	Подвижность, см	Жесткость, с
Массивные армированные конструкции, плиты, балки, колонны, изготавливаемые с наружным или внутренним вибрированием	3...6	-
Монолитные, густоармированные железобетонные конструкции при сложных условиях вибрирования	10...18 и более	-
Перекрытия и стеновые панели, формируемые на виброплощадке; подготовка под фундаменты, полы и основания дорог наружным вибрированием	1...3	5...10

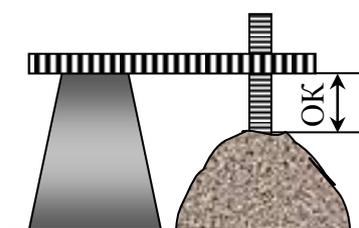


Рис. 2.1. Определение подвижности бетонной смеси

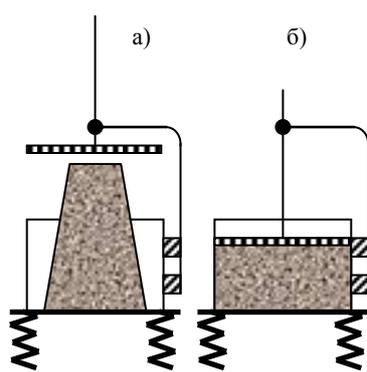


Рис. 2.2. Определение жесткости бетонной смеси:  
а - до вибрации;  
б - после вибрации

После выполнения расчета готовится пробный замес объемом 10 л из соответствующего количества компонентов. Смесь тщательно перемешивают сначала в сухом состоянии, а затем вместе с расчетным количеством воды в течение 5 мин.

Затем определяют удобоукладываемость смеси.

Подвижные смеси оседают под действием собственной массы.

Подвижность смеси определяют с помощью стандартного конуса (рис. 2.1) по величине осадки конуса (OK) следующим образом. Конус заполняют бетонной смесью в три слоя одинаковой высоты с 23 штыкованиями каждого слоя. После заполнения стального конуса его вертикально снимают и ставят рядом с бетонным конусом, который оседает и расплывается. С помощью двух линеек определяют величину осадки конуса в сантиметрах, которая и является характеристикой подвижности смеси.

Жесткие бетонные смеси при снятии конуса не оседают. Поэтому для их уплотнения требуется значительное механическое воздействие – вибрация, прессование, вибропрессование.

Жесткость смеси тоже определяют с помощью стандартного конуса (рис. 2.2) по времени виброуплотнения смеси следующим образом. Конус помещают в стальной цилиндр, установленный на вибростол, заполняют бетонной смесью и уплотняют так же, как при определении подвижности смеси. Затем снимают стальной конус (рис. 23а) включают вибрацию и одновременно секундомер. Когда смесь перераспределится и уплотнится в цилиндре (рис. 23б) секундомер выключают. Полученное время в секундах и является показателем жесткости смеси.

Если удобоукладываемость (подвижность или жесткость) смеси окажется не равной заданной, то в смесь небольшими порциями добавляют пропорционально либо цемент и воду, либо щебень и песок и повторяют опыт до получения требуемой удобоукладываемости.

Получив бетонную смесь заданной подвижности, из нее изготавливают образцы-кубы (3 шт.) с размерами 15×15×15 см, которые должны находиться в камере нормального твердения при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 95...100 %. В возрасте 28 суток образцы испытывают на сжатие и по табл. 31 устанавливают класс и марку бетона. Если нужная марка не достигнута, то делается корректировка состава.

После определения фактического расхода компонентов бетонной смеси рассчитывают коэффициент выхода бетона ( $\beta$ ), равный объему бетонной смеси (1 м<sup>3</sup>) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление, по формуле:

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}}, \quad (2.9)$$

где  $V_{ц}$ ,  $V_{п}$ ,  $V_{щ}$  – объемы составляющих (цемента, песка щебня), затраченных на приготовление 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, м<sup>3</sup>, определяемые по формулам

$$V_{ц} = \frac{Ц}{\rho_{цн}}, \quad (2.10)$$

$$V_{п} = \frac{П}{\rho_{пн}}, \quad (2.11)$$

$$V_{щ} = \frac{Щ}{\rho_{щн}}, \quad (2.12)$$

где  $Ц$ ,  $П$ ,  $Щ$  - расход сухих материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;  
 $\rho_{цн}$ ,  $\rho_{пн}$ ,  $\rho_{щн}$  - насыпная плотность сухих (цемента, песка и щебня), кг/м<sup>3</sup>.

Значение величины коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах 0,55...0,75. Коэффициент выхода бетона характеризует степень уменьшения объема полученной бетонной смеси по сравнению с суммой объемов всех составляющих ее. Коэффициент выхода бетона используют при определении расхода составляющих бетона на один замес бетоносмесителя.

### 2.3.5. Корректировка состава бетона в заводских условиях

При использовании в производственных условиях влажных заполнителей производят пересчет состава бетона с лабораторного на полевой (производственный) по формулам:

$$P_{np} = P_{\phi}(1 + 0,01W_n), \quad (2.13)$$

$$Ш_{np} = Ш_{\phi}(1 + 0,01W_{ш}), \quad (2.14)$$

$$B_{np} = B_{\phi} - 0,01(P_{\phi} \cdot W_n + Ш_{\phi} \cdot W_{ш}), \quad (2.15)$$

где  $P_{\phi}$ ,  $Ш_{\phi}$ ,  $B_{\phi}$  – фактический расход сухих (песка, щебня) и расход воды на приготовление 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;

$W_n$ ,  $W_{ш}$  – влажность песка и щебня, %.

#### *Аттестационные вопросы*

1. Что такое бетон?
2. Чем бетонная смесь отличается от бетона?
3. Что является важнейшей характеристикой бетона?
4. Какой состав бетона считается рациональным?
5. Чем различаются лабораторный и производственный составы бетона?
6. Из каких этапов состоит проектирование состава бетона?
7. Какие условия следует выполнить при расчете состава тяжелого бетона по методу абсолютных объемов?
8. Как определяют подвижность бетонной смеси?
9. Изложите методику определения жесткости бетонной смеси.
10. Изложите последовательность определения марки бетона.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

### *3.1. Общие сведения*

Ячеистые бетоны представляет собой искусственные каменные материалы, состоящие из затвердевшего вяжущего вещества с равномерно распределенными в нем воздушными ячейками (порами).

По способу получения ячеистые бетоны делятся на пенобетоны и газобетоны.

Ячеистые бетоны по виду вяжущего вещества могут быть на основе: цементных вяжущих (пенобетон и газобетон); известковых вяжущих (пеносиликат и газосиликат); гипсовых вяжущих (пеногипс и газогипс). Кроме того, при получении ячеистых бетонов могут быть использованы гипсоцементно-пуццолановые и смешанные вяжущие, состоящие из портландцемента, извести и активных минеральных добавок.

Пористую структуру при получении пенобетонов создают путем перемешивания растворов с предварительно приготовленной пеной или путем введения пенообразователя непосредственно в раствор, что способствует вовлечению пузырьков воздуха внутрь раствора при интенсивном его перемещении с применением вибрационной обработки или без нее.

Для получения стойкой пены применяют следующие виды пенообразователей: а) клееканифольный, б) смолосапониновый, в) алюмосульфонафтенный, г) КИСК, состоящий из канифоли, извести, ЛСТМ (лигносульфонат модифицированный) и казеинового клея, д) синтетические ПАВ (вещество «Прогресс», ПО-1 и др.).

При производстве газобетонов и газосиликатов пористая структура формируется в результате выделения газа при взаимодействии газообразователя с компонентами пластично-вязкой массы (газообразователь - алюминиевая пудра) или при выделении газа из газообразователя (технический пергидроль – 30-процентный раствор перекиси водорода в воде) без взаимодействия с массой (применяется значительно реже в технологии ячеистых бетонов).

В качестве мелкого заполнителя в ячеистых бетонах наиболее широко применяют молотый кварцевый песок. При этом предпочтение отдается пескам, содержащим не менее 90 % кремнезема. Можно использовать пески с меньшим содержанием кремнезема, например барханные (полиминеральные) пески. В качестве кремнеземистого компонента применяют также золу-унос от сжигания бурых и каменных углей, кислые металлургические шлаки, отходы глиноземного производства.

Ячеистые бетоны в зависимости от способа твердения подразделяются на неавтоклавные и автоклавные. Основные физико-механические свойства изделий из теплоизоляционных ячеистых бетонов представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Показатели физико-механических свойств изделий  
из теплоизоляционных ячеистых бетонов

Материал	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии при температуре 25±5 °С, Вт/(м·°С), не более
Автоклавные	300	0,4	0,093
плиты, скорлупы и сегменты	350	0,6	0,101
пенобетонные,	400	0,8	0,110
газобетонные,	500	1,2	0,128
пеносиликатные и газосиликатные			
То же	400	0,5	0,110
неавтоклавные	500	0,8	0,128

Теплоизоляционные ячеистые бетоны предназначены для строительной теплоизоляции: утепления по железобетонным плитам покрытий и чердачных перекрытий; в качестве теплоизоляционного слоя многослойных стеновых конструкций зданий различного назначения. Также теплоизоляционные ячеистые бетоны служат для теплозащиты поверхностей оборудования и трубопроводов при температуре до 400<sup>0</sup>С. Жаростойкие ячеистые бетоны используют для теплоизоляции оборудования с температурой поверхности до 700<sup>0</sup>С.

### 3.2. Цель работы

Определение состава теплоизоляционного ячеистого бетона с заданными свойствами.

### 3.3. Порядок выполнения работы

Исходными данными для подбора состава ячеистого бетона являются заданные средняя плотность образцов в сухом состоянии, кубиковая прочность их на сжатие, а также вид порообразователя и сырьевых материалов.

Для получения ячеистого бетона с заданными показателями свойств опытным путем последовательно устанавливают: количественное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом ( $P_{\text{к}}:P_{\text{вяж}} = C$ ), водо-твердое отношение (В/Т) и расход порообразователя.

Для пробных замесов ячеистого бетона соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом принимают по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом (С) для различных видов ячеистых бетонов

Вид ячеистого бетона	Значение С				
	1	2	3	4	5
Автоклавный с применением извести активностью 70 %	2,4	2,7	3,0*	3,3	3,6
То же, с применением портландцемента или известково-шлакового цемента	0,75	1,0*	1,25	1,5	1,75
То же, с применением смешанного вяжущего или нефелинового цемента	1,0	1,25	1,5*	1,75	2,0
Неавтоклавный с применением портландцемента или смешанного вяжущего	0,5	0,75*	1,0	1,25	1,5

Примечания.

1. Значения С, отмеченные\* принимаются за исходные.
2. Для извести с активностью А% варианты С находят умножением табличных данных на величину А/70.
3. Исходную долю извести (п) в смешанном цементно-известковом вяжущем принимают для автоклавных бетонов равной 50 %, а для неавтоклавных – 25 %.

Работа по подбору состава ячеистого бетона состоит из следующих этапов:

- 1) определение исходного водо-твердого отношения (В/Т);
- 2) расчет расхода материалов на один замес;
- 3) приготовление пробных замесов и формование образцов;
- 4) тепловлажностная обработка образцов по заданному режиму;
- 5) испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона.

### 3.3.1. Определение исходного В/Т-отношения

За исходное В/Т-отношение принимают такую величину, которая соответствует значению текучести раствора, приведенному в табл. 3.3.

Текучесть раствора определяют по его расплыву (L, см), используя вискозиметр Суттарда.

Для определения текучести раствора требуется 0,4 кг сухой смеси исходного состава (с заданным соотношением вяжущего вещества и

кремнеземистого компонента) и 0,16...0,28 л воды. Воду затворения для газобетона предварительно нагревают до температуры 70...80<sup>0</sup>С. В/Т-отношение принимают за исходное, если полученная текучесть раствора отклоняется от данных, приведенных в табл. 5.3 не более чем на ± 1 см.

Таблица 3.3

Значение текучести раствора для определения исходного В/Т-отношения

Средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Пенобетон на цементе, извести, смешанном вяжущем	Газобетон на			
		портландцементе и смешанном вяжущем	извести	нефелиновом цементе	известково-шлаковом цементе
Диаметр расплыва раствора, см					
400	34	34	25	42	26
500	30	30	23	28	24
600	26	26	21	32	22
700	24	22	19	26	20
900	20	15	15	18	14

Примечание. Температура раствора для газобетона должна находиться в интервале от 37 до 43<sup>0</sup>С, для газосиликата – от 30 до 45<sup>0</sup>С, для пенобетона – от 20 до 40<sup>0</sup>С.

Результаты по определению исходного В/Т для растворной массы заносят в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Результаты определения исходного В/Т-отношения

Наименование материалов	Расход материалов, кг	Расход воды, л	В/Т	Диаметр расплыва, см	Фактическая средняя плотность раствора, кг/л
Портландцемент					
Известь					
Кремнеземистый компонент					

### 3.3.2. Расчет расхода материалов на 1 замес исходного состава

Расход минеральных составляющих растворной смеси и воды (кг) на один замес ячеистобетонной массы определяют по следующим формулам:

$$P_{\text{вяж}} = \frac{\rho_{\text{сух}} \cdot V}{\kappa_c (1 + C)} - \text{вяжущего}, \quad (3.1)$$

$$P_{И} = P_{вяж} \cdot n - \text{извести}, \quad (3.2)$$

$$P_{Ц} = P_{вяж} - P_{И} - \text{цемента}, \quad (3.3)$$

$$P_{К} = P_{вяж} \cdot C - \text{кремнеземистого компонента}, \quad (3.4)$$

$$P_{Г} = P_{И} \cdot 0,03 - \text{гипса молотого двухводного}, \quad (3.5)$$

$$B = (P_{вяж} + P_{К}) \cdot B/T - \text{воды}, \quad (3.6)$$

где  $\rho_{сух}$  – заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л;  
 $\kappa_c$  – коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего за счет связанной воды,  $\kappa_c = 1,1$ ;

$V$  – объем замеса, л, равный объему форм, заполняемых из одного замеса, умноженному на коэффициент избытка смеси, принимаемый равным 1,05 для пенобетона и 1,1...1,15 для газобетона (при изготовлении лабораторных образцов коэффициент избытка смеси в обоих случаях принимают равным не менее 1,5);

$C$  – число частей кремнеземистого компонента, приходящихся на 1 часть вяжущего;

$n$  – доля извести в вяжущем.

При расчете порообразователя (пенообразователя или газообразователя) предварительно находят величину пористости, которая должна создаваться порообразователем для получения ячеистого бетона заданной плотности:

$$P_{Г} = \frac{1 - \rho_{сух}(W + B/T)}{\kappa_c}, \quad (3.7)$$

где  $P_{Г}$  – величина пористости ячеистого бетона заданной средней плотности в долях единицы;

$W$  – удельный объем сухой смеси, л/кг.

Количество газообразователя или пены теоретически должно быть таким, чтобы выделенный объем газа или введенный объем пены соответствовал пористости, найденной по формуле (3.7).

В действительности порообразователь не полностью используется на создание пористости в растворе, поэтому расход его ( $P_{П}$ ) принимают больше, чем теоретически необходимый, и рассчитывают по формуле

$$P_{II} = \frac{\Pi_{Г} \cdot V}{\kappa \cdot \alpha}, \quad (3.8)$$

где  $\kappa$  – выход пор (отношение объема пены или газа к массе порообразователя), л/кг;

$\alpha$  – коэффициент использования порообразователя.

Исходные величины  $\alpha$ ,  $\kappa$ ,  $W$  принимают следующие:  $\alpha = 0,85$ ;  $\kappa = 20$  л/кг при использовании пенообразователя и  $\kappa = 1390$  л/кг при использовании алюминиевой пудры;  $W$  – определяют на основании опытного замеса и рассчитывают по формуле

$$W = \frac{(1 + B/T)}{\rho_p^\phi} - B/T, \quad (3.9)$$

где  $\rho_p^\phi$  – фактическая средняя плотность растворной смеси при исходном В/Т, кг/л.

Алюминиевую пудру вводят в раствор в виде водно-алюминиевой суспензии. Для ее приготовления на 1 массовую часть алюминиевой пудры расходуется 0,05 массовых частей сухого поверхностно-активного вещества (канифольного мыла, ЛСТМ или др.) и 10...15 массовых частей воды. Эту воду учитывают в общем количестве воды затворения.

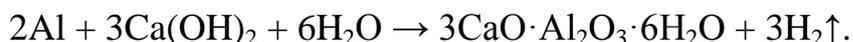
Пена по своему качеству должна удовлетворять следующим требованиям: выход пор ( $\kappa$ ) – не ниже 15; стойкость, характеризуемая коэффициентом использования порообразователя  $\alpha$ , – не ниже 0,8.

Для получения пены требуемого качества опытным путем определяют соотношение «вода-пенообразователь» (по объему). Исходные значения этого соотношения для различных пенообразователей следующие: смолосапониновый – 8, клееканифольный – 5, пенообразователь КИСК – 9. Пределы изменения соотношения «вода-пенообразователь» составляют: для клееканифольного  $\pm 1$ , для остальных  $\pm 2$ .

Из рабочего водного раствора пенообразователя каждого состава в пенобетонмешалке приготавливают опытные замесы пены и определяют выход пор ( $\kappa$ ), а из каждого второго замеса ячеистой смеси определяют коэффициент использования порообразователя ( $\alpha$ ). В качестве оптимального соотношения воды и пенообразователя принимают то, при котором получают максимальный коэффициент использования пенообразователя ( $\alpha$ ).

Выход пены для пенообразователя определяют из соотношения объема пены к ее массе. Объем пены измеряют в полном цилиндре с прозрачными стенками. Диаметр цилиндра 5...7 см и высота 10...15 см.

Выход пор при использовании алюминиевой пудры устанавливается расчетным путем:



Из этого следует, что при реакции 54 г алюминия с известью выделяется 6 г водорода. Одна грамм-молекула газа занимает при нормальных условиях объем 22,4 л, следовательно, 1 г алюминия выделяет при нормальных условиях  $3 \cdot 22,4/54 = 1,244$  л водорода.

При температуре смеси  $t, ^\circ\text{C}$ , объем водорода, выделяемого 1 г алюминия, вычисляют по закону Гей-Люссака:

$$K = 1,244(1 + t/273), \text{ л/г.}$$

### 3.3.3. Приготовление пробных замесов и формование образцов

После расчета исходного состава приступают к приготовлению замесов с целью выявления рационального В/Т. Для этого готовят 5 замесов из исходного состава, отличающихся друг от друга В/Т на  $\pm 0,02$  и  $\pm 0,04$ . Из каждого замеса формируют три образца.

В этих и последующих замесах определяют плотность раствора ( $\rho^{\phi}_p$ , кг/л), контролируют его температуру (при изготовлении газобетона), а также определяют среднюю плотность ячеистобетонной смеси ( $\rho^{\phi}_я$ , кг/л). По полученным значениям  $\rho^{\phi}_p$  и  $\rho^{\phi}_я$  в каждом замесе вычисляют фактическую величину пористости, создаваемую порообразователем:

$$P^{\phi}_Г = 1 - \left( \frac{\rho^{\phi}_я - P_{II}/V}{\rho^{\phi}_p} \right), \quad (3.10)$$

где  $P_{II}/V$  – расход порообразователя на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной можно пренебречь), кг.

Водотвердое отношение состава, не имеющего осадки после его поризации и показывающего наибольшую величину  $P^{\phi}_Г$ , принимают за рациональное.

Результаты по подбору рационального водо-твердого отношения В/Т заносят в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Результаты по подбору рационального В/Т-отношения для ячеистобетонной смеси

Расход сухих материалов на 2л замеса, кг	В/Т	Расход воды, л	Величина расчетной пористости, $P_{Г}$	Расход порообразователя, $P_{II}$ , кг	Средняя плотность раствора, $\rho^{\phi}_p$ , кг/л	Средняя плотность ячеистобетонной смеси, $\rho^{\phi}_я$ , кг/л	Фактическая величина пористости ячеистобетонной смеси, $P^{\phi}_Г$

Для выявления рациональной температуры раствора (при подборе состава газобетона) готовят еще 5 замесов с рациональным В/Т, изменяя температуру раствора в пределах  $\pm 3$  и  $\pm 7$  °С от исходной (40 °С).

Рациональное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом находят изменением числа  $C$ , в процессе приготовления 5 замесов с рациональными значениями В/Т и температуры раствора.

Расход порообразователя ( $P^{\phi}_{II}$ ) для этих замесов уточняют путем умножения расчетного расхода его ( $P_{II}$ ) на поправочный коэффициент  $k$ , вычисляемый из соотношения требуемой пористости ( $II_{Г}$ ) к пористости ( $II^{\phi}_{Г}$ ), фактически получившейся в замесе, по которой принято рациональное В/Т и рациональная температура. Расход порообразователя вычисляют по формуле

$$P^{\phi}_{II} = P_{II} \cdot \frac{II_{Г}}{II^{\phi}_{Г}}. \quad (3.11)$$

Из каждого замеса формируют 3 образца размером 10×10×10 см. Перед формированием образцов необходимо тщательно очистить и смазать формы, а при формировании газобетонных образцов еще подогреть их до температуры 40...45 °С.

Высоту заполнения формы газобетонной смесью  $h$  (см) следует рассчитывать по формуле

$$h = K_{Г} \cdot h_0 \cdot \frac{\rho_{я}}{\rho_p}, \quad (3.12)$$

где  $K_{Г}$  – коэффициент, учитывающий высоту «горбушки» после вспучивания (при литьевом способе формирования принимают  $K_{Г} = 1,1$ , а при вибрационном  $K_{Г} = 1,05$ );

$h_0$  – высота формы, см;

$\rho_{я}$  – средняя плотность газобетонной смеси, кг/л;

$\rho_p$  – средняя плотность растворной смеси, кг/л.

Пенобетонную смесь готовят в следующем порядке. В пеновзбиватель лабораторной пенобетонмешалки вливают приготовленный заранее водный раствор пенообразователя и включают мотор. Время взбивания пены обычно не превышает 5...6 мин. Затем отвешивают определенное расчетом количество пены и вводят его в раствор при непрерывном перемешивании, которое заканчивается после получения однородной массы.

Среднюю плотность пеномассы ( $\rho_{ян}$ ) определяют путем взвешивания ее в сосуде емкостью 1 л.

Газобетонную смесь готовят следующим образом. Сначала приготавливают водно-алюминиевую суспензию, а затем ее вводят в уже

приготовленный раствор при непрерывном перемешивании массы в течение 2...2,5 мин.

Для определения средней плотности газобетонной смеси ( $\rho_{яз}$ ) производят ее укладку в заранее подготовленные сосуды кубической формы и емкостью 1 л на высоту, определенную предварительным расчетом. После окончания вспучивания, примерно через 1 ч, ножом или металлической линейкой удаляют избыток вспученной массы («горбушки»), взвешивают сосуды с оставшейся массой и вычисляют ее среднюю плотность.

#### *3.3.4. Тепловлажностная обработка образцов из ячеистого бетона*

После формования образцы выдерживают при температуре 20...25 °С в течение 6...8 ч для пенобетона и 4...6 ч для газобетона (через 3...4 ч выдерживания срезают «горбушку»), после чего производят их тепловлажностную обработку в лабораторном автоклаве или в пропарочной камере.

Общий цикл автоклавной обработки складывается из трех периодов: 1 – подъем температуры и давления; 2 – изотермическая выдержка при максимальных температуре и давлении; 3 – снижение температуры и давления до атмосферного.

Рекомендуемые режимы автоклавной обработки образцов:

1) для теплоизоляционного ячеистого бетона со средней плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup> – (3 + 8 + 3) ч при максимальном давлении пара 0,9 МПа и (3 + 6 + 3) ч при давлении 1,3 МПа;

2) для теплоизоляционно-конструкционного бетона со средней плотностью более 500 кг/м<sup>3</sup> – (6 + 8 + 6) ч при давлении 0,9 МПа и (6 + 6 + 6) ч при давлении 1,3 МПа.

Режим пропаривания при атмосферном давлении обычно принимают следующий: подъем температуры от 30 до 90 °С – 3 ч, изотермическая выдержка при 90 °С – 14 ч и снижение температуры до 50 °С – 2 ч.

#### *3.3.5. Испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона*

После тепловлажностной обработки образцы вынимают из форм, высушивают при температуре 105...110 °С до постоянной массы и испытывают (определяют среднюю плотность и предел прочности при сжатии).

Результаты работы по подбору состава ячеистого бетона рекомендуется записывать в табл. 3.6.

Результаты подбора состава ячеистого бетона

Заданная средняя плотность ячеистого бетона, кг/м <sup>3</sup>	Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим, С	Доля извести в вяжущем веществе, п	В/Т	Фактический расход порообразователя, $R_{\text{п}}^{\text{ф}}$ , кг/л	Температура раствора, °С	Средняя плотность раствора, $\rho_{\text{р}}^{\text{ф}}$ , кг/л	Средняя плотность ячеистобетонной смеси, $\rho_{\text{я}}^{\text{ф}}$ , кг/л	Фактическая величина пористости, $P_{\text{Г}}^{\text{ф}}$	Фактическая средняя плотность ячеистого бетона, $\rho_{\text{сж}}^{\text{ф}}$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, $R_{\text{сж}}$ , МПа

Состав шихты, при котором образцы показали наибольшую прочность, при заданной средней плотности, принимают как рациональный.

Для расчета окончательного расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> или на один замес для получения ячеистого бетона заданной средней плотности необходимо уточнить принятые при расчете исходные величины  $k$ ,  $W$ ,  $k_c$  и  $\alpha$ .

Выход пор  $K_{\text{ф}}$ , см<sup>2</sup>/г, для пенообразователя находят из отношения объема пены ( $V_{\text{пены}}$ ) к ее массе ( $m_{\text{пены}}$ ), а выход пор газообразователя не уточняют:

$$K_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{пены}}}{m_{\text{пены}}}, \text{ см}^3/\text{г}. \quad (3.13)$$

Коэффициент увеличения массы сухой смеси за счет связываемой воды ( $k_c$ ) уточняют по фактическим значениям ( $\rho_{\text{сж}}^{\text{ф}}$ ) и ( $\rho_{\text{я}}^{\text{ф}}$ ) и используют формулу

$$K_{\text{с}}^{\text{ф}} = \rho_{\text{сж}}^{\text{ф}} \frac{(1 + B/T)}{(\rho_{\text{я}}^{\text{ф}} - P_{\text{п}}/V)}, \quad (3.14)$$

где  $\rho_{\text{сж}}^{\text{ф}}$  – фактическая средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л;

$\rho_{\text{я}}^{\text{ф}}$  – фактическая средняя плотность ячеистобетонной смеси, кг/л;

$P_{\text{п}}/V$  – расход порообразователя на 1 л ячеистобетонной смеси (для газобетона пренебрегают), кг.

Затем уточняют коэффициент использования порообразователя ( $\alpha$ ), для чего предварительно вычисляют фактический объем ячеистобетонной смеси по ее массе и средней плотности по формуле

$$V_{\text{ф}} = \frac{(R_{\text{вяж}}^{\text{ф}} + R_{\text{к}}^{\text{ф}} + R_{\text{в}}^{\text{ф}})}{\rho_{\text{я}}^{\text{ф}}}, \quad (3.15)$$

где  $V_{\phi}$  – фактический объем ячеистобетонной смеси, л;

$P_{\text{вяж}}^{\phi}$  – фактический расход вяжущего, кг;

$P_K^{\phi}$  – фактический расход кремнеземистого компонента, кг;

$P_B^{\phi}$  – фактический расход воды, л.

Коэффициент использования порообразователя ( $\alpha^{\phi}$ ) находят по фактическим величинам  $\Pi_{\Gamma}^{\phi}$ ,  $K_{\phi}$ ,  $V_{\phi}$  путем расчета по формуле

$$\alpha^{\phi} = \frac{\Pi_{\Gamma}^{\phi} \cdot V_{\phi}}{K_{\phi} \cdot P_{\Pi}}. \quad (3.16)$$

По уточненным значениям  $K_c^{\phi}$ ,  $W^{\phi}$ ,  $\Pi_{\Gamma}^{\phi}$ ,  $\alpha^{\phi}$  производят окончательный расчет расхода порообразователя.

Требуемая величина пористости  $\Pi_{\Gamma}^{TP}$  составит

$$\Pi_{\Gamma}^{TP} = 1 - \rho_{\text{сух}} \frac{(W^{\phi} + B/T)}{K_c^{\phi}}. \quad (3.17)$$

Расход порообразователя на 1 замес по уточненным данным составит

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi_{\Gamma}^{TP} \cdot V_{\phi}}{K_c^{\phi} \cdot \alpha^{\phi}}. \quad (3.18)$$

Окончательные данные по подбору состава ячеистого бетона рекомендуется записывать в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Результаты проектирования состава ячеистого бетона

Наименование материалов	Расход материалов, кг	
	на 1 замес	на 1 м <sup>3</sup>
Вяжущее		
Известь		
Портландцемент		
Кремнеземистый компонент		
Молотый двуводный гипс		
Вода		
Газообразователь, г		
Пенообразователь (рабочий раствор)		
Поверхностно-активное вещество для приготовления водно-алюминиевой суспензии (Р <sub>П</sub> ·0,05 г)		

### *Аттестационные вопросы*

1. Перечислите разновидности ячеистых бетонов в зависимости от способов поризации, вида вяжущих веществ, условий твердения.
2. Перечислите основные виды сырья и порообразователей для производства ячеистых бетонов.
3. Каким путем создается пористая структура ячеистого бетона?
4. Каковы области и условия использования ячеистых бетонов для строительных целей?
5. Каковы оптимальные условия процессов газовыделения и газодерживания в газобетонной смеси?
6. Перечислите способы интенсификации технологических процессов получения ячеистых бетонов.
7. Назовите технологические схемы производства газобетонных и пенобетонных изделий и виды основного технологического оборудования.
8. Перечислите способы гидротермальной обработки при производстве ячеистых бетонов и опишите физико-химические процессы, происходящие при этом.
9. Каковы современные пути оптимизации пористой структуры ячеистых бетонов?
10. Опишите последовательность проектирования состава ячеистого бетона с заданными свойствами.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ДЛЯ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

### *4.1. Общие сведения*

В бетонных покрытиях на дорогах и аэродромах основным расчетным напряжением, в отличие от обычного тяжелого строительного бетона, является напряжение от изгиба, так как покрытие в данном случае работает как плита на упругом основании. Поэтому при подборе состава бетона устанавливают такое соотношение между его составляющими, которое обеспечивает требуемую прочность на изгиб и достаточную его морозостойкость. Кроме того, дорожный цементобетон должен обладать повышенной плотностью, износостойкостью, минимальной усадкой в процессе твердения.

### *4.2. Цель работы*

Ознакомиться с методикой определения состава бетона для дорожных и аэродромных покрытий.

### *4.3. Порядок выполнения работы*

#### *4.3.1. Выбор материалов для дорожного цементобетона*

Для приготовления дорожного бетона целесообразно использовать специальный дорожный цемент (ГОСТ 10178-85), содержащий в своем составе не более 8 %  $C_3A$ . Для обеспечения требуемой морозостойкости водоцементное отношение для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий следует принимать не более 0,5, для нижних слоев - 0,6...0,75. С этой же целью в бетон вводят воздухововлекающие добавки (мылонафт, абиеат натрия и др.), обеспечивающие содержание вовлеченного воздуха в объеме бетона 4,5...6,0 %.

Песок для дорожного цементобетона используется преимущественно природный крупно- средне- и мелкозернистый, высевки однородного минералогического состава. Содержание пылевидных и глинистых примесей в мелком заполнителе не должно превышать 2 %; органические примеси не допускаются.

Щебень изготавливают из прочных пород, морозостойкостью не ниже марки по морозостойкости самого дорожного бетона. Щебень, щебень из гравия и гравий не должны содержать более 1...2 % пылевидных и глинистых включений. Требования к прочности щебня представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

## Прочность щебня для дорожного цементобетона

Назначение бетона	Предел прочности при сжатии исходной горной породы в водонасыщенном состоянии, МПа, не менее	
	изверженные горные породы	осадочные горные породы
Для однослойного покрытия и верхнего слоя двухслойных покрытий	120	80
Для нижнего слоя двухслойных покрытий	80	60
Для оснований дорог	80	30

Наибольший размер зерен щебня (гравия) должен быть не более, мм:

- для верхнего слоя двухслойных покрытий .....20,
- для однослойных и нижнего слоя двухслойных покрытий .....40,
- для основания покрытий .....70.

Дорожный бетон по прочности подразделяется на классы (марки) в соответствии со СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» (табл. 4.2).

Таблица 4.2

## Требования к маркам дорожного цементобетона

Наименование бетона	Минимальный проектный класс, (марка, кгс/см <sup>2</sup> ) бетона по прочности	
	при изгибе	при сжатии
Однослойное или верхний слой двухслойного покрытия дорог I и II категорий	$B_{BtB}$ 4,0 (50)	B30 (400)
Нижний слой двухслойного покрытия дорог I и II категорий	$B_{BtB}$ 3,2 (40)	B22,5 (300)
Однослойное или верхний слой двухслойного покрытия дорог III категории	$B_{BtB}$ 3,6 (45)	B27,5 (350)
Нижний слой двухслойного покрытия дорог III категории	$B_{BtB}$ 2,8 (35)	B20 (250)
Однослойное или верхний слой двухслойного покрытия дорог IV категории	$B_{BtB}$ 3,2 (40)	B25 (300)
Нижний слой двухслойного покрытия дорог IV категории	$B_{BtB}$ 2,4 (30)	B15 (200)

Для основания дорог I-V категорий минимальный проектный класс дорожного бетона должен составлять B5 (75). Выбор марки дорожного бетона по морозостойкости производят согласно данным табл. 4.3.

Таблица 4.3

## Марки дорожного бетона по морозостойкости

Среднемесячная температура воздуха наиболее холодного периода	Марки по морозостойкости	
	бетон однослойных и верхнего слоя двухслойных конструкций	бетон нижнего слоя двухслойных покрытий и оснований усовершенствованных бетонных дорог
От 0 до $-10^{\circ}\text{C}$	Мрз 100	не нормируется
От $-10^{\circ}\text{C}$ до $-20^{\circ}\text{C}$	Мрз 150	Мрз 50
Ниже $-20^{\circ}\text{C}$	Мрз 200	Мрз 50

Для качественного уплотнения бетонная смесь должна иметь показатели подвижности (или жесткости) в зависимости от способа ее уплотнения (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Требования к подвижности бетонной смеси для дорожного цементобетона

Уплотнение бетонной смеси	Осадка конуса, см	Жесткость, с
Уплотнение покрытий бетоноукладочными машинами	1...2	10...20
Уплотнение покрытий площадочными вибраторами	2...3	-
Уплотнение оснований	-	40...50

## 4.3.2. Основы расчета состава дорожного цементобетона

Расчет состава дорожного цементобетона производится на  $1 \text{ м}^3$  в следующей последовательности.

1. Определяют водоцементное отношение, необходимое для достижения заданной прочности бетона при изгибе по формулам

$$\frac{B}{Ц} = 0,45 \frac{R_{ц.изг}}{R_{б.изг}} + 0,03 \quad (\text{на гранитном щебне}); \quad (4.1)$$

$$\frac{B}{Ц} = 0,45 \frac{R_{ц.изг}}{R_{б.изг}} + 0,07 \quad (\text{на известняковом щебне}), \quad (4.2)$$

где  $R_{ц.изг}$  – активность цемента (по изгибу) в возрасте 28 суток,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ;  
 $R_{б.изг}$  – заданная прочность бетона при изгибе,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ .

2. Если активность цемента при изгибе неизвестна, то ее можно вычислить по формуле

$$R_{ц.изг} = 0,08 R_{ц.сж} + 11, \quad (4.3)$$

где  $R_{ц.сж}$  – марка или активность цемента при сжатии, кгс/см<sup>2</sup>.

3. Для обеспечения достаточной морозостойкости бетона водоцементное отношение должно быть не более:

- для сурового климата - 0,5;
- для умеренного климата - 0,53;
- для мягкого климата - 0,55;
- для теплого климата - 0,60.

Суждение о климатических условиях может быть сделано по среднемесячной температуре наиболее холодного месяца в году:

- суровый климат ниже - 15 °С,
- умеренный климат от - 5 до - 15 °С,
- мягкий климат выше - 5 °С,
- теплый климат не ниже 0 °С.

Расчетная величина В/Ц сравнивается с величиной В/Ц, обеспечивающей требуемую морозостойкость, при этом выбирается наименьшее значение.

4. Расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси выбирается в зависимости от вида заполнителя при условии получения бетонной смеси с осадкой конуса 1...2 см и впоследствии корректируется при проведении пробных лабораторных замесов бетона (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси цементобетона

Вид заполнителя	Расход воды, л/м <sup>3</sup>
Гранитный щебень	155
Известковый щебень	165
Гравий	145
Мелкий песок и гранитный щебень	165
Известковый щебень и песок	180

При введении в бетонную смесь поверхностно-активных добавок расход воды уменьшают на 10 л.

5. Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси рассчитывают по формуле (2.5).

6. Расход щебня определяют по методу абсолютных объемов согласно формуле (45). Коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя принимают равным 1,3...1,35.

7. Расход песка на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси определяют согласно формуле (2.7).

Корректировка состава дорожного цементобетона проводится на основании пробных замесов в лаборатории и испытании контрольных образцов согласно методике, изложенной в лабораторной работе № 2.

#### *Аттестационные вопросы*

1. В чем особенность дорожного цементобетона по сравнению с тяжелым строительным бетоном?
2. Какие виды цементов используют при изготовлении дорожного цементобетона?
3. Какие технологические приемы используют для повышения морозостойкости дорожного бетона?
4. Опишите требования к мелкому и крупному заполнителям для дорожного бетона.
5. Как определяют водоцементное отношение при проектировании состава дорожного бетона?
6. От чего зависит расход воды при проектировании состава дорожного бетона?
7. По каким зависимостям рассчитывают расход цемента, песка и щебня на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси?
8. Опишите методику корректировки состава дорожного цементобетона с помощью проведения пробных замесов.

## РАСЧЕТ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

### 5.1. Общие сведения

Проектирование асфальтобетона – это комплексный процесс, позволяющий правильно назначить его состав с учетом работы под воздействием транспортных средств и окружающей среды.

Проектирование асфальтобетона включает:

- анализ условий работы асфальтобетона в конструкции;
- выбор способа производства работ в зависимости от погодных-климатических условий района строительства;
- выбор исходных сырьевых материалов и оценку их качественных показателей;
- расчет состава минеральной части асфальтобетона, расчет оптимального количества битума;
- приготовление и испытание контрольной смеси;
- составление технической документации на запроектированный асфальтобетон и передачу ее на производство.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих требуемое качество асфальтобетона, является зерновой состав его минеральной части, придающий асфальтобетону оптимальную плотность, и, при необходимости, повышенную шероховатость.

Состав минеральной части асфальтобетона подбирают в три этапа:

- определяют качество минеральных материалов и битума и соответствие их свойств установленным требованиям;
- рассчитывают соотношение минеральных материалов в асфальтобетоне (щебня, песка, минерального порошка), обеспечивающее оптимальную плотность асфальтобетона;
- определяют оптимальное содержание битума.

Наиболее распространенным методом подбора состава асфальтобетона является метод, согласно которому минеральную часть рассчитывают исходя из зерновых составов, рекомендуемых ГОСТ 9128-97, а количество битума вычисляют исходя из остаточной пористости, установленной для данного вида, типа и марки асфальтобетона. Затем подобранный состав уточняют путем приготовления и испытания лабораторных образцов.

### 5.2. Цель работы

Изучить методику расчета состава асфальтобетона на конкретном примере.

### 5.3. Порядок выполнения работы

#### 5.3.1. Последовательность проведения расчета состава минеральной части асфальтобетона (пример)

Пусть требуется рассчитать зерновой состав минеральной части горячего мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б и определить оптимальное содержание битума марки БНД 90/130 в нем. Для приготовления асфальтобетона используются следующие минеральные материалы: щебень гранитный фракций 20...10 и 10...5 мм; известняковый отсев; песок кварцевый речной; порошок минеральный известняковый. Все сырьевые материалы отвечают требованиям соответствующих ГОСТов.

Предварительно определяется зерновой состав минеральных материалов, частные и полные остатки на контрольных ситах в процентах (табл. 5.3, раздел 1). Затем, в соответствии с ГОСТ 9128-97, с учетом типа проектируемой асфальтобетонной смеси и наибольшего размера зерен минеральных материалов, выбираются рекомендуемые диапазоны полных остатков на ситах для смеси минеральной части асфальтобетона, используемого и различных слоях покрытий.

Таблица 5.1

Гранулометрические составы минеральной части асфальтобетонов для верхних слоев покрытий и оснований

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Содержание в процентах по массе									
	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Горячие: высокоплотные	90...100	70...100	56...100	35...50	24...50	18...50	13...50	12...50	11...28	10...16
плотные типов:	Непрерывные зерновые составы									
А	90...100	75...100	62...100	40...50	28...38	20...28	14...20	10...16	6...12	4...10
Б	90...100	80...100	70...100	50...60	38...48	28...37	20...28	14...22	10...16	6...12
В	90...100	85...100	75...100	60...70	48...60	37...50	28...40	20...30	13...20	8...14
Г	-	-	-	80...100	65...82	45...65	30...50	20...36	15...25	8...16
Д	-	-	-	80...100	60...93	45...85	30...75	20...55	25...33	10...16
	Прерывистые зерновые составы									
А	90...100	75...85	62...70	40...50	28...50	20...50	14...50	10...28	6...16	4...10
Б	90...100	80...90	70...77	50...60	38...60	28...60	20...60	14...34	10...20	6...12
Холодные типов:										
Бх	90...100	85...100	70...100	50...60	33...46	21...38	15...30	10...22	9...16	8...12
Вх	90...100	85...100	75...100	60...70	48...60	38...50	30...40	23...32	17...24	12...17
Гх и Дх	-	-	-	80...100	62...82	40...68	25...55	18...43	14...30	12...20

Таблица 5.2

Гранулометрические составы минеральной части асфальтобетонов для нижних слоев покрытий и оснований

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Содержание в процентах по массе		
	Размер зерен, мм, мельче		
	5,0	0,63	0,071
Плотные типов:			
А	40... 50	12... 50	4... 10
Б	50...60	20...60	6...12
Пористые	40...60	10...60	0...8
Высокопористые щебеночные	40...60	10...60	4...8
Высокопористые песчаные	90...100	25...85	4...10

Рекомендуемые диапазоны заносятся в табл. 5.3 в графу (раздел 2), соответствующую каждому контрольному ситу.

Основными структурообразующими составляющими в асфальтобетоне являются щебень (зерна крупнее 5 мм) и минеральный порошок (частицы мельче 0,071 мм). Содержание щебня в смеси для нашего примера должно быть в пределах 40...50 % (раздел 2, столбец 7 табл. 5.3), а содержание минерального порошка - в пределах 100 % - (88...94) % = 6...12 % (раздел 2, столбец 13 табл. 5.3).

Расчет состава минеральной части асфальтобетона начинают с определения доли щебня в минеральной смеси. Долевое содержание щебня начинается с определения доли фракции 20...10 мм. Расчет производится по формуле:

$$D_{20...10} = \frac{ПО_{\phi}}{ПО}, \quad (5.1)$$

где  $D_{20...10}$  – долевое содержание щебня фракции 20...10 в минеральной части;

$ПО_{\phi}$  – рекомендуемый полный остаток для данной фракции щебня; %;

$ПО$  – полный остаток для данной фракции щебня по результатам рассева, %.

Определение доли щебня фракции 20...10 мм производится по полному остатку на сите 15 мм (средняя фракция), равному 53 % (раздел 1, столбец 5 табл. 5.3) и средней величине полного остатка на этом сите рекомендуемых диапазонов (раздел 2, столбец 5 табл. 5.3), равном  $(0 + 20)/2 = 10$  %. Подставляются найденные значения в формулу (5.1) и определяется доля фракции 20...10 мм в минеральной смеси проектируемого асфальтобетона. Она составляет  $10 : 53 = 0,19$  (19 %).

По значению  $D_{20...10}$ , определяется величина полных остатков на контрольных ситах, какую принесет щебень фракции 20...10 мм с учетом его доли (0,19) в смеси всех минеральных компонентов асфальтобетона, для этого в столбец 3 раздела 3 табл. 5.3 вписывается величина доли щебня фракции

20...10 мм (0,19). эта величина умножается на полные остатки на каждом сите, и полученные результаты вписываются в раздел 3 столбцы 4-14 табл. 5.3. Например, величина полных остатков на сите 20 мм, соответствующая долевого содержанию щебня фракции 20...10 мм, будет равна  $0,19 \times 3 = 0,57$ . Величина полного остатка на сите 15 мм при содержании в смеси щебня фракции 20...10 мм составит  $0,19 \times 53 = 10,07$  %. Аналогично рассчитываются величины полных остатков остальных сит.

Затем определяется содержание щебня фракции 10...5 мм. Его содержание должно быть таким, чтобы рекомендуемый суммарный полный остаток минеральной смеси на сите 5 мм не превышал 40...50 %. Так как полный остаток щебня фракции 20...10 мм при его долевого содержании 0,19 на сите 5 мм уже составляет 19 %, то рекомендуемые пределы (40...50 %) уменьшаются на эту величину, тогда они составят 21...31 % (среднее значение  $(21+31)/2 = 26$  %). Исходя из этого долевого содержание щебня фракции 10...5 мм составит

$$D_{10..5} = \frac{26}{88} \approx 0,29.$$

Теперь рассчитывается величина полных остатков на контрольных ситах, какую внесет щебень фракции 10...5 мм с учетом его доли (0,29) в смеси минеральной части асфальтобетона. Расчет производится аналогично вышеизложенному для фракции щебня 20...10 мм и результат записывается в раздел 3 табл. 5.3. После расчета содержания щебня производится расчет содержания минерального порошка. При расчете количества минерального порошка исходят из того, что частиц мельче 0,071 мм во всей минеральной части асфальтобетона должно быть  $100 - 88...94 = 12...6$  % (раздел 1, столбцы 13, 14 табл. 5.3). Принимают среднюю величину  $(12+6)/2 = 9$  %. Так как в минеральном порошке зерен мельче 0,071 мм содержится 80 % (раздел 1, столбец 14 табл. 5.3), то его в смеси должно быть  $9 : 80 = 0,11$ . Однако долевого значение минерального порошка в смеси фактически должно быть меньше 0,11, так как небольшое его количество имеется в песке (2 %) и известняковых высевках (4 %). С учетом этого принимается доля минерального порошка 0,1 и рассчитывается аналогично вышесказанному величина полных остатков на соответствующих контрольных ситах, какую вносит минеральный порошок согласно этой доле. Результаты заносятся в раздел 3 табл. 5.3.

Суммарное долевого содержание известняковых отсевок (дробленого песка) и речного песка определяется по разности  $1 - (0,19+0,29+0,1) = 0,42$  (42 %).

Таблица 5.3

## Результаты расчета зернового состава минеральной части асфальтобетона

Номер разделов	Материал	Содержание в смеси, доли	Частные Полные остатки, %, на ситах с размером отверстий, мм										
			20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	< 0,071
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
I	Щебень гранитный фракции: 20...10	-	$\frac{3}{3}$	$\frac{50}{53}$	$\frac{35}{88}$	$\frac{12}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$
	Щебень гранитный фракции: 10...5	-	-	$\frac{10}{10}$	$\frac{25}{35}$	$\frac{53}{88}$	$\frac{12}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{100}$
	Отсев известняковый	-	-	-	-	$\frac{9}{9}$	$\frac{31}{40}$	$\frac{30}{70}$	$\frac{9}{79}$	$\frac{8}{87}$	$\frac{6}{93}$	$\frac{3}{96}$	$\frac{4}{100}$
	Песок речной	-	-	-	-	-	$\frac{10}{10}$	$\frac{20}{30}$	$\frac{40}{70}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{10}{90}$	$\frac{8}{98}$	$\frac{2}{100}$
	Порошок известняковый	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{80}{100}$
II	Рекомендуемые диапазоны полных остатков для мелкозернистого горячего асфальтобетона типа Б по ГОСТ 9128-97 (табл. 42)	-	0...10	0...20	0...30	40...50	52...62	63...72	72...80	78...86	84...90	88...94	100
III	Щебень гранитный фракции: 20...10	0,19	0,57	10,07	16,72	19	19	19	19	19	19	19	19
	Щебень гранитный фракции: 10...5	0,29	-	2,9	10,15	25,52	29	29	29	29	29	29	29
	Отсев известняковый	0,22	-	-	-	1,98	8,8	15,4	17,3	19,14	20,46	21,22	22
	Песок речной	0,20	-	-	-	-	2	6	14	16	18	19,6	20
	Порошок известняковый	0,10	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5	1,0	2,0	10
IV	Сумма полных остатков на ситах	1,00	0,57	12,97	26,87	46,5	58,8	69,4	79,5	83,64	87,46	99,82	100

Обычно в асфальтобетоне соотношение между дробленным песком и природным принимается равным от 50:50 до 70:30. Так как дробленный песок способствует повышению прочности, сдвигоустойчивости и шероховатости асфальтобетонного покрытия, то принимается его долевое участие равным 0,22, а природного речного песка – 0,20. Рассчитывается величина полных остатков, соответствующих долевого участию высевок и природного песка и результаты заносятся в соответствующие строки раздела 3 табл. 44 .

Марку битума для асфальтобетона выбирают в зависимости от вида смеси, климатических условий и категории дороги в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9128-97.

Учитывая, что сумма полных остатков на каждом сите при рассеивании минеральных материалов, взятых в расчетных количествах, находится в пределах, рекомендованных ГОСТ 9128-97, считается, что расчетный состав соответствует оптимальному.

### 8.3.2. Расчет оптимального количества битума в асфальтобетонной смеси

Расчет оптимального количества битума производят расчетным методом по величине битумоемкости материалов, входящих в состав асфальтобетонной смеси и величине частных остатков на ситах, соответствующих долевого содержанию каждого компонента минеральной части асфальтобетона. Частные остатки предварительно рассчитывают и вносят в табл. 5.4 (раздел 1).

Таблица 5.4

Частные остатки компонентов минеральной части асфальтобетона согласно их долевым частям

№ раздела	Материал	Размеры отверстий сит, мм										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
I	Щебень 20...10 гранитный 10...5 фракции:	0,57	9,5	6,65	2,28	-	-	-	-	-	-	-
	Отсев известняковый	-	2,9	7,25	15,4	-	-	-	-	-	-	-
	Минеральный порошок известняковый	-	-	-	1,98	6,82	6,6	1,9	1,84	1,32	0,76	0,78
	Песок речной	-	-	-	-	-	-	0,2	0,3	0,5	1,0	8,0
II	Щебень гранитный (20...10)+(10...5)	$\frac{0,57}{0,0057}$	$\frac{12,4}{0,124}$	$\frac{13,9}{0,139}$	$\frac{17,65}{0,176}$	-	-	-	-	-	-	-
	Отсев + порошок	-	-	-	$\frac{1,98}{0,019}$	$\frac{6,82}{0,068}$	$\frac{6,6}{0,066}$	$\frac{2,1}{0,021}$	$\frac{2,14}{0,021}$	$\frac{1,82}{0,018}$	$\frac{1,76}{0,017}$	$\frac{8,78}{0,0878}$
	Песок речной	-	-	-	-	$\frac{2}{0,02}$	$\frac{4}{0,04}$	$\frac{8}{0,08}$	$\frac{2}{0,02}$	$\frac{2}{0,02}$	$\frac{1,6}{0,016}$	$\frac{4}{0,04}$

Примечание: В числителе представлены частные остатки, %, в знаменателе – часть от целого.

Затем вычисляют частные остатки и суммируют гранулометрию однородных по химико-минералогическому составу материалов. Так, складывают частные остатки гранитного щебня фракции 20...10 мм и 10...5 мм, известняковый отсев суммируют с минеральным порошком и все записывают в раздел 2 табл. 5.4.

Зная битумоемкость каждой фракции принятых материалов (табл. 5.5) и суммарное количество фракций в смеси, однородных по химико-минералогическому составу (раздел II табл. 5.4), определяют содержание битума. Для этого величины частных остатков (в частях от целого) умножают на величину битумоемкости каждой фракции материала и произведения складывают. Например, для определения удельной битумоемкости 0,139 частей гранитного щебня 15...10 мм указанную величину умножают на величину битумоемкости этой фракции 4,7 %, получая величину 0,653 % и т.д. Результаты расчетов заносят в табл. 5.6.

Таблица 5.5

Битумоемкость различных фракций минеральной части асфальтобетона

Минеральный материал	Битумоемкость, %, различных фракций, мм, с битумом БНД 90/130									
	<0,0 71	0,071- 0,14	0,14- 0,315	0,315- 0,63	0,63- 1,25	1,25-2,5	2,5- 5	5-10	10- 15	15- 20
Плотный известняк	16,0	9,4	7,3	7,0	6,0	5,3	4,6	3,2	3,0	2,9
Гранит	18,0	8,4	7,4	6,4	5,9	5,7	5,5	5,2	4,7	4,5
Диорит	16,5	9,5	8,7	7,9	7,0	5,9	5,6	4,5	4,0	3,3
Песчаник	14,0	9,3	8,5	5,8	5,4	5,2	5,0	4,8	4,5	4,0
Известняк-ракушечник	16,0	9,3	8,5	7,3	7,8	6,3	5,9	-	-	-
Кварцевый песок, гравий	14,0	7,0	6,1	4,8	4,6	3,8	3,3	2,9	-	-
Металлургический шлак, кислый	18,5	10,5	9,0	8,1	7,5	6,8	6,2	5,4	4,8	4,6
Металлургический шлак, основной	20,5	13,5	12,0	11,2	10,5	9,3	7,8	7,2	6,1	5,6
Активированный минеральный порошок	11,0	7,0	5,5	5,1	4,7	-	-	-	-	-

Таблица 5.6

Результаты определения оптимального содержания битума в асфальтобетоне по величине битумоемкости

Размеры фракций, мм	Частные остатки от целого			Битумоемкость			Удельная битумоемкость фракций, %
	Гранит	Известняк	Кварцевый песок	Гранит	Известняк	Кварцевый песок	
20-15	0,124	-	-	4,5	-	-	$0,124 \times 4,5 = 0,558$
15-10	0,139	-	-	4,7	-	-	$0,139 \times 4,7 = 0,653$
10-5	0,176	0,0198	-	5,2	3,2	-	$(0,176 \times 5,2) + (0,0198 \times 3,2) = 0,979$
5-2,5	-	0,0682	0,02	-	4,6	3,3	$(0,0682 \times 4,6) + (0,02 \times 3,3) = 0,379$
2,5-1,25	-	0,066	0,04	-	5,3	3,8	$(0,066 \times 5,3) + (0,04 \times 3,8) = 0,502$
1,25-0,63	-	0,021	0,08	-	6,0	4,6	$(0,021 \times 6) + (0,08 \times 4,6) = 0,494$
0,63-0,315	-	0,0214	0,02	-	7,0	4,8	$(0,0214 \times 7) + (0,02 \times 4,8) = 0,246$
0,315-0,14	-	0,0182	0,02	-	7,3	6,1	$(0,0182 \times 7,3) + (0,02 \times 6,1) = 0,255$
0,14-0,0071	-	0,0176	0,016	-	9,4	7,0	$(0,0176 \times 9,4) + (0,016 \times 7) = 0,277$
0,071	-	0,0878	0,004	-	16,0	14,0	$(0,0878 \times 16) + (0,004 \times 14) = 1,46$

В итоге определяем, что расчетное содержание битума в асфальтобетоне составляет 6,4 % от минеральной части. Эту величину сравнивают с рекомендуемой ГОСТ 9128-97 (табл. 5.7). Для горячих плотных асфальтобетонных смесей типа Б она составляет от 5 до 6,5 % по массе, т.е. находится в допустимых пределах для данного вида смеси.

Таблица 5.7

## Содержание битума в смесях

Вид смесей	Содержание битума, % по массе
<b>1 Горячие</b>	
высокоплотные	4,0 - 6,0
плотные типов:	
А	4,5 - 6,0
Б	<b>5,0 - 6,5</b>
В	6,0 - 7,0
Г и Д	6,0 - 9,0
пористые	3,5 - 5,5
высокопористые щебеночные	2,5 - 4,0
высокопористые песчаные	4,0 - 6,0
<b>2 Холодные типов</b>	
Бх	3,5 - 5,5
Вх	4,0 — 6,0
Гх и Дх	4,5 - 6,5

Данный расчет соответствует использованию битума марки БНД 90/130. Если используются битумы других марок, то полученное содержание битума умножают на коэффициент, соответствующий принятой марке битума. Так для битума БНД 40/60 он составляет 1,1; БНД 60/90 – 1,05; БНД 130/200 – 0,95; БНД 200/300 – 0,9; СГ 130/200 – 0,85.

*Аттестационные вопросы*

1. Изложите порядок подбора состава асфальтобетона.
2. Перечислите основные этапы подбора состава минеральной части асфальтобетона.
3. Каким образом определяется долевое содержание каждой фракции щебня?
4. Какое соотношение между дробленным песком и природным считается целесообразным для асфальтобетона и почему?
5. Каким образом выбирают марку битума для асфальтобетона?

## ИСПЫТАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

### *6.1. Общие сведения*

Минеральный порошок является одним из важнейших компонентов асфальтобетона. Он повышает плотность минерального остова, заполняя песчано-щебеночный каркас, и в смеси с битумом образует асфальтовое связующее вещество, цементирующее (объединяющее) зерна песка и щебня в плотный и прочный монолит.

Минеральный порошок для асфальтобетонов получают путем тонкого измельчения известняков, доломитов, доломитизированных известняков и других карбонатных горных пород, обладающих прочностью на сжатие не менее 20 МПа.

Допускается применять в качестве минеральных порошков для пористого и высокопористого асфальтобетона, а также для плотного асфальтобетона II и III марок техногенные отходы промышленного производства (измельченные основные металлургические шлаки, золы-уноса, золошлаковые смеси, пыль-уноса цементных заводов и др.).

В производстве асфальтобетонов используют неактивированные и активированные (гидрофобные) минеральные порошки. Для приготовления активированного минерального порошка в горную породу перед измельчением вводят активирующую смесь, состоящую из битума и ПАВ или продукта, содержащего ПАВ. Гидрофобизированные порошки при хранении не комкуются, при транспортировке не распыляются, значительно облегчают перемешивание и уплотнение смесей и снижают расход битума.

Основными показателями качества, минерального порошка являются:

- зерновой состав;
- влажность;
- пористость в уплотненном состоянии;
- набухание образцов из смеси порошка с битумом;
- битумоемкость;
- водостойкость.

Порошки в зависимости от показателей свойств и применяемых сырьевых материалов подразделяют на марки:

МП-1 – порошки неактивированные и активированные из осадочных (карбонатных) горных пород и порошки из битуминозных пород;

МП-2 – порошки из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

Требования к минеральным порошкам приведены в табл. 6.1.

## Показатели свойств минеральных порошков

Наименований показателей	Нормы для порошка		
	МП-1		МП-2
	активированный порошок	неактивированный порошок	
Зерновой состав, % по массе, не менее:			
мельче 1,25 мм	Не менее 100	Не менее 100	Не менее 95
мельче 0,315 мм	Не менее 90	Не менее 90	80...95
мельче 0,071 мм	70...80	Не менее 80	Не менее 60
Пористость, % по объему, не более	35	30	40
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, % по объему, не более:	2,5	1,8	3,0
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %, не более:	Не нормируется		0,7
Показатель битумоемкости, г, не более:	То же		80
Влажность, % по массе, не более	1,0	Не нормируется	2,5

*Примечание: При дозировании минерального порошка следует помнить, что увеличение его доли, наряду с повышением прочности асфальтобетона, способствует увеличению хрупкости и сдвигоустойчивости асфальтобетона. Поэтому содержание минерального порошка должно быть предельно минимальным, лишь для придания асфальтобетону нормативной плотности и прочности.*

## 6.2. Цель работы

Изучение свойств минерального порошка для асфальтобетона.

## 6.3. Порядок выполнения работы

## 6.3.1. Определение зернового (гранулометрического) состава

Зерновой состав минерального порошка в первую очередь характеризуется содержанием в нем зерен мельче 0,071 мм.

Зерновой состав определяют методом отсева порошка через стандартный набор сит (№ 1,25 мм, 0,315 мм и 0,071 мм).

Из лабораторной пробы (3 кг) минерального порошка, предварительно высушенной до постоянной массы при температуре 105...110 °С отбирают навеску 50 г. Рассев производят на ситах с отверстиями 1,25; 0,315; 0,071 мм с помощью прибора для механического просеивания в течение 30...40 мин. Просеивание считают законченным, если после контрольного (ручного) просеивания над листом бумаги в течение 30 с количество частиц, прошедших сита с отверстиями размерами 1,25 мм, не превышает 0,05 г, а прошедших сита с отверстиями размерами 0,315; и 0,071 мм – 0,02 г.

Остаток на каждом сите взвешивают и определяют частные остатки и содержание частиц мельче 1,25 мм, 0,315 мм и 0,071 мм. Частный остаток на каждом сите  $a_i$ , %, вычисляют по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;  
 $m$  – масса просеиваемой навески, г.

Содержание частиц мельче 1,25; 0,315; 0,071 мм определяют по формулам:

$$M_{1,25} = 100 - a_{1,25}; \quad (6.2)$$

$$M_{0,315} = M_{1,25} - a_{0,315}; \quad (6.3)$$

$$M_{0,071} = M_{0,315} - a_{0,071}. \quad (6.4)$$

Зерновой состав определяют по результатам двух испытаний. Расхождения между результатами не должны превышать 2 % от массы взятой пробы. Результаты испытаний заносят в табл. 1.2.

Таблица 6.2

#### Результаты отсева минерального порошка

Размеры отверстий сит, мм					
1,25		0,315		0,071	
$a_{1,25}$	$M_{1,25}$	$a_{0,315}$	$M_{0,315}$	$a_{0,071}$	$M_{0,071}$

Полученные результаты сравнивают с данными табл. 6.1.

#### 6.3.2. Определение истинной плотности

Истинную плотность минерального порошка определяют с помощью пикнометра (рис. 6.1). Для неактивированного минерального порошка в качестве инертной жидкости применяют дистиллированную воду, а для активированного минерального порошка – дистиллированную воду со смачивателем.

Смачиватель (техническое или бытовое моющее средство) вводят в воду в следующем количестве на 1 л воды: жидкий – 15 г, пастообразный – 10 г, порошкообразный – 3 г.

Из лабораторной пробы (3 кг) минерального порошка, предварительно высушенной до постоянной массы при температуре 105...110 °С отбирают навеску около 50 г или 10 г. Навеску высыпают в чистую, высушенную и взвешенную колбу. Для навески 50 г используют колбу вместимостью 250 мл, а для 10 г – вместимостью 100 мл. Затем колбу с порошком вновь взвешивают и на 1/3 заполняют инертной жидкостью, после чего содержимое колбы взбалтывают и кипятят на песчаной ванне в течение 1 ч, а затем охлаждают до комнатной

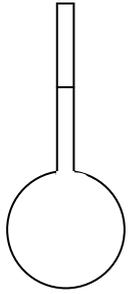


Рис. 6.1.

Пикнометр

температуры. После этого колбу заполняют инертной жидкостью до черты на шейке и взвешивают. Затем колбу освобождают от содержимого, промывают, наполняют до черты на шейке инертной жидкостью и вновь взвешивают.

Истинную плотность порошка,  $\text{г/см}^3$ , вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{м.п.}} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_{\text{жид}}}{m_2 - m_1 - m_3 + m_4}, \quad (6.5)$$

где  $m_1$  – масса пикнометра, г;

$m_2$  – масса пикнометра с навеской, г;

$m_3$  – масса пикнометра с навеской и жидкостью, г;

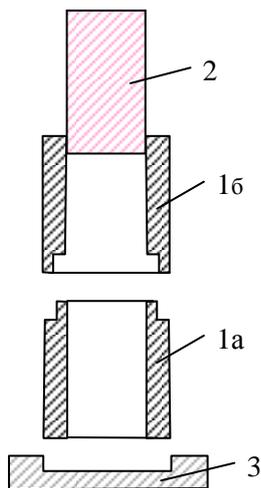
$m_4$  – масса пикнометра с жидкостью, г;

$\rho_{\text{жид}}$  – плотность жидкости,  $\text{г/см}^3$ .

### 6.3.3. Определение средней плотности минерального порошка в уплотненном состоянии

Среднюю плотность минерального порошка в уплотнённом состоянии определяют после уплотнения его в специальной разъемной форме (рис. 1.2) объемом  $100 \text{ см}^3$  при удельной нагрузке прессования  $40 \text{ МПа}$  ( $400 \text{ кгс/см}^2$ ).

Нижнюю часть цилиндра помещают на поддон, взвешивают, а затем на нее устанавливают верхнюю часть. Из лабораторной пробы ( $3 \text{ кг}$ ), предварительно высушенной до постоянной массы при температуре  $105 \dots 110 \text{ }^\circ\text{C}$  порошок порциями по  $60 \dots 80 \text{ г}$  переносят в собранную форму, послойно распределяют и штыкуют ножом или шпателем, заполняя ее на  $15 \dots 20 \text{ мм}$  ниже верхнего края, и слегка прижимают вкладышем.



Затем пресс-форму переносят на пресс и плавно доводят уплотняющую нагрузку до  $40 \text{ МПа}$  и выдерживают это давление в течение  $3 \text{ мин}$ . После этого форму переносят на противень, снимают вкладыш и верхнюю часть формы и срезают излишек минерального порошка над нижней частью формы ножом. Нижнюю часть формы с поддоном и порошком взвешивают.

Среднюю плотность,  $\text{г/см}^3$ , рассчитывают по формуле

$$\rho_m = \frac{m - m_1}{V}, \quad (6.6)$$

Рис.6.2. Схема пресс-формы:

а) нижняя часть;

б) верхняя часть;

2 - вкладыш прессующий;

3 - поддон

где  $m$  – масса нижней части формы с поддоном и минеральным порошком, г;

$m_1$  – масса нижней части формы с поддоном, г;

$V$  – объем порошка равный  $100 \text{ см}^3$ .

#### 6.3.4. Определение пористости минерального порошка в уплотненном состоянии

Пористость минерального порошка в уплотнённом состоянии рассчитывается, %, по формуле

$$П = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_{м.п.}}\right) \cdot 100, \quad (6.7)$$

где  $\rho_m$  – средняя плотность минерального порошка, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{м.п.}$  – истинная плотность минерального порошка, г/см<sup>3</sup>.

#### 1.3.5. Определение набухания образцов из смеси порошка с битумом

Набухание косвенно характеризует содержание глинистых частиц в минеральном порошке и устойчивость асфальтобетона при попеременном увлажнении и высыхании.

За величину набухания принимают приращение объема образцов с водонасыщением от 4 до 5 % по объему из смеси минерального порошка с битумом после насыщения их водой в условиях вакуума и последующего выдерживания в горячей воде.

Испытание производят на образцах-цилиндрах диаметром 2,52 см или 5,05 см.

Для установления требуемого соотношения в смеси порошка и битума, при котором водонасыщение образцов будет составлять от 4 до 5 %, готовят последовательно несколько смесей с различным содержанием битума.

Из подготовленной пробы минерального порошка берут 100 или 1000 г (в зависимости от размера формы), помещают в металлическую чашку и нагревают активированный порошок до температуры 135...140 °С, неактивированный – до 150...160 °С. В порошок вводят битум марки БНД 60/90 или БНД 90/130, нагретый до температуры 140...160 °С. Содержание битума составляет 10...15 % для активированных порошков и 13...18 % - для неактивированных порошков. Смесь перемешивают в лабораторной мешалке или вручную металлической ложкой.

Образцы изготавливают в металлических пресс-формах. Форму и вкладыши нагревают до температуры 90...100 °С и протирают тканью, смоченной керосином. Форму с нижним вкладышем наполняют 25...30 или 200...240 г смеси (в зависимости от величины формы). Смесь штыкуют, затем вставляют верхний вкладыш, и устанавливают форму со смесью на пресс, плавно доводят давление до 10 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>) и выдерживают под этой нагрузкой 3 мин. Затем образец извлекают из формы. Всего изготавливают 3 образца. Не ранее чем на следующий день после изготовления образцов определяют водонасыщение.

На основе полученных данных строят график зависимости водонасыщения от содержания битума в смеси (рис. 1.3), по которому определяют количество битума, требуемое для получения водонасыщения в пределах от 4 до 5 % по объему.

С установленным количеством битума для проведения испытания изготавливают три образца. Образцы очищают от прилипших частиц смеси, после чего взвешивают на воздухе и в воде с температурой  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Взвешенные образцы помещают в вакуум-прибор с водой с температурой  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , при этом уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см. В вакуумной установке создают и поддерживают в течение 1 ч давление не более 0,002 МПа (15 мм рт. ст.). Затем давление доводят до атмосферного, при котором образцы выдерживают в течение 30 мин, после чего образцы переносят в другую емкость, в которой в течение 4 ч поддерживают температуру воды  $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Через 4 ч образцы помещают в воду с температурой  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и оставляют на 16...18 ч, после чего образцы извлекают из воды, обтирают и взвешивают на воздухе и в воде. Если температура за истекшие 16...18 ч изменилась более чем

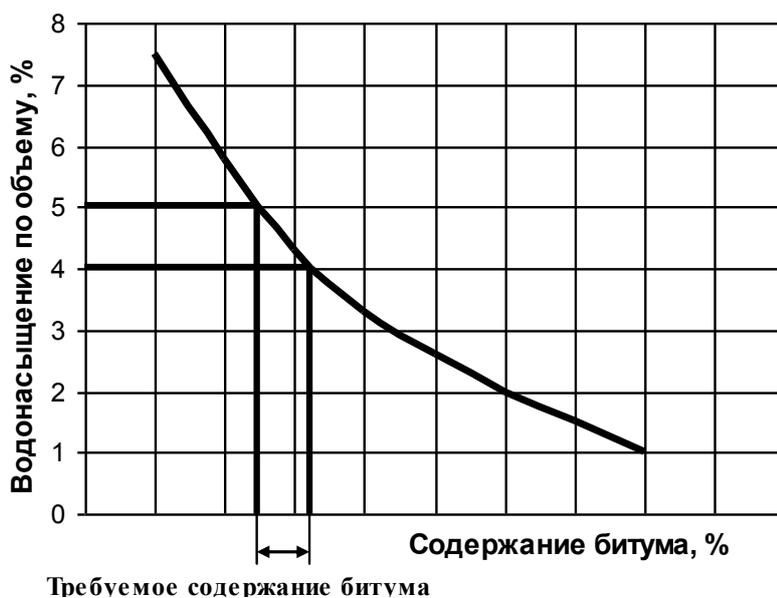


Рис. 6.3. Определение требуемого содержания битума

на  $2^\circ\text{C}$ , то за 30 мин до взвешивания ее доводят до  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Набухание образцов  $H$ , %, вычисляют по формуле

$$H = \frac{(m_2 - m_3) - (m - m_1)}{(m - m_1)} \cdot 100, \quad (6.8)$$

где  $m$  — масса образца на воздухе, г;

$m_1$  — масса образца в воде, г;

$m_2$  — масса образца на воздухе после насыщения водой, г;

$m_3$  — масса образца в воде после насыщения водой, г.

Набухание вычисляют как среднеарифметическое значение результатов трех параллельных испытаний.

### 6.3.6. Определение водостойкости образцов из смеси порошка с битумом

Сущность метода заключается в оценке степени падения прочности при сжатии образцов из смеси порошка с битумом после насыщения их водой в условиях вакуума и последующего выдерживания в горячей воде.

Для определения водостойкости изготавливают шесть образцов с водонасыщением от 4 до 5 % по объему (см п. 1.3.5.).

Три образца помещают в вакуум-прибор с водой с температурой  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ , при этом уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см. В вакуумной установке создают и поддерживают в течение 1 ч давление не более 0,002 МПа (15 мм рт. ст.). Затем давление доводят до атмосферного, при котором образцы выдерживают в течение 30 мин, после чего образцы переносят в другую емкость, в которой в течение 4 ч поддерживают температуру воды  $(60\pm 2)^\circ\text{C}$ .

Через 4 ч образцы на 16...18 ч помещают в воду с температурой  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ . После этого образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и испытывают на гидравлическом прессе на сжатие.

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

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (6.9)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кгс;

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

За результат определения принимают среднеарифметическое значение испытаний трех образцов.

Другие три образца хранят на воздухе в комнатных условиях в течение 0,5...2 сут, а непосредственно перед испытанием на сжатие термостатируют при температуре:  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ .

Водостойкость  $K_{\text{вод}}$ , определяют по формуле

$$K_{\text{вод}} = \frac{R_{\text{вод}}}{R}, \quad (6.10)$$

где  $R_{\text{вод}}$  – предел прочности при сжатии образцов после насыщения водой, МПа;

$R$  – предел прочности при сжатии образцов хранившимся на воздухе и, выдержанных перед испытанием при температуре  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ , МПа.

### 6.3.7. Определение показателя битумоемкости

Битумоемкость минерального порошка характеризуется определенным количеством минерального масла, при котором смесь его со  $100 \text{ см}^3$  порошка имеет такую консистенцию, когда глубина погружения металлического пестика в смесь составляет 8 мм.

Отвешивают 200...250 г высушенного минерального порошка. В фарфоровую чашку отвешивают 15 г минерального масла, температура которого  $20 \pm 2$  °С. К маслу небольшими порциями добавляют минеральный порошок и тщательно перемешивают смесь. Когда смесь приобретет пастообразную консистенцию и перестанет прилипать к стенкам фарфоровой чашки, ее укладывают в металлическую чашку, заглаживают ножом вровень с краями. Чашку со смесью устанавливают на подставку прибора Вика (рис. 1.4). На верхней части стержня прибора должен быть укреплен дополнительный груз массой 170 г. В нижний конец стержня прибора вставляют пестик диаметром  $10 \pm 0,1$  мм, подводят его к поверхности смеси и отмечают положение стрелки на

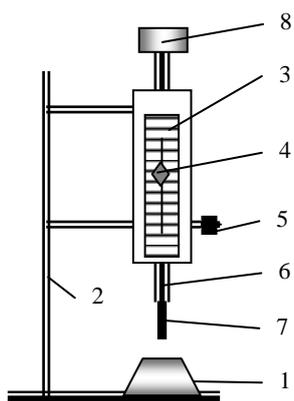


Рис. 6.4. Прибор Вика:  
 1 - кольцо с тестом;  
 2 - штатив; 3 - шкала;  
 4 - стрелка;  
 5 - стопорный винт;  
 6 - стержень; 7 - пестик;  
 8 - пригруз (170 г).

шкале. Затем пестик поднимают над поверхностью смеси на 20 мм и дают возможность стержню с пестиком свободно погружаться в смесь в течение 5 с, после чего отмечают положение стрелки на шкале. Если глубина погружения окажется больше или меньше 8 мм, делают новую смесь порошка с маслом, принимая количество порошка на 2...3 г больше или меньше первоначального, до тех

пор, пока глубина погружения пестика в смесь не будет составлять 8 мм.

Показатель битумоемкости (*ПБ*), г, вычисляют по формуле

$$ПБ = \frac{15 \cdot \rho_{м.п.}}{m - m_1} \cdot 100, \quad (6.11)$$

где  $\rho_{м.п.}$  – истинная плотность минерального порошка, г/см<sup>3</sup>;  
 $m$  – масса отвешенной порции порошка, г;  
 $m_1$  – масса оставшегося после испытания порошка, г;  
 100 – объем порошка, см<sup>3</sup>.

### 6.3.8. Определение влажности

Испытание проводят в двух чашках диаметром 10...15 см. Вымытые чашки помещают не меньше, чем на 30 мин в сушильный шкаф с температурой  $(105 \pm 5)$ °С, затем охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры.

Каждую чашку взвешивают. Из пробы порошка берут две навески по  $(50 \pm 5)$  г и высыпают в чашки, заполняя их равномерно без уплотнения. Чашки с порошком взвешивают и помещают в сушильный шкаф с температурой  $(105 \pm 5)$ °С, где высушивают порошок до постоянной массы, для установления которой чашки с порошком взвешивают через каждый час, охлаждая предварительно до комнатной температуры в эксикаторе с безводным хлористым кальцием.

Влажность порошка *W*, %, по массе, вычисляют по формуле

$$w = \frac{m - m_1}{m_1 - m_2} \cdot 100, \quad (6.12)$$

где  $m$  – масса чашки с порошком до высушивания, г;  
 $m_1$  – масса чашки с порошком после высушивания, г;  
 $m_2$  – масса чашки, г.

#### *Аттестационные вопросы*

1. Что представляет собой минеральный порошок?
2. Какие функции выполняет минеральный порошок в асфальтобетоне?
3. Как получают активированные минеральные порошки?
4. Перечислите основные показатели качества минерального порошка.
5. Изложите последовательность определения зернового минерального порошка.
6. Как определяют истинную плотность минерального порошка?
7. Изложите методику определения средней плотности минерального порошка в уплотнённом состоянии.
8. Как определяют пористость минерального порошка в уплотнённом состоянии?
9. Опишите порядок определения набухания смеси битума с минеральным порошком.
10. Как определяется битумоемкость минерального порошка?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### ПРИГОТОВЛЕНИЕ СМЕСЕЙ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПО ГОРЯЧЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

#### 7.1. Общие сведения

Технология изготовления образцов асфальтобетона включает приготовление смеси и ее уплотнение в специальных формах. Количество приготавливаемой смеси для последующей формовки образцов зависит от ее вида (песчаная, мелкозернистая, крупнозернистая), количества определяемых показателей. Для определения (проведения) требуемых по ГОСТ 12801-98 испытаний необходимо изготавливать не менее 12 образцов. Для учебных целей в лаборатории готовят 6 образцов. Песок, щебень и минеральный порошок (неактивированный) предварительно высушивают, а битум обезвоживают. Выбор размера формы зависит от максимального размера минеральных зерен и выбирается для обычной одиночной формы на основании данных табл. 7.1. Температура нагрева асфальтобетонной смеси назначается согласно данным табл. 7.3. Время перемешивания устанавливают опытным путем. Перемешивание считают законченным, если все минеральные зерна равномерно покрыты вяжущим и в смеси нет отдельных сгустков.

Таблица 7.1

Выбор размера формы

Наибольшая крупность минеральных зерен, мм	Размеры форм, мм						Площадь образца, см <sup>2</sup>
	$d$	$d_1$	$H$	$h_1$	$h_2$	$\delta$	
5	50,5	-	130	80	50	10	20
10, 15, 20	71,4	-	160	100	60	12	40
40	101	-	180	110	70	12	80

#### 9.2. Цель работы

Ознакомление с методикой приготовления смесей и изготовления образцов асфальтобетона в лабораторных условиях по ГОСТ 12801-98.

#### 9.3. Порядок выполнения работы

Предварительно высушенные минеральные материалы в расчетном количестве на 3 или 6 образцов помещают в металлическую емкость и нагревают до температуры, соответствующей данным табл. 7.3. Смесь при нагревании постоянно перемешивают.

В нагретые минеральные материалы постепенно вводят требуемое количество вяжущего, нагретого до температуры, указанной в табл. 7.3, и всю смесь тщательно перемешивают вручную при температуре, соответствующей данным табл. 7.3.

Ориентировочное количество асфальтобетонной смеси для приготовления одного образца зависит от размера формы и принимается по табл. 7.2.

Таблица 7.2

Характеристики формы, образца и смеси

Тип и размеры формы, мм	Высота отформованного образца, мм	Ориентировочное количество смеси, г
Цилиндр диаметром 50,5	50,5 ±1,0	220...240
Цилиндр диаметром 71,4	71,4 ±1,5	640...670
Цилиндр диаметром 101,0	101,0 ±2,0	1900...2000

Таблица 7.3

Температура нагрева сырьевых материалов и асфальтобетонной смеси

Наименование материалов	Температура нагрева, °С, в зависимости от показателей вяжущего						
	глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм					условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм, с	
	40...60	61...90	91...130	131...200	201...300	70...130	131...200
Минеральные материалы	170...180	165...175	160...170	150...160	140...150	100...120	120...140
Вяжущее	150...160	140...150	130...140	110...120	100...110	80...90	90...100
Смесь	150...160	145...155	140...150	130...140	120...130	80...100	100...120

*Примечание: При применении поверхностно-активных веществ или активированных минеральных порошков температуру нагрева минеральных материалов и смесей снижают на 10...20 °С (за исключением холодных смесей).*

Уплотнение образцов асфальтобетона из смесей, содержащих до 50 % щебня по массе, производят прессованием при двухстороннем обжатии под давлением  $40 \pm 0,5$  МПа.

При изготовлении образцов из горячих смесей формы и вкладыши предварительно нагревают до температуры 90...100 °С. При изготовлении образцов из холодных смесей формы не нагревают. Затем их вынимают из сушильного шкафа, протирают тканью, смоченной в машинном масле или керосине. После этого форму собирают, отвешивают необходимое для одного образца количество нагретой смеси, равномерно распределяют ее в форме нагретым ножом или шпателем. Ориентировочное количество смеси для заполнения форм должно соответствовать табл. 50. Затем вставляют верхний вкладыш, прижимают им смесь и прессуют, доводя давление до 40 МПа в течение 5...10 с. При данном давлении смесь выдерживают 3 мин. Затем нагрузку снимают и при помощи специального выжимного приспособления извлекают образец из формы. Выпрессовав образец, его осматривают. Образцы с дефектами кромок и непараллельными основаниями бракуют. У отпрессованного образца обязательно замеряют высоту, и если она отличается от требуемой (табл. 50), то при изготовлении следующих образцов вносят поправку на требуемую массу смеси  $g$ , г, по формуле:

$$g = g_0 \frac{h}{h_0}, \quad (7.1)$$

где  $g_0$  – масса пробного образца, г;  
 $h_0$  – высота пробного образца, мм;  
 $h$  – требуемая высота образца, мм.

Если в асфальтобетонной смеси содержится щебня более 50 %, то уплотнение смеси в формах ведут комбинированным способом. Для этого форму со смесью предварительно подвергают вибрации в течение 3 мин на лабораторной виброплощадке с нагрузкой 0,025...0,030 МПа. По окончании вибрации форму со смесью устанавливают на плиту прессы для доуплотнения, нагрузку доводят до 20 МПа и выдерживают при этой нагрузке 3 мин. Затем нагрузку снимают и образец извлекают из формы. Оценку физико-механических свойств изготовленных образцов асфальтобетона производят после их остывания, но не ранее чем через 4 часа после их изготовления.

#### *Аттестационные вопросы*

1. Изложите последовательность приготовления асфальтобетонной смеси.
2. Каким образом устанавливают время перемешивания асфальтобетонной смеси ?
3. Каковы особенности изготовления образцов при использовании добавок ПАВ?
4. Изложите последовательность изготовления образцов асфальтобетона.
5. Каким образом устанавливают необходимую массу формовочной смеси?
6. Изложите методику формования асфальтобетонной смеси с содержанием щебня более 50 %.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА

### 8.1. Общие сведения

**Асфальтобетонная смесь** – рационально подобранная и перемешанная в нагретом состоянии смесь щебня, песка, минерального порошка с битумом.

**Асфальтобетон** – уплотненная асфальтобетонная смесь.

Асфальтобетонные смеси в зависимости от вязкости используемого битума и температуры при укладке подразделяют на: *горячие*, приготавливаемые с использованием вязких и жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 120 °С; *холодные*, приготавливаемые с использованием жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 5 °С.

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяют на марки, указанные в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Виды, типы, марки смесей и асфальтобетонов

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Марки
Горячие:	
высокоплотные	I
плотные типов:	
А	I, II
Б, Г	I, II, III
В, Д	II, III
пористые и высокопористые	I, II
Холодные типов:	
Бх, Вх	I, II
Гх	I, II
Дх	II

Основной характеристикой асфальтобетона является прочность. Прочность указывает границы допустимых напряжений, возникающих в процессе эксплуатации. Особенностью разрушения асфальтобетона по сравнению с другими каменными материалами является резко выраженная зависимость прочности от времени действия нагрузки и температуры. В зависимости от температуры асфальтобетон может находиться в трех состояниях: упругохрупком, упругопластичном и упруговязком.

Наряду с напряжениями, получаемыми от воздействия автомобилей, асфальтобетон подвергается воздействию атмосферных и талых вод. Вода, проникая в поры асфальтобетона, приводит к понижению прочности материала.

Значительно разрушает структуру асфальтобетона его частое попеременное увлажнение и высыхание. Перемещаясь в порах, вода вызывает неравномерное распределение напряжений, что также способствует разрушению асфальтобетона.

Наиболее разрушительное воздействие на асфальтобетон оказывает происходящее весной и осенью попеременное замораживание-оттаивание.

Комплекс физико-механических свойств асфальтобетона определяют в лаборатории с целью прогнозирования его водоустойчивости, морозостойкости, сдвигустойчивости, растяжимости, деформативности и др.

Физико-механические свойства высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей различных марок, применяемых в конкретных дорожно-климатических зонах, должны соответствовать указанным в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Физико-механические характеристики плотных асфальтобетонов

Наименование показателя	Значение для асфальтобетонов марки								
	I			II			III		
	для дорожно-климатических зон								
	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее, для асфальтобетонов:									
высокоплотных	1,0	1,1	1,2	—	—	—	—	—	—
плотных типов:									
А	0,9	1,0	1,1	0,8	0,9	1,0	—	—	—
Б	1,0	1,2	1,3	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,1
В	—	—	—	1,1	1,2	1,3	1,0	1,1	1,2
Г	1,1	1,3	1,6	1,0	1,2	1,4	0,9	1,0	1,1
Д	—	—	—	1,1	1,3	1,5	1,0	1,1	1,2
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	2,5	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0
Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не более	9,0	11,0	13,0	10,0	12,0	13,0	10,0	12,0	13,0
Водостойкость, не менее:									
плотных асфальтобетонов	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80	0,85	0,75	0,70
высокоплотных асфальтобетонов	0,95	0,95	0,90	—	—	—	—	—	—
плотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении	0,90	0,85	0,75	0,85	0,75	0,70	0,75	0,65	0,60
высокоплотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении	0,95	0,90	0,85	—	—	—	—	—	—

Физико-механические свойства пористых и высокопористых асфальтобетонов из горячих смесей должны соответствовать значениям, указанным в табл. 8.3.

Таблица 8.3

## Физико-механические характеристики пористых асфальтобетонов

Наименование показателя	Значение для марки	
	I	II
Предел прочности при сжатии при температуре 50°С, МПа, не менее	0,7	0,5
Водостойкость, не менее	0,7	0,6
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,6	0,5
Водонасыщение, % по объему, для:		
пористых асфальтобетонов	5,0...10,0	5,0...10,0
высокопористых асфальтобетонов	10,0...18,0	10,0...18,0

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов из холодных смесей различных марок должны соответствовать указанным в табл. 8.4.

Таблица 8.4

## Физико-механические свойства асфальтобетонов из холодных смесей

Наименование показателя	Значение для марки и типа			
	I	II		
	Бх, Вх	Гх	Бх, Вх	Гх, Дх
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа, не менее				
<i>до прогрева:</i>				
сухих	1,5	1,7	1,0	1,2
водонасыщенных	1,1	1,2	0,7	0,8
после длительного водонасыщения	0,8	0,9	0,5	0,6
<i>после прогрева:</i>				
сухих	1,8	2,0	1,3	1,5
водонасыщенных	1,6	1,8	1,0	1,2
после длительного водонасыщения	1,3	1,5	0,8	0,9

## 8.2. Цель работы

Изучение способов определения основных физико-механических свойств асфальтобетона.

## 8.3. Порядок выполнения работы

## 8.3.1. Определение физических свойств асфальтобетона

## 8.3.1.1. Определение средней плотности уплотненного материала (асфальтобетона)

Сущность метода заключается в определении средней плотности образцов с помощью гидростатического взвешивания.

Каждый образец асфальтобетона взвешивают на воздухе с точностью до 0,01 г, затем погружают в воду на 30 мин ( $t = 20 \pm 2$  °С), а затем вторично взвешивают сначала на воздухе, а затем в воде. После взвешивания в воде

образцы обтирают мягкой тканью и вторично взвешивают на воздухе. Среднюю плотность ( $\text{г/см}^3$ ) асфальтобетона рассчитывают с погрешностью 0,01 по формуле

$$\rho_m = \frac{g \cdot \rho_в}{g_2 - g_1}, \quad (8.1)$$

где  $g$  – масса образца на воздухе, г;

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

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

$\rho_в$  – плотность воды, равная  $1 \text{ г/см}^3$ .

За среднюю плотность принимают среднее арифметическое по результатам испытаний трех образцов. Результаты испытаний не должны отличаться между собой более чем на  $0,03 \text{ г/см}^3$ , в противном случае испытывают дополнительно три образца и вычисляют среднее арифметическое значение из шести значений.

#### 8.3.1.2. Определение средней плотности минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении плотности минеральной части (остова) уплотненной смеси с учетом имеющихся в ней пор.

Средняя плотность минеральной части определяется расчетным методом с учетом предварительно установленной средней плотности образцов и соотношения минеральных материалов, органического вяжущего и воды при наличии ее в смесях.

Среднюю плотность минеральной части смеси  $\rho_m^M$ ,  $\text{г/см}^3$ , вычисляют по формуле

$$\rho_m^M = \frac{\rho_m}{1 + 0,01q_\delta}, \quad (8.2)$$

где  $\rho_m$  – средняя плотность образцов асфальтобетона,  $\text{г/см}^3$ ;

$q_\delta$  – массовая доля вяжущего в асфальтобетоне, % (сверх 100 % минеральной части).

#### 8.3.1.3. Определение истинной плотности минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении расчетным путем плотности минеральной части асфальтобетона без учета имеющихся в ней пор.

Истинную плотность минеральной части асфальтобетона ( $\rho^M$ ,  $\text{г/см}^3$ ) определяют расчетным способом (с погрешностью  $0,01 \text{ г/см}^3$ ) на основании предварительно установленных значений истинных плотностей щебня, песка, минерального порошка, а также их содержания в смеси по формуле

$$\rho^m = \frac{100}{\frac{q_1}{\rho_1} + \frac{q_2}{\rho_2} + \dots + \frac{q_n}{\rho_n}}, \quad (8.3)$$

где  $q_1, q_2, q_n$  – массовая доля отдельных минеральных материалов в минеральной части асфальтобетона, %;

$\rho_1, \rho_2, \rho_n$  – истинная плотность отдельных минеральных материалов, г/см<sup>3</sup>.

#### 8.3.1.4. Определение истинной плотности смеси

Сущность метода заключается в определении истинной плотности смеси без учета имеющихся в ней пор.

Истинную плотность ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>) асфальтобетонной смеси определяют после подбора состава асфальтобетона расчетным методом (с погрешностью 0,01 г/см<sup>3</sup>) на основании предварительно установленных значений истинных плотностей минеральной части, вяжущего и их массовых соотношений в смеси по формуле

$$\rho = \frac{q_m + q_\delta}{\frac{q_m}{\rho^m} + \frac{q_\delta}{\rho^\delta}}, \quad (8.4)$$

где  $\rho^m$  – истинная плотность минеральной части смеси, г/см<sup>3</sup>;

$\rho^\delta$  – истинная плотность вяжущего, г/см<sup>3</sup>;

$q_m$  – массовая доля минеральных материалов в смеси, % (принимается за 100 %);

$q_\delta$  – массовая доля вяжущего в смеси, % (сверх 100 %).

Истинную плотность смесей из дорожных покрытий (вырубок) и смесей, отобранных из смесителя, определяют только с помощью пикнометра.

#### 8.3.1.5. Определение пористости минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении объема пор, имеющихся в остове асфальтобетона или уплотненной смеси.

Пористость минеральной части асфальтобетона ( $V_{пор}^m$ , %) определяют расчетным методом (с погрешностью 0,1 %) на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотности минеральной части смеси по формуле

$$V_{пор}^m = (1 - \frac{\rho_m}{\rho}) \cdot 100\%, \quad (8.5)$$

где  $\rho_m$  – средняя плотность уплотненной смеси, г/см<sup>3</sup>;

$\rho$  – истинная плотность смеси, г/см<sup>3</sup>.

Пористость минеральной части асфальтобетонов из горячих смесей должна быть, %, не более: высокоплотных – 16; плотных (типа А и Б) – 19, (типа В, Г, Д) – 22; пористых – 23; высокопористых щебеночных – 24 и высокопористых песчаных – 28. Для холодных смесей этот показатель – 18...22 %.

#### 8.3.1.6. Определение остаточной пористости

Сущность метода заключается в определении объема пор, имеющих в уплотненной смеси или асфальтобетоне.

Остаточную пористость образцов из асфальтобетона ( $V_{пор}^o$ , %) определяют расчетом на основании предварительно установленных средней и истинной плотностей по формуле

$$V_{пор}^o = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (8.6)$$

где  $\rho_m$  – средняя плотность уплотненной смеси (см. раздел 8.3.1.1.), г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho$  – истинная плотность смеси (см. раздел 8.3.1.4.), г/см<sup>3</sup>.

Остаточная пористость у асфальтобетонов из горячих смесей должна быть: у высокоплотных - 1...2,5 %; у плотных - 2,5...5 %; у пористых - 5...10 %; у высокопористых - 10...18 %. Асфальтобетоны из холодных смесей должны иметь остаточную пористость от 6 до 10 %.

#### 8.3.1.7. Определение водонасыщения

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

Водонасыщение определяют на образцах цилиндрической формы.

Водонасыщение является характеристикой плотности асфальтобетона и его остаточной пористости. Для определения водонасыщения используют образцы, на которых определяли среднюю плотность.

После определения средней плотности образцы помещают в сосуд с водой, имеющей температуру  $20 \pm 2$  °С. Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см. Затем сосуд с образцами и водой помещают под стеклянный сосуд вакуум-прибора, где создают и выдерживают в течение 1 ч остаточное давление не более 2000 Па (15 мм. рт. ст.). При испытании холодных смесей время выдержки составляет 30 мин. Затем давление доводят до атмосферного, выдерживают образцы в воде еще 30 мин. После этого образцы извлекают из воды, взвешивают в воде, обтирают мягкой тканью и взвешивают на воздухе.

Водонасыщение образца ( $W$ , %) вычисляют по формуле

$$W = \frac{g_3 - g}{g_2 - g_1} \cdot 100\%, \quad (8.7)$$

где  $g$  – масса образца, взвешенного на воздухе, г;  
 $g_1$  – масса образца, взвешенного в воде, г;  
 $g_2$  – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г;  
 $g_3$  – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г.

Водонасыщение высокоплотных асфальтобетонов должно составлять 1...2,5 %, а для плотных типов: А – 2,0...5,0 %; Б, В и Г – 1,5...4,0 % и Д – 1,0...4,0 % по объему. Для холодных смесей этот показатель составляет от 5 до 9 %.

### 8.3.1.8. Определение набухания

Набухание представляет собой приращение объема образца после насыщения его водой. Причиной набухания является, в основном, присутствие в минеральной части асфальтобетона глинистых и илистых включений.

Для определения набухания используют данные, полученные при определении средней плотности ( $\rho_m$ ) и водонасыщения ( $W$ ). Набухание ( $H$ , %) рассчитывают по формуле

$$H = \frac{(g_3 - g_4) - (g_2 - g_1)}{g_2 - g_1} \cdot 100\%, \quad (8.8)$$

где  $g_1$  – масса образца, взвешенного в воде, г;  
 $g_2$  – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г;  
 $g_3$  – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г.  
 $g_4$  – масса насыщенного водой образца, взвешенного в воде, г.

Набухание определяют как среднеарифметическое значение трех определений.

### 8.3.2. Определение механических свойств асфальтобетона

#### 8.3.2.1. Определение предела прочности при сжатии

Сущность метода заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца при заданных условиях.

Образцы горячего асфальтобетона (3 шт.) после изготовления выдерживают не менее 12 часов. Затем образцы помещают для термостатирования в воду на 1 час с заданной температурой ( $50 \pm 2$  °С), ( $20 \pm 2$  °С) или ( $0 \pm 2$  °С). Температуру  $0 \pm 2$  °С создают смешением воды со льдом.

Испытание на сжатие производят на гидравлических или механических прессах при скорости движения плиты пресса  $3,0 \pm 0,5$  мм/мин. После термостатирования в воде образцы вынимают, обтирают мягкой тканью,

помещают на нижнюю плиту пресса, предварительно положив под образец и сверху его плотный картон.

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

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \cdot 10^2, \quad (8.9)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$F$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;

$10^2$  – коэффициент пересчета в МПа.

За результат определения принимают среднее арифметическое значение испытания трех образцов.

#### 8.3.2.2. *Определение водостойкости при длительном водонасыщении*

Сущность метода заключается в оценке степени падения прочности образцов асфальтобетона после воздействия на них воды в течение 15 суток.

Образцы, предварительно насыщенные водой в вакуумной установке (п. 8.3.1.7.) переносят в сосуд с водой, имеющей температуру  $20 \pm 5$  °С, и выдерживают в ней 15 суток. Затем образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и определяют предел прочности при сжатии (п. 8.3.2.1.).

Водостойкость асфальтобетона при длительном водонасыщении вычисляют по формуле

$$K_{вд} = \frac{R_{сж}^{вд}}{R_{сж}^{20}}, \quad (8.10)$$

где  $R_{сж}^{20}$  – предел прочности при сжатии при температуре  $20 \pm 5$  °С образцов до насыщения водой;

$R_{сж}^{вд}$  – предел прочности асфальтобетона при сжатии после насыщения водой в течение 15 суток, МПа.

#### 8.3.2.3. *Определение предела прочности асфальтобетона на растяжение при изгибе и показателей деформативности*

Сущность метода заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца при изгибе, и соответствующих деформаций растяжения.

Величину предела прочности при изгибе необходимо знать при расчете прочности нежестких дорожных одежд.

Определение предела прочности при изгибе производят на образцах-балочках  $4 \times 4 \times 16$  см. Уплотнение образцов производят прессованием при удельном давлении  $12,5 \pm 2,5$  МПа, при времени выдержки при этом давлении – 3

мин. Изготовленные образцы перед испытанием выдерживают не менее 4 ч в воздушно-сухой среде при температуре  $20 \pm 2$  °С.

Для испытания балочку устанавливают на двух опорах. При испытании скорость деформирования должна составлять 100 мм/мин. Усилие прикладывается посередине образца через пластинку шириной не более 8 мм.

Предел прочности на растяжение при изгибе (МПа) вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3P\lambda}{2bh^2} \cdot 10^2, \quad (8.11)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$\ell$  – расстояние между опорами, 10 см;

$b$  – ширина образца, см;

$h$  – высота образца, см;

$10^2$  – коэффициент пересчета в МПа.

При достижении разрушающей нагрузки одновременно по индикатору фиксируют величину прогиба и рассчитывают предельную относительную деформацию растяжения при изгибе  $\varepsilon_{np}$  по формуле:

$$\varepsilon_{np} = \frac{6 \cdot f_{np} \cdot h}{\lambda^2}, \quad (8.12)$$

где  $f_{np}$  – максимальная величина прогиба образца в момент разрушения, см.

Модуль деформации,  $E$ , МПа вычисляют по формуле

$$E = \frac{P \cdot \lambda^3}{4 \cdot f_{np} \cdot b \cdot h^3}, \quad (8.13)$$

где  $P$  – нагрузка на образец, Н;

$f_{np}$  – прогиб образца в середине пролета, см.

Величины  $\varepsilon_{np}$  и  $E$  принимают как среднее арифметическое испытаний трех образцов.

#### 8.3.2.4. Определение предела прочности на растяжение при расколе

Сущность метода заключается в определении нагрузки, необходимой для раскалывания цилиндрического образца по образующей.

Определение предела прочности на растяжение при раскалывании необходимо для оценки показателя трещиностойкости асфальтобетона.

Перед испытанием образцы термостатируют в течение 1 часа в воде при температуре  $0 \pm 2$  °С. Такую температуру создают смешиванием воды со льдом.

Испытания производят на прессах. Образцы устанавливают на боковую поверхность и производят нагружение, фиксируя разрушающую нагрузку (рис. 8.1).

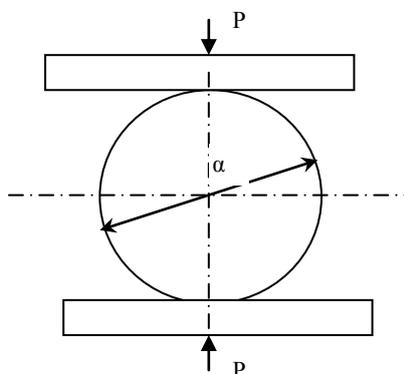


Рис. 8.1. Схема испытания образцов на растяжение при расколе

Предел прочности на растяжение при расколе  $R_p$ , МПа вычисляют по формуле:

$$R_p = \frac{P}{hd} \cdot 10^2, \quad (8.14)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$h$  – высота образца, см;

$d$  – диаметр образца, см;

$10^2$  – коэффициент пересчета в МПа.

#### *Аттестационные вопросы*

1. Дайте определение асфальтобетону, асфальтобетонной смеси.
2. Как классифицируются асфальтобетоны?
3. Перечислите основные факторы разрушения асфальтобетона.
4. Приведите методику определения средней плотности асфальтобетона.
5. Как определяется средняя плотность минеральной части асфальтобетона?
6. Как определяется истинная плотность минеральной части асфальтобетона?
7. Как определяется истинная плотность асфальтобетонной смеси?
8. Как определяется пористость минеральной части асфальтобетона?
9. Как определяется остаточная пористость асфальтобетона?
10. Изложите последовательность определения водонасыщения асфальтобетона.
11. Приведите методику определения набухания асфальтобетона.

12. Приведите методику определения предела прочности при сжатии асфальтобетона.
13. Изложите последовательность определения водостойкости асфальтобетона.
14. Приведите методику предела прочности на растяжение при изгибе и показателей деформативности асфальтобетона.
15. Приведите методику предела прочности на растяжение при расколе для асфальтобетона.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2003.- 701 с.
2. Грушко И.М., Золотарев В.А., Глущенко и др. Испытание дорожно-строительных материалов. Лабораторный практикум.- М.: Транспорт, 1985.- 200 с.
3. СНиП 3.09.01-85 Производство сборных железобетонных конструкций и изделий.- М.: Изд-во стандартов, 1985. - 31 с.
4. ГОСТ 10181.1-81 Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.- М.: Изд-во стандартов, 1981. - 8 с.
5. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.- М.: Изд-во стандартов, 1985. - 6 с.
6. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 1990. - 36 с.