

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра технических систем в агробизнесе, природообустройстве
и дорожном строительстве

Дьяченко А.В.

Орехова Г.В.

Технология и средства механизации производства дорожно-строительных материалов

методические указания для выполнения практических занятий
и самостоятельной работы

для обучающихся по направлению подготовки

23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Брянская область 2019

УДК 625.08 (076)
ББК 38.6-5
Д 93

Дьяченко, А. В. Технология и средства механизации производства дорожно-строительных материалов: методические указания для выполнения практических занятий и самостоятельной работы для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы. Ч. I / А. В. Дьяченко, Г. В. Орехова. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. - 160 с.

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Технология и средства механизации производства дорожно-строительных материалов» для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы. Целью методических указаний является изучение свойств дорожно-строительных материалов.

Рецензент: к.э.н., доцент каф. ТОЖ и ПП Исаев Х.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол №8 от 28 июня 2019 г.

© Брянский ГАУ, 2019
© Дьяченко А.В., 2019
© Орехова Г.В., 2019

Содержание

Предисловие	4
<i>Практическое занятие №1</i>	
Свойства грунтов	5
<i>Практическое занятие №2</i>	
Свойства щебня (гравия)	31
<i>Практическое занятие №3</i>	
Свойства песка	44
<i>Практическое занятие №4</i>	
Свойства минерального порошка	56
<i>Практическое занятие №5</i>	
Свойства органических вяжущих	68
<i>Практическое занятие №6</i>	
Подбор состава асфальтобетонной смеси	82
<i>Практическое занятие №7</i>	
Свойства асфальтобетонных образцов	95
<i>Практическое занятие №8</i>	
Свойства цемента	104
<i>Практическое занятие №9</i>	
Свойства цементобетонных смесей и цементобетона	128
<i>Практическое занятие №10</i>	
Расчет состава цементобетона	145

Предисловие

Настоящие методические указания включают в себе: краткие теоретические сведения по изучаемой теме, перечень основных свойств испытуемых материалов по ГОСТ, описание методики испытаний и приборов, а также формы таблиц и расчетные формулы для регистрации и обработки данных испытаний.

К каждой лабораторной работе студенты обязаны готовиться: проработать соответствующие темы, пользуясь источниками из списка рекомендуемой литературы; тщательно изучить методические указания; выполнить подготовительную работу по составлению отчета (уяснить последовательность проведения испытаний, ознакомиться с формами таблиц и формулами для обработки данных испытаний).

Компетенции, формируемые в результате проведения лабораторных работ:

ПК-14 - *Способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в организации производства и эксплуатации наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования.*

Знать: основы организации эксплуатации и производства средств механизации производства дорожно-строительных материалов; основные понятия о технологии производства; основные понятия и требования, предъявляемые к средствам механизации для дробления каменных материалов, производства цемента, асфальта, асфальтобетонных и цементобетонных смесей

Уметь: в составе коллектива исполнителей участвовать в организации эксплуатации и производства средств механизации производства дорожно-строительных материалов; различать основные типы средств механизации производства дорожно-строительных материалов, основные типы приводов, рабочих органов; представлять устройство и принцип действия основных типов машин для производства дорожно-строительных материалов

Владеть: способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в организации эксплуатации и производства средств механизации производства дорожно-строительных материалов; методами определения основных эксплуатационных свойств и характеристик средств механизации для производства дорожно-строительных материалов, характеристик машин и комплексов, технологией производства дорожно-строительных материалов

Практическое занятие №1

Свойства грунтов

Грунт - горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную геологическую систему, являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека и используемые как основание, среда или материал для возведения зданий, дорог и инженерных сооружений.

Вещественный состав грунта включает в себя:

а) твердую минеральную массу, состоящую из первичных зерен *скелета грунта* (обломков горных пород и минералов) и вторичных частиц, служащих цементирующим веществом грунта;

б) *органические вещества*, которые могут быть представлены торфом (грубой полуразложившейся массой растительных остатков) и гумусом (продуктом разложения растительных остатков в виде темного бесструктурного вещества);

в) *воду* в различных агрегатных состояниях и количествах.

I. Физические свойства грунтов характеризуют их физическое состояние в условиях природного (ненарушенного) залегания.

1. Плотность - это отношение массы твердых частиц грунта к их объему.

2. Пористость - суммарный объем всех пор в единице объема грунта, независимо от их величины, заполнения и характера взаимосвязи. Коэффициент пористости равен отношению объема пустот к объему твердой фазы грунта, выраженному в долях единицы.

3. Влажность - это содержание в грунте того или иного количества воды. Количество воды, содержащейся в порах грунта, в условиях его природного залегания называется *естественной влажностью*. Особое значение имеет влажность для *глинистых* грунтов, т.к. они резко меняют свойства в зависимости от степени увлажнения.

II. Водные свойства - возникают в грунтах при взаимодействии их с водой или характеризуют отношения грунтов к воде.

1. Консистенция - степень подвижности частиц грунта, обу-

словенная различным содержанием в нем воды. Характеризует глинистые грунты и бывает твердой, пластичной или текучей.

2. Пластичность - способность грунта изменять форму без нарушения сплошности под воздействием внешних усилий и сохранять приданную форму после устранения воздействия. Пластичность грунтов изменяется в зависимости от количества и качества находящейся в грунте воды.

3. Липкость - способность грунтов, содержащих глинистые частицы при определенном содержании воды прилипать к предметам. Определяется усилием (МПа), которое надо приложить, чтобы оторвать предмет от грунта.

4. Размокаемость - способность грунта при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной или частичной потерей несущей способности.

5. Размягчаемость - уменьшение прочности грунта под влиянием увлажнения. Характеризуется коэффициентом размягчаемости, который равен отношению прочности водонасыщенного грунта к прочности сухого грунта.

6. Набухание - способность грунтов, содержащих глинистые частицы, увеличиваться в объеме при увлажнении.

7. Усадка - процесс снижения объема глинистых грунтов при высыхании.

8. Влагоёмкость - способность грунтов вмещать в порах и удерживать на поверхности частиц то или иное количество воды.

9. Водоотдача - способность грунта, насыщенного водой, отдавать ее под действием силы тяжести.

10. Капиллярность - наличие в грунте мелких, способствующих поднятию по ним некоторого количества воды из водоносного слоя в вышележащие слои.

11. Водопроницаемость - способность грунта пропускать через себя некоторое количество воды в единицу времени.

12. Водонасыщение - это свойство дисперсных грунтов впитывать и удерживать в себе свободную воду.

III. Механические свойства проявляются при приложении к грунтам внешних усилий:

1. Деформируемость грунтов проявляется в изменении

формы и объёма при воздействии внешних усилий, не приводящих к разрушению.

2. Прочность - степень сопротивления грунта разрушающему воздействию на него внешних сил.

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 грунты делятся на три класса:

- **Скальные** (*скальные и полускальные*);
- **Дисперсные** (*несвязные и связные*);
- **Мерзлые** (грунты первых двух классов с криогенными структурными связями).

Скальный - грунт, состоящий из кристаллитов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи *кристаллизационного* типа.

Большинство магматических горных пород (кроме рыхлых вулканокластических), метаморфических пород (кроме глинистых сланцев), а также ряд осадочных горных пород, цементированным прочным водостойким цементом относят к скальным грунтам (*гранит, базальт, мрамор, известняк, брекчия и др.*). Это жесткие, прочные, не изменяющиеся при увлажнении породы.

Полускальный - грунт, состоящий из одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи *цементационного* типа. Сильно выветренные магматические и метаморфические, а так же некоторые осадочные породы относят к полускальным грунтам. Они жесткие и прочные в сухом состоянии. Но размягчаются при увлажнении, т.к. их связи ослаблены. Многие породы, отнесенные к полускальным грунтам, пористы или сильно трещиноваты.

Условная граница между *скальными* и *полускальными* грунтами принимается по прочности на одноосное сжатие ($R_c \geq 5$ МПа - скальные грунты, $R_c < 5$ МПа - полускальные грунты).

Дисперсный - грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабо связанных друг с другом. Образуется в результате выветривания скальных грунтов.

Дисперсные грунты делятся на *несвязные* (*крупнообломочные, среднеобломочные – пески, мелкообломочные - пылева-*

тые) и **связные** (глинистый грунт, ил, сапропель, торф).

Несвязные грунты (обломочные) - обладающие сыпучестью в сухом состоянии:

а) **крупнообломочный (грубообломочный) грунт** - несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером более 2 мм составляет более 50% (валуны, щебень, галька, дресва, гравий). Отличаются высокой водопроницаемостью.

При плотном расположении окатанных обломков они слабо уплотняются под нагрузкой и являются достаточно надежным основанием, однако, могут обладать пониженным сопротивлением сдвигу.

Неокатанные обломки (дресва) непригодны в качестве оснований сооружений из-за их неоднородности, слабой уплотненности и неустойчивости на склонах.

б) **среднеобломочные (пески)**. Песок - несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером меньше 2 мм составляет более 50% ($I_p = 0$). Для них характерны такие общие инженерно-геологические свойства:

- полное или частичное отсутствие сил сцепления между зернами в сухом состоянии;
- зависимость прочности и сопротивления сдвигу не от влажности, а от плотности и окатанности зерен;
- склонность к быстрой осадке при сотрясении;
- умеренная пористость (30...40%) и водопроницаемость более 1 м/сут;
- сохранение объема при увлажнении и высыхании.

Поведение песков в основаниях сооружений определяется их генезисом: *золотые пески* наиболее рыхлые. Это может привести к значительным и неравномерным осадкам, особенно при сотрясении. Иногда при увлажнении такие пески доуплотняются, что ведет к осадке сооружений;

- плотные крупно- и разнородные *пески морского, речного, водноледникового и ледникового* происхождения могут являться надежным основанием. Но при сжатии таких песков в водонасыщенном состоянии они могут терять прочность и переходить в плавунное (разжиженное) состояние, особенно глини-

стые, илистые и слюдистые пески. В природном залегании они обычно прочны, но при вскрытии котлованами проявляют свойство пльвунности. Для того чтобы пльвуны стали надежными основаниями сооружений необходимо исключить возможность их движения.

Эффективные мероприятия по уплотнению сыпучих тел: встряхивание; метод силикатизации песков (для создания искусственного цемента в виде геля кремниевой кислоты в песок инъецируется жидкое стекло и раствор CaCl_2).

в) для *мелкообломочных (пылеватых)* грунтов наиболее значительным с точки зрения строительства свойством является способность уменьшаться в объеме при увлажнении - просадочность. Пылеватые породы образуются в сухом климате, они обладают значительной пористостью и водонестойкими связями между частицами, что ведет к деформации сооружений. Использование пород лёссовой подгруппы в качестве оснований сооружений требует специальной подготовки. С этой целью производят обжиг грунтов (по специально пробуренным скважинам пропускают горячий воздух).

Связные грунты:

Глинистые грунты - связный минеральный грунт, обладающий числом пластичности $I_p \geq 0$. Имеют следующие характерные особенности:

- пластичность, липкость и набухание при увлажнении, усадка при высыхании;
- высокое водопоглощение, капиллярное поднятие, практическая водонепроницаемость;
- зависимость прочности от степени увлажнения пород;
- возможность нахождения в различных консистенциях.

Поведение глинистых грунтов определяется их генезисом:

- *древние морские* осадки, как правило, достаточно плотны, имеют твердую или полутвердую консистенцию и обычно являются вполне надежным основанием;
- *современные морские* осадки обладают высокой пористостью (42...90%), влажностью (45...100%), сжимаемостью, из-за чего их относят к слабым основаниям; *современные континен-*

тальные глины, как правило, слабо уплотнены, могут иметь пластичную или текучую консистенцию. Поэтому такие грунты могут иметь большие и неравномерные осадки. Особенно ненадежны как основания *озёрно-ледниковые* (ленточные) и *элювиальные* глинистые образования. При небольшой мощности толщи таких глин следует снимать и возводить сооружения на породах коренной основы.

Глины способны быстро выветриваться и разуплотняться путем набухания при увлажнении.

Ил – современный нелигифицированный морской или пресноводный органико-минеральный осадок, содержащий более 3% (по массе) органического вещества, как правило, имеющий текучую консистенцию $I_L > 1$, коэффициент пористости $e \geq 0,9$ и содержание частиц размером менее 0,01 мм более 30% по массе.

Сапропель - современный нелигифицированный органико-минеральный или органический осадок пресноводных застойных водоемов (или погребенный осадок), содержащий более 10% (по массе) органического вещества, имеющий, как правило, коэффициент пористости $e > 3$ и текучепластичную или текучую консистенцию.

Торф - органический грунт, содержащий в своем составе 50% (по массе) и более органического вещества, представленного растительными остатками и гумусом.

Заторфованный грунт - песчаный или глинистый грунт, содержащий в своем составе от 3 до 50 % (по массе) торфа.

Почва - поверхностный слой дисперсного грунта, состоящий из неорганического и органического веществ и обладающий плодородием.

Гранулометрический (зерновой) состав грунтов

Гранулометрический (зерновой) состав грунтов определяется по ГОСТ 12536-2014. Для *песчаных* грунтов применяется **ситовой метод** - разделение грунта на фракции просеиванием через набор сит, с последующим взвешиванием отдельных фракций.

Гранулометрический состав *глинистых* грунтов определя-

ется *ареометрическим* или *пипеточным* методами. Сущность этих методов заключается в следующем. Готовится суспензия из пробы глинистого грунта и воды. По мере отстаивания суспензии сначала оседают более крупные фракции, затем более мелкие. Для определения гранулометрического состава через установленные промежутки времени по мере отстаивания суспензии измеряют плотность суспензии *ареометром* (ареометрический метод) или, также через определенные промежутки времени, берут пробы *пипеткой* (пипеточный метод), с последующим взвешиванием взятых проб.

Гранулометрический (зерновой) состав песчаных грунтов

Для разделения грунта на фракции ситовым методом *без промывки водой* (для чистых песков) применяют сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; *с промывкой водой* (для глинистых песков) - сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

Сита монтируют в колонку, размещая их от поддона в порядке увеличения размера отверстий. Пробу для анализа отбирают методом *квартования*. Для этого распределяют грунт тонким слоем по листу плотной бумаги или фанеры. Затем двумя взаимно перпендикулярными линиями разделяют на 4 равные части - *квартанты*. Два противоположных по диагонали квартанта оставляют в качестве сокращенной пробы, два других удаляют. Эти действия продолжают до тех пор, пока не остается необходимый объем грунта.

Разделение грунта на фракции без промывки водой.

Взвешенную пробу грунта просеивают сквозь набор сит с поддоном. Фракции грунта, задержавшиеся на ситах, высыпают, начиная с верхнего сита, в ступку и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на этих же ситах. Полноту просеивания фракций грунта проверяют встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Если при этом на лист выпадают частицы, то их высыпают на следующее сито; просев продолжают до тех пор, пока на бумагу перестанут выпадать частицы.

Разделение грунта на фракции с промывкой водой.

Пробу грунта, подготовленную как в предыдущем случае, надлежит высыпать в заранее взвешенную фарфоровую чашку, смочить водой и растереть пестиком с резиновым наконечником. Затем следует залить грунт водой, взмутить суспензию и дать отстояться 10...15 с. Слить воду с неосевшими частицами (взвесь) сквозь сито с отверстиями размером 0,1 мм. Взмучивание и сливание следует производить до полного осветления воды над осадком: смыть оставшиеся на сите частицы при помощи резиновой груши в фарфоровую чашку, а отстоявшуюся воду слить. Промытую пробу грунта необходимо высушить до воздушно-сухого состояния и взвесить чашку с грунтом.

Вес частиц грунта размером менее 0,1 мм следует определить по разности между весом средней пробы, взятой для анализа, и весом высушенной пробы грунта после промывки. Грунт следует просеять сквозь набор сит и проверить полноту просеивания фракций как в предыдущем случае.

Содержание в грунте каждой фракции A в % надлежит вычислять по формуле:

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_1} \times 100,$$

где g_{ϕ} - вес данной фракции грунта, г;

g_1 - вес средней пробы грунта, взятой для анализа, г.

Результаты анализа регистрируют в журнале (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Показатели	Ситовой анализ						Ситовой анализ с промывкой водой		
	Фракции грунта, мм								
	> 10	10...5	5...2	2...1	1...0,5	< 0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	< 0,1
Вес пробы грунта g_1 , г									
Вес фракции грунта g_{ϕ} , г									
Содержание фракции A , %									

Для графического изображения гранулометрического состава грунтов существует ряд способов:

а) **циклограмма (круговая диаграмма)**. Круг произвольного диаметра, разбивается на секторы, длины дуг которых пропорциональны содержанию каждой фракции (рис. 1.1):

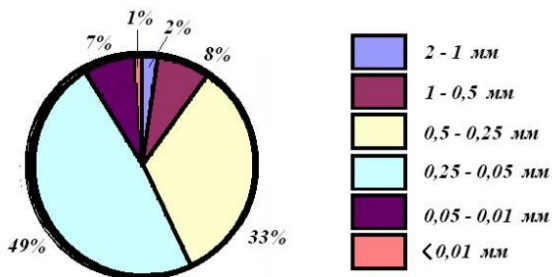


Рисунок 1.1 – Циклограмма (круговая диаграмма)

б) **диаграмма – треугольник Ферé** (рис. 1.2) позволяет изображать содержание не всех фракций грунта, а трех основных групп – *песчаной* ($d = 2 \dots 0,05$ мм), *пылевой* ($d = 0,05 \dots 0,005$ мм) и *глинистой* ($d < 0,005$ мм). По положению точки, изображающей результат анализа, можно определить наименование грунта.

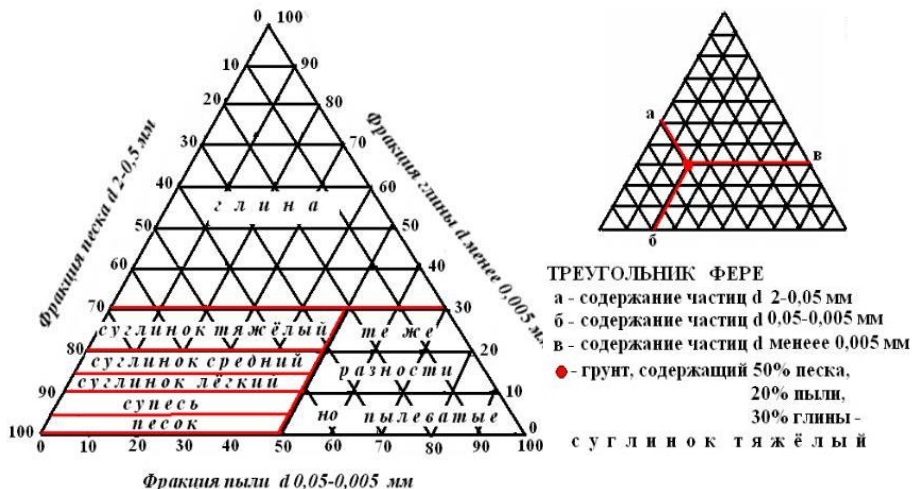


Рисунок 1.2 - Диаграмма-треугольник (треугольник Ферé)

в) **суммарная кривая** гранулометрического состава представляет собой график, отражающий процентное содержание в грунте частиц определенного диаметра. При этом по оси ординат откладывают в процентах не содержание каждой отдельной фракции, а суммарное содержание фракций частиц с диаметрами меньше какого-либо числа. Для этого последовательно суммируют содержание фракций, начиная с самой мелкой. График может быть построен в обыкновенном (рис. 1.3) или в полулогарифмическом масштабе, что позволяет наносить содержание мелких фракций с достаточной точностью, не удлиняя кривую по оси абсцисс.

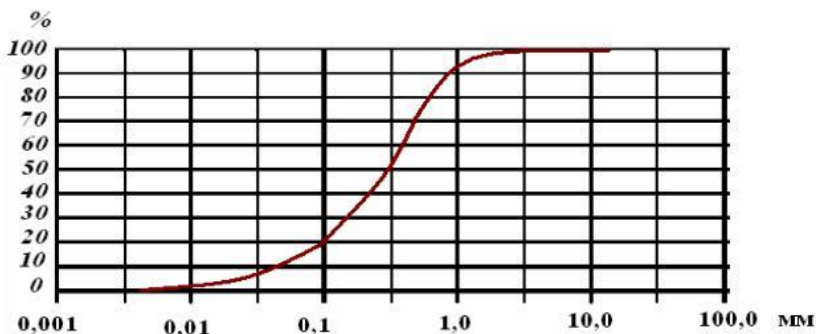


Рисунок 1.3 - Суммарная кривая

На основании данных гранулометрического анализа классифицируют грунты, с точки зрения их использования при строительстве автомобильных дорог (табл. 1.2 и 1.3).

Таблица 1.2

Типы и виды обломочных грунтов	Размер частиц, мм, крупнее	Содержание в массе сухого грунта, %
Крупнообломочные: - валунный (глыбовый - при преобладании неокатанных камней) - галечниковый (щебенистый - при преобладании неокатанных частиц) - гравийный (дресвяный - при преобладании неокатанных частиц)	>200 >10 >2	> 50 > 50 > 50
Песчаные: - песок гравелистый - песок крупный - песок средней крупности - мелкий - пылеватый	>2 >0,5 >0,25 >0,1 >0,1	> 25 > 50 > 50 ≥ 75 < 75

Таблица 1.3

Типы и виды глинистых грунтов	Содержание песчаных частиц, % по массе	Число пластичности
Супесь: - легкая крупная - легкая - пылеватая - тяжелая пылеватая	> 50 > 50 50...20 < 20	1...7 1...7 1...7 1...7
Суглинок: - легкий - легкий пылеватый - тяжелый - тяжелый пылеватый	> 40 < 40 > 40 < 40	7...12 7...12 12...17 12...17
Глина: - песчанистая - пылеватая - жирная	> 40 < 40 не регламентируется	17...27 17...27 > 27

По отстроенным суммарным кривым (рис. 1.3) находят *действующий (эффективный) диаметр* – диаметр частиц d_{10} или d_{ef} , соответствующий абсциссе, полученной при пересечении суммарной кривой с ординатой 10%. Таким же образом находят «диаметр шестидесяти» – d_{60} .

Отношение d_{60} к d_{10} называется *коэффициентом неоднородности*. Небольшой коэффициентом неоднородности ($d_{60}:d_{10} \leq 3$) и крутая кривая указывает на однородность грунта по гранулометрическому составу. Чем более разнородным по гранулометрическому составу является грунт, тем он плотнее и устойчивее.

Влажность и плотность грунтов, границы текучести и раскатывания

Большинство физико-механических свойств грунтов определяются согласно ГОСТ 5180-84.

Влажность грунта w - отношение массы воды в объеме грунта к массе этого грунта, высушенного до постоянной массы.

Гигроскопическая влажность w_g - влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, т.е. в состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха.

Граница текучести w_L - влажность грунта, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний.

Граница раскатывания (пластичности) w_p - влажность грунта, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний.

Плотность грунта ρ - масса единицы объема грунта.

Плотность сухого грунта ρ_d - отношение массы грунта за вычетом массы воды и льда в его порах к его первоначальному объему.

Плотность частиц грунта ρ_s - масса единицы объема твердых (скелетных) частиц грунта.

Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы (термостатно-весовой способ)

При этом влажность грунта определяется как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

Пробу грунта для определения *влажности* отбирают массой 15...50 г, помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывают крышкой.

Пробы грунта для определения *гигроскопической влажности* грунта массой 10...20 г отбирают способом квартования из грунта в воздушно-сухом состоянии растертого, просеянного сквозь сито с сеткой N 1 (1 мм) и выдержанного открытым не менее 2 ч при данной температуре и влажности воздуха.

Пробу грунта в закрытом стаканчике взвешивают. Стакан-

чик открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф. Грунт высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Загипсованные грунты высушивают при температуре $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные - в течение 5 ч. Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных - в течение 2 ч. Загипсованные грунты высушивают в течение 8 ч. Последующие высушивания производят в течение 2 ч. После каждого высушивания грунт в стаканчике охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до температуры помещения и взвешивают. Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканчиком при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г. Если при повторном взвешивании грунта, содержащего органические вещества, наблюдается увеличение массы, то за результат взвешивания принимают наименьшую массу.

Влажность грунта w , %, вычисляют по формуле

$$w=100 \cdot (m_1 - m_0) / (m_0 - m),$$

где m - масса пустого стаканчика с крышкой, г;

m_1 - масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

m_0 - масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

Определение суммарной влажности мерзлого грунта

Образец мерзлого грунта со слоистой или сетчатой криогенной текстурой массой 1...3 кг (имеющий не менее трех ледяных и минеральных прослоек каждого направления) помещают в предварительно высушенную, взвешенную и пронумерованную тару.

Допускается оттаивание образцов грунта в плотно завязанных полиэтиленовых пакетах во время транспортирования и хранения.

Образец грунта в таре взвешивают, дают ему оттаять и доводят до однородного состояния, близкого к *границе текучести* для пылевато-глинистых грунтов, или полного *водонасыщения*

для песчаных грунтов, перемешивая его металлическим шпателем и добавляя дистиллированную воду или осторожно сливая избыток воды после ее осветления. Грунт в таре вновь взвешивают и отбирают из него пробы для определения влажности перемешанного грунта аналогично предыдущему пункту. Суммарную влажность w_{tot} , %, мерзлого грунта вычисляют по формуле:

$$w_{tot} = \frac{m_3 - m_2}{m_4 - m_2} \cdot (100 + w) - 100,$$

где m_2 - масса тары, г;

m_3 - масса образца грунта (с тарой), г;

m_4 - масса перемешанного грунта (с тарой), г;

w - влажность перемешанного грунта, %.

Определение границ пластичности глинистых грунтов

Глинистые грунты, в зависимости от степени увлажнения, могут изменять свою консистенцию и находиться в твердом, пластичном или текучем состоянии. Переход глинистых пород из одной формы консистенции в другую совершается при определенных значениях влажности, которые получили название ***пределов***. Наиболее применимыми являются *верхний* и *нижний* пределы пластичности.

Влажность, выраженная в процентах, при которой глинистый грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называется ***верхним пределом пластичности*** или ***границей текучести*** (w_L).

Влажность, выраженная в процентах, при которой глинистый грунт переходит из пластичного состояния в твердое называется ***нижним пределом пластичности*** или ***границей раскатывания*** (w_p).

Разность между этими значениями называют ***числом пластичности***. Пределы пластичности или число пластичности широко используются при классификации глинистых грунтов, определении расчетного сопротивления грунтов и приблизительной оценки устойчивости грунтов в котлованах и т.д.

I. Для определения *верхнего предела пластичности* наиболее распространенным является *метод балансного конуса*.

Образец грунта с естественной влажностью объемом около 50 см³ размять шпателем или размельчить пестиком, а затем протереть через сито. Прошедший сквозь сито грунт перенести в емкость (стаканчик, бюкс и т.п.) и увлажнить до состояния густого теста при одновременном перемешивании. Закрывать емкость крышкой и выдержать 2 ч. Грунтовое тесто тщательно перемешать и заполнить им стаканчик так, чтобы в нем не осталось пустот. Поверхность теста заровнять шпателем вровень с краем стаканчика.

Балансный конус (рис. 1.4), смазанный тонким слоем вазелина, подводят к поверхности грунтовой пасты так, чтобы его острие касалось пасты. Затем плавно отпускают конус, позволяя ему погружаться в пасту под действием собственного веса.

Если за 5 секунд конус погрузится в тесто на глубину 10 мм (до кольцевой риски), то предел пластичности можно считать достигнутым.

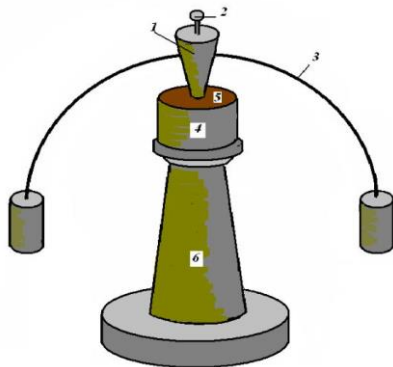


Рисунок 1.4 - Балансный конус Васильева:

- 1 – собственно конус;
- 2 – ручка; 3 – балансное устройство; 4 – стаканчик;
- 5 – грунтовое тесто;
- 6 – подставка

Погружение конуса на глубину менее 10 мм показывает, что влажность пока не достигла искомого предела. В этом случае надо извлечь тесто из стакана, добавить немного воды, тщательно перемешать и повторить приведенные выше операции.

В случае погружения конуса за 5 секунд на глубину более 10 мм, вынуть грунтовое тесто из стакана и немного подсушить на стекле при комнатной температуре. Повторить операции.

По достижении границы текучести из пасты отбирают пробы массой 15...20 г и определяют влажность, соответствующую границе текучести w_L .

Полученные результаты сравнивают с усредненными значениями w_L для различных грунтов:

глина.....более 42%;
суглинок.....42-46%;
супесь.....16-26%.

II. Для определения **нижнего предела пластичности** для всех связных грунтов (кроме содержащих большое количество растительных остатков) используется **метод раскатывания**.

Границу раскатывания (пластичности) следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста, раскатываемая в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3...10 мм.

Подготовку грунта производят как в предыдущем пункте или используют часть грунта (40...50 г), подготовленного для определения текучести.

Грунтовое тесто тщательно перемешать, взять из него небольшой кусочек и раскатывать руками на стекле до образования жгута диаметром около 3 мм. Если при такой толщине жгут не крошится, смять его, перемешать и вновь раскатать до 3 мм. Искомый **нижний предел пластичности** считается найденным, когда жгут толщиной около 3 мм начнет крошиться по всей длине. Если при любой влажности из анализируемого грунта невозможно раскатать жгут толщиной 3 мм, считается, что он **не имеет** **нижнего предела пластичности**.

Собрать кусочки жгута массой не менее 10 г в заранее взвешенный бюкс и определить влажность, соответствующую **границе раскатывания (пластичности)** w_p .

Полученные результаты сравнивают с усредненными значениями w_p для различных грунтов:

глина.....более 25%;
суглинок.....15-25%;
супесь.....7-15%;

песок.....менее 7%.

По полученным результатам w_L и w_p рассчитывают **число пластичности** испытуемого грунта I_p по формуле:

$$I_p = w_L - w_p .$$

Полученные результаты сравнивают с усредненными значениями w_p для различных грунтов:

глина.....более 0,7;
суглинок.....0,07-0,17;
супесь.....0,01-0,07

Определение плотности грунта

Одной из основных характеристик грунта является его **плотность** - отношение массы твердых частиц грунта к занимаемому им объему. Эта величина зависит от плотности слагающих грунт минералов.

Плотность используется как прямой расчетный показатель при вычислении давления грунта на подпорную стенку, при расчете устойчивости оползневых склонов и откосов, расчете осадки сооружений, расчете распределения напряжений в грунтах основания под фундаментами, при определении объема земляных работ и др. Кроме того, величина объемной массы используется для классификации грунтов, для вычисления объемной массы скелета грунта и степени его пористости.

Определение объемной массы грунта производится разными способами.

I. Метод **гидростатического взвешивания (парафинирования)** применяется при определении плотности грунтов, трудно поддающихся обработке и склонных выкрашиванию.

Вырезать из грунта ножом образец объемом не менее 30 см³, по возможности округлой формы, и взвесить его с точностью до 0,01 г. Взвешенный образец опустить в расплавленный парафин при температуре 60°С, чтобы в течение 1...2 с он покрылся парафиновой оболочкой толщиной 0,5...1 мм. Появляющиеся между образцом и парафином пузырьки воздуха проко-

лоть иглой и загладить поверхность. Запарафинированный образец взвесить. Поместить образец на сетку, подвешенную к коромыслу технических весов.

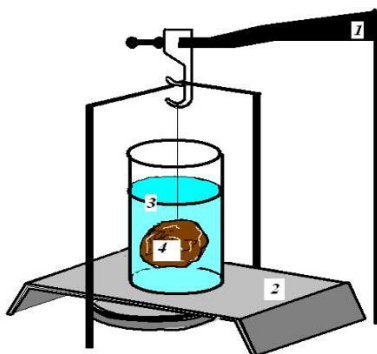


Рисунок 1.5 - Приспособление для гидростатического взвешивания: 1 - коромысло технических весов; 2 - подставка; 3 - стакан с водой; 4 - образец грунта в парафине

Опустить его в стакан с водой, стоящий на подставке под коромыслом, и снова взвесить в воде. Взвешенный запарафинированный образец извлечь из воды, обсушить фильтровальной бумагой и еще раз взвесить. Если разность во взвешивании до погружения образца в воду и после его извлечения будет более 0,2 г, то образец считать забракованным. Из очищенного от парафина образца отобрать пробу для определения естественной влажности грунтов. Вычислить плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_p \cdot \rho_w}{\rho_p \cdot (m_1 - m_2) - \rho_w \cdot (m_1 - m)},$$

где m - масса образца до парафинирования, г;

m_1 - масса образца в оболочке, г;

m_2 - масса образца в оболочке в воде, г;

ρ_p - плотность парафина (0,9 г/см³ без примесей);

ρ_w - плотность воды (принимают за единицу при 20°C, г/см³).

II. Метод *режущих колец* основан на непосредственном измерении плотности грунта и применим для связных грунтов, поддающихся обработке ножом без выкрашивания, а также несвязных грунтов, когда объем образца определенной формы может быть сохранен при наличии жесткой тары.

Подбирают режущее кольцо-пробоотборник в соответ-

ствии с требованиями ГОСТ 5180-84 и вычисляют его объем по формуле:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h,$$

где d - диаметр кольца, см;

h - высота кольца, см.

Определить массу режущего кольца m_0 и массу пластин m_2 . На выровненную поверхность образца грунта поставить кольцо острым краем вниз. Вручную через насадку вдавить кольцо в грунт, не допуская перекосов. По мере вдавливания излишки грунта подрезать ножом. После заполнения кольца грунт подрезать ниже режущего края кольца на 8 - 10 мм и отделить его от грунта. Наружную поверхность кольца тщательно очистить от грунта, свободные поверхности грунта выровнять и покрыть пластинами. Определить массу кольца вместе с пластинами и грунтом m_1 . Вычислить объемную массу грунта по формуле:

$$\rho = (m_1 - m_0 - m_2) / V,$$

где m_1 - масса кольца с пластинами и грунтом, г;

m_0 - масса режущего кольца, г;

m_2 - масса пластин, г;

V - объем грунта (объем внутренней поверхности кольца), см³.

Полученные результаты сравнивают со средними значениями плотности характерных видов грунтов:

глина.....	2,75 г/см ³ ;
суглинок.....	2,70 г/см ³ ;
супесь.....	2,67 г/см ³ ;
песок.....	2,65 г/см ³ ;
лесс.....	2,68 г/см ³ ;
торф.....	0,60 г/см ³ .

Определение плотности сухого грунта расчетным методом

Предварительно определяют влажность грунта и его плотность при этой влажности. Плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_d = \rho / (1 + 0,01w),$$

где ρ - плотность грунта, г/см³;

w - влажность грунта, %.

Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов в приборе Союздорнии по ГОСТ 25584-2016

Коэффициент фильтрации K_f - численная характеристика водопроницаемости. Он представляет собой скорость фильтрации при градиенте напора равном единице, и выражается обычно в см/с или в м/сут.

Коэффициент фильтрации используется при определении притока воды в строительные котлованы, проектировании дренажных сооружений и фильтров и т.п.

Согласно ГОСТ 25584-2016 этот метод распространяется на песчаные грунты, применяемые в дорожном и аэродромном строительстве для устройства дренирующих и морозозащитных слоев дорожной и аэродромной одежд. Коэффициент фильтрации определяют на образцах нарушенного сложения при максимальной плотности и оптимальной влажности, значения которых предварительно устанавливают по ГОСТ 22733-2016.

Подготовка к испытанию

Песок и воду, предназначенные для определения коэффициента фильтрации, выдерживают в лаборатории до выравнивания их температуры с температурой воздуха.

Просеивают через сито с отверстиями 5 мм предварительно высушенный до воздушно - сухого состояния песчаный грунт и определяют его гигроскопическую влажность по ГОСТ 5180-84.

Отбирают в фарфоровую чашку пробу грунта способом квартования массой не менее 450 г и увлажняют с помощью

мерного цилиндра отобранную пробу до оптимальной влажности и выдерживают её в эксикаторе с водой не менее 2 ч. Пески крупные и средней крупности допускается не выдерживать в эксикаторе.

Необходимый для увлажнения объём воды Q , см³, определяют по формуле:

$$Q = \frac{m \cdot (w_0 - w_g)}{\rho_w \cdot (1 + w_g)},$$

где m - масса пробы грунта, г; w_0 - оптимальная влажность грунта, доли ед.; w_g - гигроскопическая влажность грунта, доли ед.; ρ_w - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Из подготовленной пробы влажного грунта отбирают навеску массой m_1 для помещения в фильтрационную трубку прибора 3 (рис. 1.6) и навеску для контрольного определения фактической влажности грунта.

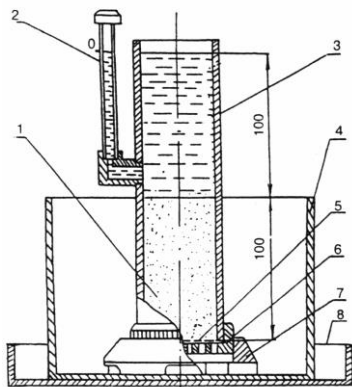


Рис. 1.6. Схема прибора Союздории для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов: 1 - образец; 2 - пьезометр; 3 - фильтрационная трубка; 4 - стакан; 5 - сетка; 6 - перфорированное съёмное дно; 7 - подставка; 8 - поддон

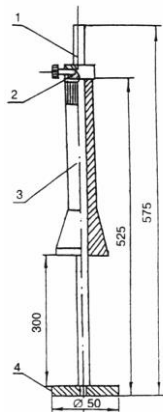


Рис. 1.7. Схема трамбовки: 1 - направляющая; 2 - фиксатор; 3 - падающий груз; 4 - наковальня

Массу навески m_1 , г, вычисляют по формуле:

$$m_1 = V \cdot \rho_{d \max} \cdot (1 + w_0),$$

где V - объём грунта в трубке, равный 200 см³;

$\rho_{d \max}$ - максимальная плотность, установленная по ГОСТ 22733, г/см³.

Фильтрационную трубку прибора заполняют песком в следующем порядке:

- съёмное перфорированное дно с латунной сеткой, покрытой кружком марли, смоченной водой, крепят к трубке и ставят её на жесткое массивное основание;

- навеску влажного грунта массой m_1 делят на три порции и последовательно укладывают их в трубку, уплотняя каждую из них при помощи трамбовки, производя по 40 ударов груза с высоты 30 см. Перед укладкой каждой порции поверхность предыдущей уплотненной порции взрыхляют ножом на глубину 1...2 мм;

- измеряют линейкой расстояние от верхнего края трубки до поверхности уплотненного грунта. Измерения проводят не менее чем в трех точках. В расчет принимают среднее значение. При высоте образца грунта в трубке более 100 мм проводят дополнительное уплотнение, которое заканчивают при высоте образца (100±1) мм.

Укладывают на поверхность грунта слой гравия (фракция 2...5 мм) толщиной 5...10 мм.

Устанавливают трубку с грунтом на подставку 7 и вместе с ней помещают в стакан, который постепенно наполняют водой до верха.

Помещают стакан с трубкой в ёмкость для воды и заполняют ее до уровня выше слоя гравия на 10...15 мм.

После появления воды в трубке над слоем гравия доливают воду в верхнюю часть трубки примерно на 1/3 её высоты.

Извлекают стакан с трубкой из ёмкости, устанавливают её на поддон. В этом случае начальный градиент напора воды в об-

разце грунта равен единице.

Проведение испытания

Испытания проводят в следующем порядке:

- доливают воды в трубку не менее чем на 5 мм выше нулевого деления;
- при вытекании воды через перфорированное дно определяют с помощью секундомера падение уровня воды в пьезометре от 0 до 50 мм.

Указанную операцию повторяют не менее 4 раз, каждый раз доливая воду в трубку на 5 мм выше нулевого деления. В расчет принимают среднее время падения уровня воды. В случае отклонений отдельных отсчетов от среднеарифметического значения более чем на 10 % следует увеличить число определений.

При времени падения уровня воды в пьезометре более 2 мин допускается уменьшить высоту падения уровня. При времени падения уровня воды более 10 мин допускается проводить испытание при градиенте напора, равном 2. В этом случае трубку с подставкой извлекают из стакана и ставят непосредственно на поддон.

В течение всего испытания не допускается снижение уровня воды в трубке ниже слоя гравия.

Разность между плотностью сухого грунта в трубке ρ_{di} и максимальной плотностью ρ_{dmax} , не должна превышать 0,02 г/см³. В противном случае испытания повторяют.

Плотность сухого грунта в трубке ρ_{di} , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_{di} = \frac{m_i}{V_i \cdot (1 + w_i)},$$

где V_i - фактический объём грунта в трубке, см³;

w_i - фактическая влажность грунта в трубке, доли.

Обработка результатов испытаний

Коэффициент фильтрации грунта K_{ϕ}^{10} , м/сут, приведённый к условиям фильтрации при температуре 10 °С, вычисляют по

формуле:

$$K_{\phi}^{10} = \frac{h}{t} \cdot \varphi \left(\frac{S}{H_0} \right) \cdot \frac{864}{T},$$

где h - высота образца грунта в трубке, см;

t - время падения уровня воды, с;

S - наблюдаемое падение уровня воды в пьезометре, отсчитанное от первоначального уровня, см;

H_0 - начальный напор, см;

$\varphi(S/H_0)$ - безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 1.4;

864 - переводной коэффициент (из см/с в м/сут);

T - поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре 10°C .

Так как вязкость воды снижается с повышением ее температуры, то полученное в испытаниях значение K_{ϕ} при фактической температуре воды T_{ϕ} приводят к температуре 10°C путем его деления на поправку:

$$T = 0,7 + 0,03T_{\phi}.$$

Таблица 1.4 - Значения безразмерного коэффициента $\varphi(S/H_0)$

S/H_0	$\varphi(S/H_0)$	S/H_0	$\varphi(S/H_0)$	S/H_0	$\varphi(S/H_0)$
0,01	0,010	0,34	0,416	0,67	1,109
0,02	0,020	0,35	0,431	0,68	1,139
0,03	0,030	0,36	0,446	0,69	1,172
0,04	0,040	0,37	0,462	0,70	1,204
0,05	0,051	0,38	0,478	0,71	1,238
0,06	0,062	0,39	0,494	0,72	1,273
0,07	0,073	0,40	0,510	0,73	1,309
0,08	0,083	0,41	0,527	0,74	1,347
0,09	0,094	0,42	0,545	0,75	1,386
0,10	0,105	0,46	0,562	0,76	1,427
0,11	0,117	0,44	0,580	0,77	1,470
0,12	0,128	0,45	0,598	0,78	1,514
0,13	0,139	0,46	0,616	0,79	1,561
0,14	0,151	0,47	0,635	0,80	1,609
0,15	0,163	0,48	0,654	0,81	1,661
0,16	0,174	0,49	0,673	0,82	1,715
0,17	0,186	0,50	0,693	0,83	1,771
0,18	0,196	0,51	0,713	0,84	1,833
0,19	0,210	0,52	0,734	0,85	1,897
0,20	0,223	0,53	0,755	0,86	1,966
0,21	0,236	0,54	0,777	0,87	2,040
0,22	0,248	0,55	0,799	0,88	2,120
0,23	0,261	0,56	0,821	0,89	2,207
0,24	0,274	0,57	0,844	0,90	2,303
0,25	0,288	0,58	0,868	0,91	2,408
0,26	0,301	0,59	0,892	0,92	2,526
0,27	0,315	0,60	0,916	0,93	2,659
0,28	0,329	0,61	0,941	0,94	2,813
0,29	0,346	0,62	0,967	0,95	2,996
0,30	0,357	0,63	0,994	0,96	3,219
0,31	0,371	0,64	1,022	0,97	3,507
0,32	0,385	0,65	1,050	0,98	3,912
0,33	0,400	0,66	1,079	0,99	4,605

Характерные значения коэффициентов фильтрации для различных грунтов и классификация грунтов по степени водопроницаемости приведены в табл. 1.5 и 1.6

Таблица 1.5 - Коэффициентов фильтрации некоторых грунтов

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации $K_{ф}$, м/сут
Торф	0,01...4
Глина	0,001...0,01
Суглинок	0,01...0,1
Супесь	0,1...0,5
Пески: пылеватый	0,5...1,0
мелкозернистый	1...5
среднезернистый	5...15
крупнозернистый	15...50
Песчано-гравийная смесь	50...100
Гравий	100...200

Таблица 1.6 – Классификация грунтов по степени водопроницаемости (извлечение из прил. 5 ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация)

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации $K_{ф}$, м/сут
Неводопроницаемый	$\leq 0,005$
Слабоводопроницаемый	свыше 0,005 до 0,30
Водопроницаемый	свыше 0,30 до 3
Сильноводопроницаемый	свыше 3 до 30
Очень сильноводопроницаемый	>30

Практическое занятие №2

Свойства щебня (гравия)

В качестве крупного заполнителя для получения асфальто- и цементобетонных смесей используют щебень или гравий.

Щебнем называется рыхлый (сыпучий) материал с размером зерна от 5 до 70 мм, получаемый дроблением массивных горных пород, или гравия и валунов.

Гравием называется рыхлая (сыпучая) горная порода с размером зерна от 5 до 70 мм. Получается гравий путем отсева природных гравийно-песчаных смесей, образующихся в результате разрушения горных пород от выветривания.

Зерна менее 5 мм называются песком, а крупнее 70 мм – бутовым камнем (дробленые) или булыжным камнем (недробленые).

Щебень отличается от гравия формой зерен и характером поверхности. Зерна щебня имеют неправильную форму и шероховатую поверхность, зерна гравия – округлую форму и гладкую поверхность. Щебень и гравий со средней плотностью свыше 1800 кг/м^3 предназначаются для приготовления бетонов, оснований автомобильных дорог, искусственной смеси балластного слоя железнодорожного пути и другого вида строительных работ. Отдельную, специальную группу материалов представляют щебень и гравий пористые неорганические.

Качество щебня (гравия) характеризуется следующими показателями:

- зерновым составом;
- формой зерен (для щебня);
- содержанием дробленых зерен (для гравия и щебня из гравия);
- содержанием зерен слабых пород (для гравия и щебня из гравия);
- содержанием пылевидных, глинистых и илистых частиц;
- прочностью (дробимость, истираемость);
- морозостойкостью;
- петрографическим составом.

Дополнительно в лабораторной работе испытываются средняя и насыпная плотность, водопоглощение и вычисляются пустотность и открытая пористость. Полученные при испытаниях результаты сравниваются с ГОСТ 8267-93.

Измерение средней плотности зерен щебня

Средняя плотность может быть определена на 2...3 зернах размером 40...70 мм. Каждый образец очищают металлической щеткой от пыли и высушивают до постоянной массы (m_1). Затем измеряют объем образцов погружением их в воду, как объем вытесненной воды. На точность определения общего объема материала большое влияние оказывает пористость материала, так как часть воды впитывается в поры материала. Чтобы устранить впитывание воды в поры материала, поверхность его необходимо предварительно насытить водой. Для этого образцы погружают в воду комнатной температуры на 2 часа так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образца не менее чем на 2 см. Насыщенный образец вынимают из воды, удаляют влагу с его поверхности мягкой влажной тканью, взвешивают на технических весах (измеряют m_2) и сразу же измеряют объем упрощенным объемомером или гидростатическим взвешиванием.

Измерение объема с помощью упрощенного объемомера. Этим способом можно пользоваться, когда масса сухого образца превышает 300 г, при меньшей массе недопустимо снижается точность измерения.

Упрощенный объемомер – это металлический цилиндр со сливной коленчатой трубкой. Объемомер наполняют водой комнатной температуры выше сливной трубки. Когда лишняя вода вытечет через сливную трубку и прекратится падение капель, под сливную трубку ставят предварительно взвешенный стакан. Затем образец, насыщенный водой, осторожно на тонкой проволоке погружают в объемомер, при этом вода, вытесняемая образцом, будет стекать по сливной трубке в стакан. После прекращения падения капель стакан с водой взвешивают и вычисляют массу воды, вычитая из массы стакана с водой массу сухого стакана. Масса вытесненной воды в г соответствует объему

образца (V_e) в см^3 . Объемная масса образца ($\text{г}/\text{см}^3$) вычисляется по формуле:

$$\rho_o = \gamma_o = m / V_e,$$

где m – масса сухого образца, г; V_e – объем образца, см^3 .

Измерение водопоглощения зерен щебня

Образцы погружают в воду так, чтобы уровень воды в сосуде был на 2 см выше верха образцов. Через 48 ч образцы вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью и немедленно взвешивают, при этом масса воды, вытекающей из пор образца на чашку весов, включается в массу образца. Водопоглощение вычисляют по формуле:

$$W = [(m_4 - m_1) / m_1] \cdot 100 \%,$$

где m_1 – масса образца в сухом состоянии, г;

m_4 – масса образца через 48 ч насыщения водой, г.

Открытая пористость может быть вычислена без специальных испытаний по данным водопоглощения:

$$V_{\text{откр пор}} = [(m_4 - m_1) / V_e] \cdot 100 \%,$$

где m_4 – масса образца после 48 ч насыщения водой, г;

m_1 – масса сухого образца, г;

V_e – общий объем образца, см^3 .

Измерение содержания пылевидных, илистых и глинистых частиц пипеточным методом

Содержание пылевидных и глинистых частиц определяется путем выпаривания отобранной пипеткой пробы суспензии, полученной при промывке щебня (гравия), и взвешивания остатка.

Пробу щебня (гравия) массой не менее 5 кг, высушенную до постоянной массы, взвешивают, помещают в сосуд без меток и заливают 4,5 л воды, оставляя около 500 мл воды для после-

дующего ополаскивания ведра. Залитый водой щебень (гравий) выдерживают в воде 10...15 мин, перемешивая несколько раз деревянной мешалкой, после чего тщательно отмывают его в той же воде от приставших к зернам глинистых частиц. Затем содержимое сосуда осторожно выливают на два сита: верхнее - с отверстиями диаметром 3 или 5 мм, нижнее - с сеткой № 0,315, поставленные на второе ведро с метками. Суспензии в сосуде с метками дают отстояться и осторожно сливают осветленную воду в первый сосуд. Слитой водой вторично промывают щебень (гравий) на ситах над сосудом с метками, после чего первое ведро ополаскивают оставленной водой и эту воду сливают также во второй сосуд. При этом используют такое количество оставленной воды, чтобы уровень суспензии во втором сосуде не превышал метки 5 л. Если объем суспензии меньше 5 л, то в нее добавляют воду, доводя объем точно до 5 л (до отметки). После этого суспензию тщательно перемешивают в сосуде и немедленно наполняют ею два металлических цилиндра вместимостью до 1000 мл. Уровень суспензии в каждом цилиндре должен соответствовать метке на смотровом окне. Суспензию в каждом цилиндре перемешивают стеклянной или металлической палочкой и несколько раз опрокидывают их, закрывая крышкой, для лучшего перемешивания. После перемешивания оставляют цилиндр в покое на 1,5 мин. За 5-10 с до окончания этого срока в цилиндр опускают мерную пипетку так, чтобы опорная крышка пипетки опиралась на верхний обод цилиндра (рис. 2.1), при этом низ воронки пипетки будет находиться на уровне отбора суспензии - 190 мм от поверхности. По истечении 5...10 с открывают трубку пипетки и после ее заполнения закрывают трубку пальцем, извлекают пипетку из цилиндра и, открыв трубку, выливают содержимое пипетки в предварительно взвешенные чашку или стакан.

Наполнение пипетки контролируют по изменению уровня суспензии в смотровом окне.

Суспензию в чашке (стакане) выпаривают в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Чашку (стакан) с остатком порошка взвешивают с погрешностью до 0,1 г. Аналогично отбирают и обрабатывают пробу из второго цилиндра.

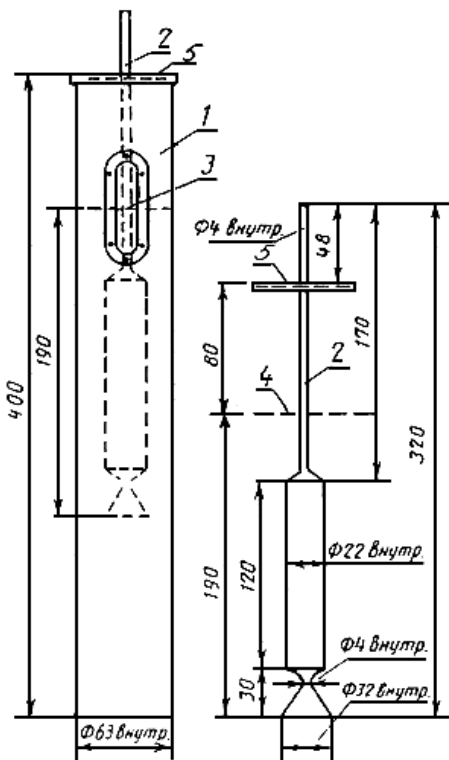


Рис. 2.1. Металлический цилиндр и мерная пипетка:

1 - цилиндр; 2 - пипетка; 3 - метка на цилиндре (1000 мл); 4 - уровень суспензии в цилиндре; 5 - опорная крышка пипетки

Содержание пылевидных и глинистых частиц Π , % по массе, вычисляют с точностью до 0,1% по формуле:

$$\Pi = \frac{m_2 - m_1}{m} 100,$$

где m - масса аналитической пробы щебня (гравия), г;

m_1 - масса чашки или стакана для выпаривания суспензии, г;

m_2 - масса чашки или стакана с остатком порошка после выпаривания суспензии, г.

Определение зернового состава щебня

Берут пробу щебня (гравия) в следующем размере (табл. 2.1):

Таблица. 2.1

$D_{\text{наиб}}$, мм	До 10	До 20	До 40	До 70	свыше 70
Масса пробы не менее, кг	5	10	20	30	50

По ГОСТ 8269.0-97 зерновой состав определяется мокрым рассевом, в учебной лаборатории допускается сухой рассев. Пробу просеивают одновременно или частями через стандартный набор сит с отверстиями 70; 60; 50; 40; 30; 20; 10; 5. При этом толщина слоя щебня (гравия) на каждом сите не должна превышать $D_{\text{наиб}}$.

Остатки щебня (гравия) на каждом из сит взвешивают и определяют таким образом частные остатки m_5, \dots, m_{70} , г. Затем определяют суммарную массу просеянной пробы как сумму всех частных остатков: $M = m_{0,14} + m_{03} + m_{5,\dots} + m_{70}$, г. При остатке зерен на сите 70 надо определить диаметр отверстий сита, через которые проходят все зерна этого остаток. По результатам отсева вычисляют частные и полные остатки на каждом из сит в процентах от суммарной массы просеянной пробы. Устанавливают наибольший, наименьший и средний размер зерна, т.е. $D_{\text{наиб}}$, $D_{\text{наим}}$, $(D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}}) \cdot 1/2$. Пригодность щебня (гравия) по зерновому составу определяется путем сравнения с нормативами ГОСТа величин полученных полных остатков на ситах, соответствующих размерам $D_{\text{наиб}}$, $D_{\text{наим}}$, $(D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}}) \cdot 1/2$.

Определение содержания в щебне пластинчатых и игловатых зерен

Пластинчатыми (лещадными) называются зерна, у которых толщина меньше ширины и длины в три раза и более; **игловатыми** – зерна, у которых длина не менее чем в три раза превышает и толщину, и ширину. При повышенном содержании в асфальтобетонной смеси «лещадки» (более 15%), она при уплотнении катками ломается. В изломе покрытие становится водопроницаемым, неморозостойким и быстро разрушается. В бетонных смесях под этими зернами скапливается вода, создавая ослабленные зоны.

Берут пробу щебня (гравия) в следующем размере (табл. 2.2):

Таблица. 2.2

Фракция, мм	До 10	До 20	До 40	свыше 40
Масса пробы не менее, кг	0,25	1,0	5,0	10,0

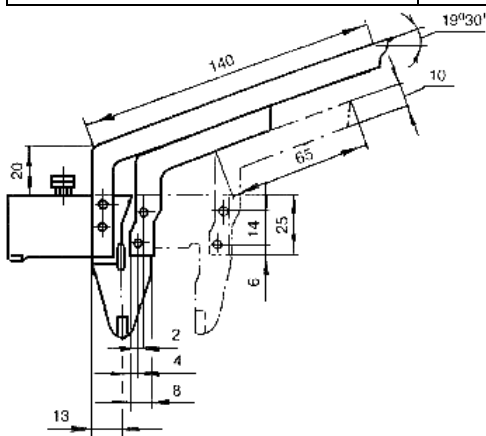


Рис. 2.2. Передвижной шаблон

Соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона или штангенциркуля. При использовании шаблона измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками, положение шаблона фиксируют стопорным винтом и измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между губками шаблона, установленными на расстоянии в три раза меньшем.

Если зерно пройдет между губками, то его относят к зернам пластинчатой или игловатой формы. Содержание в каждой фракции щебня пластинчатых и игловатых зерен вычисляется с точностью до 1 % по формуле:

$$P_{пл} = (m_{пл}/m_1) \cdot 100 \%,$$

где $m_{пл}$ - масса пластинчатых и игловатых зерен в фракции, г;
 m_1 - масса фракции, г.

Содержание пластинчатых и игловатых зерен в щебне в целом вычисляется как средневзвешенное результатов испытаний всех фракций. После этого определяется группа щебня: **кубовидная, улучшенная или обычная.**

Определение содержания в щебне зерен слабых и выветренных пород

От каждой фракции испытуемого щебня (гравия) берут пробу. Отобранные фракции разбираются на группы по генетическим признакам: изверженные, осадочные и метаморфические горные породы. Затем из каждой группы выделяют зерна слабых и выветренных пород. Зерна слабых и выветренных пород, как правило, разламываются руками и разрушаются легкими ударами молотка. При царапании стальной иглой зерен изверженных и метаморфических пород, алюминиевой иглой – зерен осадочных карбонатных пород на поверхности зерен остается царапина. Слабые зерна карбонатных пород имеют округлую форму. Отобранные зерна взвешивают и вычисляют их содержание в каждой фракции с точностью до 1 % по формуле:

$$C_{л_i} = (m_i^{сл} / m_i) \cdot 100 \%,$$

где $m_i^{сл}$ – масса зерен слабых и выветренных пород в фракции, г;

m_i – масса фракции, г.

Содержание слабых и выветренных зерен в щебне (гравии) в целом вычисляется как средневзвешенное результатов испытаний всех фракций.

Определение содержания в щебне глины в комках

От каждой фракции испытуемого щебня (гравия) берут пробу в том же размере, как и для определения содержания в щебне пластинчатых и игловатых зерен. Каждую навеску щебня (гравия) высыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют. Из навески выделяют комки глины, отличающиеся вязкостью от зерен щебня (гравия) и супеси. Выделенные комки глины высушивают до постоянной массы и взвешивают. Содержание комков глины в каждой фракции щебня (гравия) определяют по формуле:

$$Гл = (m_i^{гл} / m_i) \cdot 100 \%,$$

где $m_i^{\text{гл}}$ – масса глины в комках в фракции, г;
 m_i – масса фракции, г.

Содержание комков глины в щебне (гравии) в целом вычисляют как средневзвешенное результатов испытания всех фракций.

Измерение дробимости щебня при раздавливании в цилиндре

Для испытания берут фракции 5–10, 10–20 или 20–40 мм. Испытание проводят в стальном цилиндре со съёмным дном и с плунжером (рис. 1.3), внутренний диаметр цилиндра $d=150$ мм или 75 мм, последний только для фракций 5–10 и 10–20 мм. Стальной цилиндр устанавливают на съёмное дно, засыпают с высоты 5 см щебнем (гравием) так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра.

Затем в цилиндр вставляют пуансон. Верхняя кромка плиты пуансона должна быть на уровне верхнего края цилиндра, этого достигают, убирая или добавляя в цилиндр несколько зерен щебня (гравия). Затем, придерживая цилиндр за съёмное дно, переносят его на плиту прессы. Повышая усилие прессы на 1...2 кН/с доводят его до 50 кН при испытании в цилиндре диаметром 75 мм, или до 200 кН – при испытании в цилиндре диаметром 150 мм. Раздробленную в цилиндре пробу взвешивают и затем просеивают сквозь контрольное сито со следующими размерами отверстий:

Размер дробимой фракции, мм	5-10	10-20	20-40
Размер отверстий сита, мм	1,25	2,5	5,0

$$D_p = (m_1 - m_2) / m_1 \cdot 100 \%,$$

где m_1 – раздробленная при испытании масса щебня (гравия), г;
 m_2 – масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной при испытании пробы щебня (гравия), г.

Таким образом, показатель дробимости D_r – это доля зерен, раздробленных при испытании до прохождения сквозь отверстия контрольного сита, выраженная в процентах от массы пробы, подвергнутой дроблению. Показатель D_r определяется как среднее арифметическое результатов двух параллельных испытаний. При испытании рядового щебня (гравия) показатель D_r вычисляется как средневзвешенное результатов испытаний составляющих фракций.

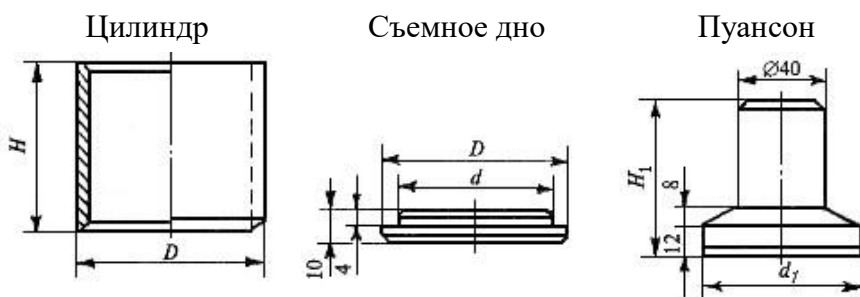


Рис. 2.3. Приспособление для определения дробимости щебня

Определение истираемости в полочном барабане

Истираемость (износ) щебня (гравия) определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане (рис. 2.4) диаметром 700, длиной 500 мм, снабженным на внутренней поверхности полкой шириной 100 мм с 12-ю шарами стальными или чугунными диаметром 48 мм, массой (405 ± 10) г каждый.

Щебень фракций от 5 до 10, св. 10 до 20 или св. 20 до 40 мм в состоянии естественной влажности просеивают через два сита с отверстиями размерами, соответствующими наибольшему D и наименьшему d номинальным размерам зерен данной фракции. Из остатка на сите с отверстиями размером d отбирают две аналитические пробы по 5 кг с предельной крупностью зерен до 20 мм и две пробы по 10 кг фракции св. 20 до 40 мм.

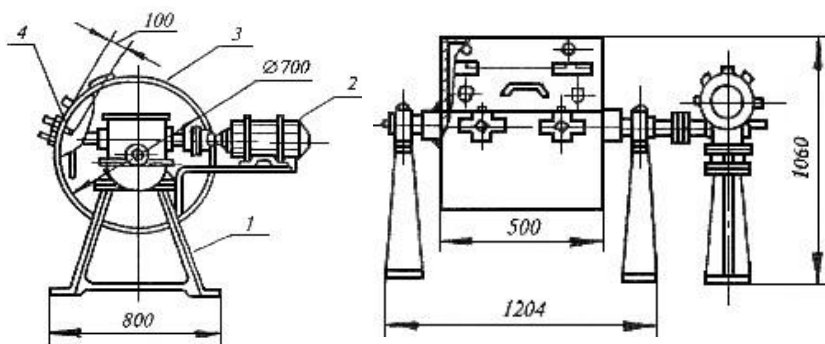


Рис. 2.4. Полочный барабан: 1 - станина; 2 - двигатель; 3 - барабан; 4 - полка барабана

Подготовленную пробу загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрепляют крышку барабана и приводят его во вращение со скоростью 30-33 об/мин. Число чугунных или стальных шаров и общее число оборотов барабана в процессе одного испытания щебня принимают по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Размер фракции щебня, мм	Число шаров, шт.	Число оборотов барабана
От 5 до 10	8	500
Св. 5 до 15	9	500
Св. 10 до 20	11	500
Св. 20 до 40	12	1000

По окончании испытания содержимое барабана просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм и контрольное сито с сеткой № 1,25. Остатки на ситах соединяют и взвешивают. Истираемость щебня I , %, определяют по формуле:

$$I = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m - масса пробы щебня (гравия), г;

m_1 - суммарная масса остатков на сите с отверстиями диаметром 5 мм и контрольном сите, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Определение морозостойкости

Морозостойкость щебня (гравия) определяют по потере массы пробы при попеременном замораживании и оттаивании. Каждую фракцию испытывают на морозостойкость отдельно. Фракции, содержащиеся в количестве менее 5% по массе, на морозостойкость не испытывают. Для испытания берут от каждой фракции две аналитические пробы, массой в соответствии с табл. 2.4.

Таблица 2.4

Фракция, мм	До 10	До 20	До 40	свыше 40
Масса пробы не менее, кг	1,0	1,5	2,5	5,0

Зерна крупнее 70 (80) мм дробят и испытывают фракцию размером св. 40 до 70 (80) мм. Полученные пробы промывают и высушивают до постоянной массы.

Аналитическую пробу данной фракции равномерно насыпают в металлический сосуд и заливают водой, имеющей температуру $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Через 48 ч сливают воду из сосуда, помещают щебень (гравий) в морозильную камеру и доводят температуру в камере до минус $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$. Продолжительность цикла замораживания в камере при установившейся температуре не выше минус 16°C должна составлять 4 ч. После этого сосуд со щебнем помещают в ванну с проточной или сменяемой водой с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и выдерживают в ней при этой температуре до полного оттаивания, но не менее 2 ч. Далее циклы испытания повторяют. После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного

замораживания и оттаивания пробу щебня (гравия) высушивают до постоянной массы, просеивают через контрольное сито, на котором она полностью оставалась перед испытанием.

Зерна щебня (гравия) фракции св. 40 до 70 (80) мм, имеющие свежую поверхность раскола и оставшиеся на сите с размером отверстий 40 мм, относят к неморозостойким. Их массу не включают в массу остатка на контрольном сите. Потерю массы пробы Δm , %, определяют по формуле:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m - масса пробы до испытания, г;

m_1 - масса остатка на сите после соответствующего цикла замораживания и оттаивания, г.

Испытания проводятся на двух параллельных пробах. Если потеря массы при данном числе циклов замораживания и оттаивания не превышает допускаемую по ГОСТ 8267-93, испытания продолжают в течение последующих 25 циклов.

Измерение насыпной плотности щебня

Испытание проводится путем взвешивания определенного объема щебня (гравия) в мерном цилиндре, размеры которого в зависимости от крупности щебня (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Наибольшая крупность щебня, мм	До 10	До 20	До 40	Более 40
Объем мерного цилиндра, л	5	10	20	50
Диаметр мерного цилиндра, мм	185	234	294	400
Высота мерного цилиндра, мм	185	234	294	400

Щебень (гравий) насыпают в мерный цилиндр с высоты 10

см до полного заполнения цилиндра и образования над цилиндром конуса из материала, этот конус снимают вровень с краями цилиндра без уплотнения материала, после этого цилиндр со щебнем (гравием) взвешивают. Объемную насыпную массу щебня (гравия) вычисляют с точностью до 10 кг/м^3 по формуле:

$$\rho_n = (m_2 - m_1) / V_{\text{р.н.}},$$

где m_1 – масса мерного цилиндра пустого, кг;

m_2 – масса мерного цилиндра вместе со щебнем (гравием), кг;

$V_{\text{р.н.}}$ – объем мерного цилиндра, м^3 .

Испытания проводятся на трех параллельных пробах.

Практическое занятие №3

Свойства песка

Песком называется образовавшаяся в результате естественного разрушения горных пород или полученная дроблением рыхлая (сыпучая) смесь зерен размером $0,16 \dots 5,0$ мм.

Зерна размером менее $0,16$ мм называют пылевидными, илистыми и глинистыми частицами. Содержание в песке глинистых частиц должно быть не более $0,5\%$, а пыли и ила не более 3% - в природном песке и 5% - в дробленном. Зерна крупнее 5 мм относятся к щебню, количество этих зерен в песке так же ограничивается ГОСТами. Песок для строительных работ разделяется на следующие виды:

- природный;
- дробленный;
- дробленный из отсевов.

Каждый из этих видов подразделяется на:

- рядовой;
- обогащенный – с пониженным содержанием фракций менее $0,16$ мм и более 5 мм;
- фракционированный – разделенный на крупную и мел-

кую фракции по граничному зерну 1,25 или 0,63 мм.

Песок для строительных работ с объемной массой свыше 1800 кг/м³ применяется для изготовления бетонов и строительных растворов, для строительства дорог и для других видов строительных работ.

Отдельную специальную группу материалов представляют пески пористые неорганические (ГОСТ 9757-90). Качество песка характеризуется следующими показателями:

- зерновым составом и модулем крупности;
- содержанием пылевидных, глинистых и илистых частиц, в том числе глины в комках;
- содержанием органических примесей;
- минералого-петрографическим составом.

Основные свойства песка

Плотностью (ρ) называется масса (m) единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (V_a), т.е.

$$\rho = m / V_a .$$

Объемной массой (γ_o) или *средней плотностью* (ρ_o) называется масса (m) единицы объема материала в естественном состоянии, т.е. в куске с порами и трещинами (V_e)

$$\rho_o = \gamma_o = m / V_e .$$

Средняя плотность материала меньше его плотности. Если естественное состояние материала абсолютно плотное, то средняя плотность материала равна его плотности, например, у стекла, металлов, битума и т.п.

Объемной насыпной массой (γ_n) или *насыпной плотностью* (ρ_n) называется масса (m) единицы объема материала в рыхлонасыпанном состоянии ($V_{p.n.}$) т.е.

$$\rho_n = \gamma_n = m / (V_{p.n.})$$

Измерение плотности, средней и насыпной плотности (γ_0 и γ_n) сводится к измерению объема, который занимает навеска материала в абсолютно плотном (V_a), естественном (V_e) и рыхло насыщенном ($V_{p.n.}$) состоянии. Единицы измерения плотности, объемной и объемной насыпной массы: $г/см^3$, $кг/м^3$ и $т/м^3$. Важнейшими характеристиками строительных материалов являются γ_0 и γ_n . Знание γ_0 и γ_n позволяет вычислить такие важные свойства материала как пористость и пустотность; пересчет количества материала из массовых единиц в объемные и обратно производится по объемной насыпной массе.

Пористостью называется степень заполнения общего объема материала порами (отношение объема пор к объему образца). Различают три вида пористости: истинную (общую), открытую (кажущуюся) и закрытую.

Истинной пористостью называется весь объем пор в данном объеме материала. Пористость измеряется в долях или процентах.

Открытой пористостью материала называется объем тех пор, которые сообщаются с внешней средой, их объем может быть измерен путем водонасыщения материала.

Пустотностью называется объем пустот между зернами рыхло насыпанного материала, выраженный в долях единицы или в процентах от общего объема рыхло насыпанного материала.

Пустотность – важное свойство строительных сыпучих материалов, она может быть полезна (при сооружении насыпных фильтров, ряжей и т.п.) и вредна (при составлении бетонных и растворных смесей, при сооружении балластного слоя дорог и т.п.).

Другим критерием оценки пустотности является зерновой состав материала. Если показатели зернового состава укладываются в нормативы ГОСТа, то пустотность не превышает допустимой. Зная зерновой состав, можно не только судить о годности материала по величине пустотности, но и проектировать величину пустотности путем изменения соотношения фракций.

Для оценки зернового состава находят путем рассева частные и полные остатки на ситах и определяют наибольший и наименьший размер зерна. Рассев выполняется на комплекте

сит, установленных друг под другом по мере убывания размера сетки. После просеивания взвешиванием определяют массы остатков на каждом сите и вычисляют в процентах частные, а затем полные остатки.

Частным остатком на данном сите (a_i) называется остаток материала на этом сите (m_i), выраженный в процентах от массы просеянной пробы (M):

$$a_i = (m_i/M) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Полным остатком на данном сите (A_i) называется сумма частных остатков на этом сите и на всех ситах с большим размером отверстий, т.е. на ситах, установленных выше. Полный остаток выражается в %. Например, $A_{0,63} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63}$, %.

Величина полных остатков на ситах возрастает по мере убывания размера отверстий сетки, т.е. величина полного остатка самая малая на верхнем сите и самая большая на нижнем.

Нормативные значения показателей песка для строительных работ приведены в ГОСТ 8736-2014.

Определение содержания глинистых частиц методом набухания в песке для дорожного строительства

Определение содержания пылевидных, глинистых и илистых частиц в песках возможно различными способами (ГОСТ 8735-88). Например, *пипеточным методом*, аналогичным методу для щебня (гравия). Но, в данной работе приведен специфичный для дорожного строительства *метод набухания*.

Сущность метода заключается в определении величины приращения объема глинистых частиц в течение не менее 24 ч с момента отстаивания и расчета содержания глинистых частиц по средней величине приращения объема. Метод распространяется на природные пески и пески из отсевов дробления горных пород, из шлаков черной и цветной металлургии и фосфорных шлаков, применяемые для дорожного строительства.

Из средней пробы песка массой 1 кг, высушенной до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ и просеянной через

сито с отверстиями размером 5 мм, отбирают навеску массой 200 г. Природный песок и песок из отсевов дробления горных пород просеивают через сито с сеткой N 0,16, песок из шлаков черной и цветной металлургии и фосфорных шлаков - через сито с сеткой N 0,63. Определяют содержание зерен размером менее 0,16 мм и менее 0,63 мм соответственно. Песок, прошедший через сито, равными порциями засыпают через воронку в два стеклянных мерных цилиндра при постукивании по цилиндрам до тех пор, пока объем песка в уплотненном состоянии не достигнет отметки 10 см. Затем песок в каждом цилиндре разрыхляют, вливают по 30...50 см³ дистиллированной воды, тщательно перемешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником до полного исчезновения мазков глины на стенках цилиндра. После этого в каждый цилиндр в качестве коагулянта вливают по 5 см³ 5%-ного раствора хлористого кальция, тщательно перемешивают и доливают по стеклянной палочке (чтобы смыть с нее глину) дистиллированную воду до отметки 50 или 100 см. После отстаивания в течение не менее 24 ч, но не более 30 ч измеряют объем, занимаемый песком.

Приращение объема при набухании глинистых частиц на каждый 1 см³ первоначального объема вычисляют с точностью до второго десятичного знака по формуле:

$$K = \frac{V - V_0}{V_0} ,$$

где V - объем песка после набухания, см;
 V_0 - исходный объем песка, см.

Приращение объема при набухании определяют как среднеарифметическое значение двух результатов.

Содержание глинистых частиц определяют по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Приращение объема, K	Сод. глинистых частиц $\Gamma_{0,16(0,63)}$, %	Приращение объема, K	Сод. глинистых частиц $\Gamma_{0,16(0,63)}$, %	Приращение объема, K	Сод. глинистых частиц $\Gamma_{0,16(0,63)}$, %
1,50	17,0	1,00	11,33	0,50	5,66
1,45	16,43	0,95	10,76	0,45	5,09
1,40	15,87	0,90	10,20	0,40	4,53
1,35	15,35	0,85	9,63	0,35	3,96
1,30	14,74	0,80	9,06	0,30	3,39
1,25	14,17	0,75	8,50	0,25	2,83
1,20	13,85	0,70	7,93	0,20	2,26
1,15	13,03	0,65	7,36	0,15	1,70
1,10	12,46	0,60	6,80	0,12	1,36
1,05	11,90	0,55	6,23	0,10	1,13

Содержание глинистых частиц в природном песке и песке из отсевов дробления горных пород, %, вычисляют по формуле:

$$\Pi_{\text{гп}} = \frac{A_{0,16(0,63)} \cdot \Gamma_{0,16}}{100},$$

где $A_{0,16(0,63)}$ - содержание зерен размером менее 0,16 мм в природном песке и песке из отсевов дробления горных пород (зерен размером менее 0,63 мм в песках из шлаков), % по массе.

Определение зернового состава и модуля крупности песка

Навеску сухого песка $M = 2$ кг просеивают через 2 сита – с отверстиями 5 и 10 мм. Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций крупного заполнителя КЗ, с размером зерен 5–10 мм (KZ_5) и выше 10 мм (KZ_{10}) с точностью до 0,1 % по формулам:

$$KZ_5 = (M_5/M) \cdot 100 \% ; KZ_{10} = (M_{10}/M) \cdot 100 \%,$$

где M – масса пробы, г;

M_5 – масса остатка на сите с отверстиями диаметром 5 мм, г;

M_{10} – масса остатка на сите с отверстиями
диаметром 10 мм, г.

Из песка, прошедшего сквозь сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску, равную 1000 г, и просеивают ее через комплект сит с сетками № 0,14; 0,315; 0,63; 1,25 и сито с отверстиями диаметром 2,5 мм.

Просеивание производят механическим или ручным способом. В учебной лаборатории просеивание производят сухим способом, по ГОСТ 8735–88 сухим или мокрым способом. Просеивание считается законченным, если при интенсивном ручном встряхивании каждого сита над листом бумаги нет падения зерен песка.

По результатам просеивания вычисляют частный остаток на каждом сите a_i в процентах по формуле:

$$a_i = (m_i / m) \cdot 100,$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г.

Полным остатком на сите называется сумма (в %) частного остатка на данном сите и всех частных остатков на вышележащих ситах. Полный остаток на каждом сите A_i в процентах вычисляют по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_{i-1} + a_i,$$

где $a_{2,5}, a_{1,25}, \dots, a_{i-1}$ – частные остатки на вышележащих ситах, %;

a_i – частный остаток на данном сите, %.

Модуль крупности песка вычисляют с точностью до 0,1 по формуле:

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

где $A_{2,5}$; $A_{1,25}$ и т. д. – полные остатки на соответствующих ситах.

Результаты определения зернового состава песка оформляют в соответствии с табл. 3.2 и изображают графически в виде кривой просеивания в соответствии с рис. 3.1.

Таблица 3.2

Остатки на ситах	Размер отверстий сит, мм					Прошло через сито 0,16
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные, г	$m_{2,5}$	$m_{1,25}$	$m_{0,63}$	$m_{0,315}$	$m_{0,16}$	
Частные, %	$a_{2,5}$	$a_{1,25}$	$a_{0,63}$	$a_{0,315}$	$a_{0,16}$	
Полные, %	$A_{2,5}$	$A_{1,25}$	$A_{0,63}$	$A_{0,315}$	$A_{0,16}$	

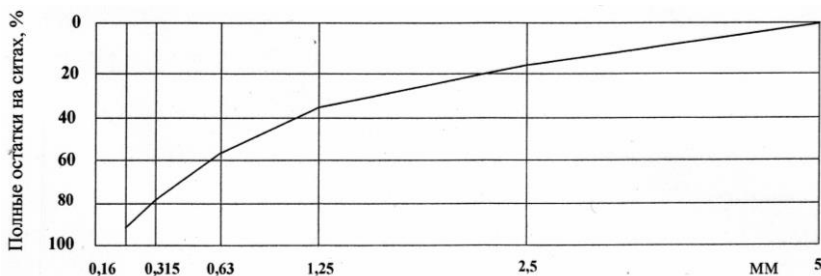


Рис. 3.1. Кривая просеивания

По модулю крупности и зерновому составу устанавливается, к какой группе крупности относится испытанный песок. Пригодность песка по зерновому составу устанавливается сравнением полученных величин полных остатков на ситах с нормативами ГОСТ 8736–2014.

Измерение содержания в песке глины в комках

Испытание выполняется на двух пробах песка: фракции 2,5...5,0 мм, навеска 5,0 г и фракции 1,25...2,5 мм, навеска 1 г.

Каждую навеску песка высыпают тонким слоем на стекло или на металлический лист и увлажняют. Из навески стальной

иглой выбирают комки глины, отличающиеся от зерен песка и супеси вязкостью, в необходимых случаях применяют лупу. После отделения комков глины зерна песка высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание комков глины в каждой навеске песка $G_{Л2,5}$ и $G_{Л1,25}$ вычисляют по формулам:

$$G_{Л2,5} = (M_{2,5} - m_{2,5}/M_{2,5}) \cdot 100; G_{Л1,25} = (M_{1,25} - m_{1,25}/M_{1,25}) \cdot 100\%,$$

где $M_{2,5}$ – масса пробы песка фракции 2,5...5 мм до испытания, г;

$M_{1,25}$ – то же для фракции 1,25...2,5;

$m_{2,5}$ – масса высушенной пробы песка фракции 2,5...5,0 мм после удаления из нее комков глины, г;

$m_{1,25}$ – то же для фракции 1,25...2,5 мм.

Содержание глины в пробе песка (Гл) вычисляют по формуле:

$$Гл = (G_{Л2,5} \cdot a_{2,5} + G_{Л1,25} \cdot a_{1,25}) / 100,$$

где $a_{2,5}$ и $a_{1,25}$ – частные остатки на ситах с сетками

2,5 и 1,25 мм, вычисленные при определении зернового состава песка в предыдущей работе, %.

Если частные остатки на ситах с сетками 2,5 и 1,25 составляют менее 5 % на каждом из сит, содержание глины в комках не измеряется.

Измерение истинной плотности зерен песка

Метод пикнометра. Пикнометр (рис. 3.2) представляет собой плоскодонную стеклянную колбу с узким длинным горлом, на котором нанесена черта (риска), отмечающая уровень рабочего объема пикнометра. Величина объема записана на пикнометре, но тем не менее его объем должен измеряться при каждом опыте с точностью до 0,01 см³. Все взвешивания должны выполняться с точностью до 0,01 г.



Рис. 3.2. Пикнометр

Испытания проводят следующим образом. Пикнометр высушивают и взвешивают – находят m_1 . Пикнометр наполняют на $1/3$ его объема материалом, измельченным и просеянным через сито № 1, после этого пикнометр обтирают сухой чистой тканью и взвешиванием измеряют массу пикнометра с засыпанной в него навеской материала – m_2 .

Затем пикнометр до $1/2$ его объема заполняют дистиллированной водой и кипятят 15...20 мин для удаления из навески материала воздуха. Воздух может быть удален также путем выдерживания пикнометра с содержимым под вакуумом.

После кипячения и охлаждения до комнатной температуры в пикнометр доливают до риски дистиллированную воду и, взвешивая, находят суммарную массу материала и воды в объеме пикнометра вместе с массой пикнометра – m_3 . Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют дистиллированной водой до риски и взвешиванием находят массу пикнометра, заполненного водой m_4 .

Плотность материала вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = [(m_2 - m_1) \cdot \rho_{\text{в}}] / [(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)],$$

где m_1 – масса пустого сухого пикнометра, г;

m_2 – масса пикнометра с навеской материала, г;

m_3 – масса пикнометра, заполненного водой и навеской материала, г;

m_4 – масса пикнометра, заполненного только водой, г;

$(m_2 - m_1)$ – масса навески материала, г;

$(m_4 - m_1)$ – масса воды в объеме пикнометра,
 заполненного только водой, г;
 $(m_3 - m_2)$ – масса воды в объеме пикнометра,
 заполненного водой и навеской материала, г;
 $[(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)]$ – масса воды, замещенной навеской
 материала, г;
 $[(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)] : \rho_в$ – объем воды, замещенной
 навеской, т.е. объем навески
 материала, см³;
 $\rho_в$ – плотность воды, равная 1 г/см³.

Плотность материала определяют параллельно для двух навесок и вычисляют как среднее арифметическое этих определений при расхождении результатов не более 0,02 г/см³.

Измерение средней плотности песка

Метод мензурки. Ориентировочно средняя плотность зерен песка может быть измерена с помощью мензурки. В мензурку емкостью 500 мл наливают воду до уровня 250 мл (V_1). Отвесив с точностью до 0,1 г приблизительно 250 г песка, просеянного через сито с отверстиями диаметром 5 мм, всыпают его в мензурку через стеклянную или бумажную воронку. При использовании мензурки емкостью 250 мл все уменьшают в два раза. Высыпав песок, фиксируют уровень воды в мензурке (V_2). Среднюю плотность зерен песка вычисляют по формуле, кг/м³:

$$\rho_0 = \gamma_0 = m / (V_2 - V_1).$$

Метод мензурки ГОСТами не предусматривается.

Определение насыпной плотности песка

Песок, просеянный сквозь сито с отверстиями диаметром 5 мм, насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный цилиндр емкостью 1,0 л, до полного заполнения цилиндра и образования над верхом цилиндра конуса. Конус без уплотнения снимают вровень с краями сосуда металлической линейкой, после чего взвешивают сосуд с песком. Взвешивание во всех слу-

чаях производят с точностью до 1 г. Насыпную плотность песка вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле:

$$\rho_n = \gamma_n = (m_2 - m_1) / V_{P.H.}$$

где m_1 – масса пустого мерного сосуда, кг;

m_2 – масса мерного сосуда вместе с песком, кг;

$V_{P.H.}$ – объем мерного сосуда, м³.

Испытание выполняется на двух параллельных пробах. Рассчитывается пустотность песка по формуле:

$$V_{\text{пуст}} = 1 - (\rho_n / \rho_0) = 1 - (\gamma_n / \gamma_0).$$

Оценка содержания органических примесей

Степень загрязнения песка органическими примесями оценивается методом окрашивания (колориметрической пробой). Мензурку емкостью 250 мл наполняют до уровня 130 мл песком и заливают до уровня 200 мл 3%-ным раствором едкого натра, энергично перемешивают и оставляют в покое на 24 часа, повторяя перемешивание через 4 часа после начала испытания. Уровень жидкости в мензурке должен быть постоянно на отметке 200 мл.

По истечении 24 часов цвет жидкости над песком сравнивают с цветом желтого эталона, приготовленного по ГОСТ 8735–88. Если окраска жидкости много светлее эталона, песок пригоден для приготовления бетонов и строительных растворов. Если окраска жидкости темнее эталона, для окончательного заключения о пригодности песка требуется дополнительное испытание по специальной методике. При окраске жидкости noticeably светлее эталона мензурку с содержимым подогревают на водяной бане при 60...70°C и вновь сравнивают цвет жидкости с цветом эталона.

Практическое занятие №4

Свойства минерального порошка

Минеральный порошок – это каменная пыль, которая получается при дроблении и измельчении известняка, доломита и твердых отходов промышленного производства.

Существует два основных назначения минерального порошка.

Первое – переводить объемный битум в тонкопленочное состояние. На долю минерального порошка приходится приблизительно 90% суммарной поверхности зерен, входящих в состав асфальтобетона. Битум в таком виде становится более теплоустойчивым, прочным и характеризуется повышенной вязкостью. Вместе с битумом порошок образует дисперсную структурированную систему, которая и является вяжущим материалом в асфальтобетоне. Его высокая гидрофобность позволяет распределяться в битуме равномерно. Еще один плюс его использования – предотвращение проникания влаги и снижение водонасыщения асфальта, в результате чего срок эксплуатации дорожного покрытия существенно возрастает.

Второе назначение минерального порошка – заполнение мелких пор между большими частицами.

Порошки должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 52129-2003. Данный стандарт предусматривает следующие термины с соответствующими определениями:

Порошок минеральный - материал, полученный при помоле горных пород или твердых отходов промышленного производства.

Порошок минеральный активированный - материал, полученный при помоле горных пород или твердых отходов промышленного производства с добавлением активирующих веществ, при помоле битуминозных пород, в том числе горючих сланцев.

Активирующие вещества - смесь поверхностно-активных веществ (ПАВ) или продуктов, содержащих ПАВ, с битумом, рационально подобранная применительно к химической природе сырья для производства минерального порошка.

Порода карбонатная – осадочная порода, состоящая более чем на 50 % из одного или нескольких карбонатных минералов, например известняков, доломитов и переходных между ними разновидностей.

Порода некарбонатная - осадочная или изверженная порода, состоящая более чем на 50 % из минералов кремнезема, например опок, трепелов, туфов, песчаников, гранитов.

Порошковые отходы промышленного производства - отходы промышленного производства, не требующие измельчения, например золы-уноса и золошлаковые смеси тепловых электростанций, пыль уноса цементных заводов, металлургические шлаки и др.

Порошки в зависимости от показателей свойств и применяемых исходных 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.

ГОСТ Р 52129-2003 распространяется на активированные и не активированные минеральные порошки, изготавливаемые из известняков, доломитов, доломитизированных известняков и других карбонатных горных пород и применяемые для производства асфальтобетонных смесей.

Стандарт не распространяется на минеральные порошки, получаемые из некарбонатных пород и порошкообразных отходов промышленности (пыль уноса цементных заводов и золы уноса ТЭЦ), используемых в качестве минеральных порошков для асфальтобетонных смесей.

Определение зернового состава

Сущность метода заключается в определении зернового состава путем просеивания порошка через стандартный набор сит.

При испытании активированных порошков в воду, используемую для промывки, вводят смачиватель. В качестве смачивателя применяют порошкообразные, пастообразные и жидкие технические или бытовые моющие средства. Смачиватель вво-

дят в воду в следующем количестве на 1 л воды: жидкий - 15 г, пастообразный (в виде раствора в воде в соотношении 1:1) - 10 г, порошкообразный - 3 г.

Из подготовленной пробы минерального порошка берут навеску около 50 г, помещают в фарфоровую чашку, заливают небольшим количеством воды (порошок должен быть покрыт водой) и растирают в течение 2-3 мин пестиком с резиновым наконечником, после чего воду с взвешенными в ней частицами порошка сливают через сито с сеткой № 0,071, установленное над сосудом. Эту операцию продолжают до тех пор, пока вода в чашке не станет прозрачной.

После промывки частицы порошка крупнее 0,071 мм, оставшиеся на сетке, смывают с помощью резиновой груши в фарфоровую чашку. Оставшуюся в чашке воду осторожно сливают, чашку помещают в сушильный шкаф, высушивают остаток пробы порошка при температуре (105 ± 5) °С до постоянной массы. Не допускается промывание и растирание порошка непосредственно на сите.

Высушенный остаток пробы последовательно просеивают через сита с сетками № 1,25; 0,315 и 0,071 вручную или на приборе для механического просеивания. Просеивание считают законченным, если после встряхивания сита в течение 30 с количество частиц, прошедших через сито № 1,25, не превышает 0,05 г, а прошедших через сита № 0,315 и 0,071 - 0,02 г. Остаток на каждом сите взвешивают.

Для текущего (оперативного) контроля зернового состава допускается просеивать порошок без предварительной промывки при условии использования прибора для механического просеивания. Из подготовленной пробы порошка берут навеску около 50 г и помещают в набор сит с поддоном и крышкой, установленные в прибор для механического просеивания. Просеивание в приборе продолжают в течение 30...40 мин, после чего прибор останавливают и производят контрольное просеивание вручную. Просеивание считают законченным, если после встряхивания сита в течение 30 с количество частиц, прошедших через сито № 1,25 не превышает 0,05г, а прошедших через

сита № 0,315 и 0,071 - 0,02 г.

Частные остатки на каждом сите a_i , %, вычисляют по формуле:

$$a_i = (m_i / m) \cdot 100,$$

где m_i - масса остатка на данном сите, г;

m - масса навески, г.

Содержание частиц мельче 1,25 ($M_{1,25}$), 0,315 ($M_{0,315}$) и 0,071 ($M_{0,071}$) мм - по формулам:

$$M_{1,25} = 100 - a_{1,25}; M_{0,315} = M_{1,25} - a_{0,315}; M_{0,071} = M_{0,315} - a_{0,071}.$$

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Расхождение между результатами параллельных определений на каждом сите не должно превышать 2% (от общей массы пробы).

Зерновой состав вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний оформляют аналогично определению зернового состава песка.

Определение истинной плотности

Сущность метода заключается в определении плотности порошка без учета имеющихся в нем пор.

Определение истинной плотности неактивированного минерального порошка из горных пород

Из пробы порошка, подготовленной, берут две навески (для двух параллельных определений) около 10 г каждая, если истинную плотность определяют в колбах вместимостью 100 мл, или около 50 г, если используют колбы вместимостью 250 мл.

Каждую навеску порошка всыпают в чистую, высушенную и взвешенную колбу, после чего колбу с порошком вновь взвешивают и на 1/3 заполняют дистиллированной водой.

Содержимое колбы взбалтывают и кипятят на песчаной ванне (или электроплитке с закрытой спиралью) в течение 1 ч, а

затем охлаждают до комнатной температуры. После этого колбу заполняют дистиллированной водой до черты на шейке колбы и взвешивают. Затем колбу освобождают от содержимого, промывают, наполняют до черты на шейке дистиллированной водой комнатной температуры и вновь взвешивают.

Истинную плотность порошка ρ , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{(m - m_1)\rho_e}{m - m_1 + m_2 - m_3},$$

где m - масса колбы с порошком, г;

m_1 - масса пустой колбы, г;

m_2 - масса колбы дистиллированной водой, г;

m_3 - масса колбы с порошком и водой, г;

ρ_e - плотность дистиллированной воды, равная 1 г/см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,02 г/см³.

В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения.

Истинную плотность вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

Определение истинной плотности активированного минерального порошка

Порошок подготавливают к испытанию как и в предыдущем опыте. При этом вместо дистиллированной воды используют раствор смачивателя.

Определяют истинную плотность раствора смачивателя пикнометрическим методом по ГОСТ 3900-85.

Испытания и расчет истинной плотности производят как и в предыдущем опыте.

Определение истинной плотности порошковых отходов промышленного производства

Порошок подготавливают к испытанию, как и в предыдущем опыте. При этом вместо дистиллированной воды используют очищенный керосин.

Керосин подготавливают следующим образом: в стеклянную колбу вместимостью 1 л вставляют стеклянную воронку с бумажным фильтром. На фильтр высыпают 120...150 г силикагеля. 500 мл осветительного керосина небольшими порциями фильтруют через силикагель в воронке.

Определяют плотность керосина пикнометрическим методом по ГОСТ 3900-85.

Взвешивают две чистые и высушенные мерные колбы. В каждую колбу помещают навески порошка около 50 г, после чего колбы с порошком вновь взвешивают и на 1/3 заполняют очищенным керосином.

Колбы помещают в вакуумную установку и выдерживают 30 мин при остаточном давлении не более 0,002 МПа (15 мм рт. ст.).

После этого колбы извлекают из вакуумной установки, выдерживают в течение 30 мин при комнатной температуре, заполняют керосином до черты на шейке и взвешивают. Затем колбы освобождают от содержимого, заполняют керосином до черты на шейке и взвешивают.

Обработку результатов испытания производят, как и в предыдущем опыте.

Определение средней плотности и пористости

Определение средней плотности. Сущность метода заключается в определении плотности порошка после уплотнения его в форме объемом 100 см³ под нагрузкой 40 МПа.

Пробы порошка перед проведением испытаний, исключая пробу, предназначенную для определения влажности, высушивают в сушильном шкафу при температуре (105±5) °С до постоянной массы.

Нижнюю часть формы помещают на поддон, взвешивают, а затем на нее устанавливают верхнюю часть.

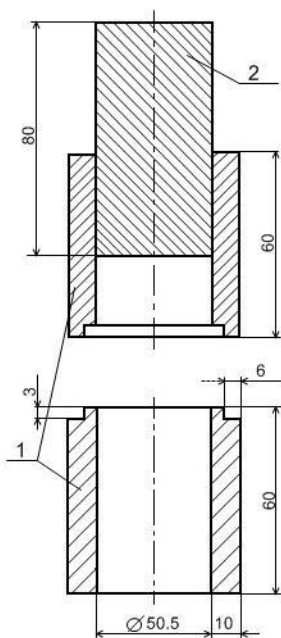
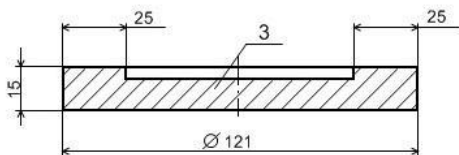


Рис. 4.1. Форма для определения средней плотности минерального порошка в уплотненном состоянии



Порошок порциями по 60...80 г переносят в собранную форму, послойно распределяют и штыкуют ножом или шпателем, заполняя ее на 15...20 мм ниже верхнего края, и слегка прижимают вкладышем. Форму с порошком устанавливают на нижнюю плиту пресса, плавно доводят уплотняющую нагрузку до 40 МПа и поддерживают в течение 3 мин. После этого нагрузку снимают и форму с вкладышем переносят на противень. Вкладыш и верхнюю часть формы снимают, излишек порошка над нижней частью формы срезают ножом, наружные части формы и поддона очищают мягкой кистью.

Нижнюю часть формы с порошком и с поддоном взвешивают. Среднюю плотность порошка ρ_m , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{m - m_1}{V},$$

где m - масса нижней части формы с поддоном и уплотненным минеральным порошком, г;
 m_1 - масса нижней части формы с поддоном, г;
 V - объем порошка, равный 100 см³.

Пористость минерального порошка определяют расчетом на основании предварительно установленных значений истинной плотности и средней плотности.

Пористость порошка $V_{пор}$, %, вычисляют по формуле:

$$V_{пор} = [1 - (\rho_m / \rho)] \cdot 100,$$

где ρ - истинная плотность порошка, г/см³;

ρ_m - средняя плотность порошка, г/см³.

Результат испытаний вычисляют с точностью до целого числа.

Определение набухания образцов из смеси порошка с битумом

Сущность метода заключается в определении приращения объема образцов с водонасыщением от 4% до 5% по объему из смеси порошка с битумом после насыщения их водой в условиях вакуума и последующего выдерживания в горячей воде.

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

100 г порошка помещают в металлическую чашку и нагревают активированный порошок до 135...140°C, а неактивированный до 150...160°C. В чашку вводят предварительно обезвоженный и нагретый до температуры 140...160°C битум марки БНД 60/90 или БНД 90/130. количество битума для активированного порошка 10 г (рекомендуемые 10...15%), для неактивированного 15 г (рекомендуемые 13...18%).

Минеральный порошок с битумом интенсивно перемешивают в течение 5...6 мин до полного и равномерного распределения битума в смеси. Металлическую форму с внутренним диаметром 25,2 мм (рис. 4.2) нагревают в термостате до температуры 90-100°C, протирают тканью, слегка смоченной керосином. Устанавливают форму, чтобы нижний вкладыш выступил из нее на 10...20 мм. Для этого используют специальную под-

ставку. Заполняют форму 25...30 г смеси битума с порошком, штыкуют смесь и закрывают форму верхним вкладышем.

Форму со смесью устанавливают на нижнюю плиту прессы и уплотняют при давлении 10 МПа в течение 3 мин.

Затем нагрузку снимают и образец выжимают из формы.

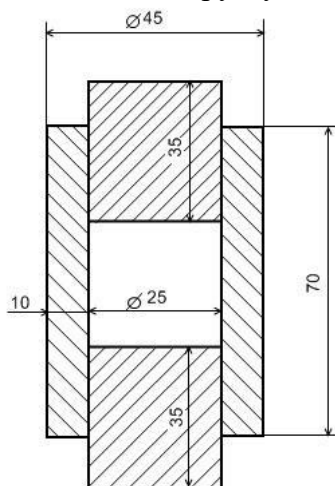


Рис. 4.2. Форма для приготовления образцов из смеси битума и минерального порошка

По этой методике изготавливают три образца. Образцы очищают от прилипших частиц смеси, вытирают и взвешивают на воздухе и в воде при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

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

Набухание образцов H , %, вычисляют по формуле:

$$H = \frac{(m_2 - m_3) - (m - m_1)}{m - m_1} 100$$

где m - масса образца на воздухе, г;
 m_1 - масса образца в воде, г;

m_2 - масса образца на воздухе после испытания, г;

m_3 - масса образца в воде после испытания, г.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до первого десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,2%.

Определение показателя битумоёмкости

Сущность метода заключается в определении количества масла, при котором смесь его с 100 см³ порошка имеет заданную консистенцию.

Пробу минерального порошка массой 200...250 г высушивают в сушильном шкафу при 105...110°С в течение 5 ч, затем охлаждают в эксикаторе и просеивают через сито с отверстием 1,25 мм. Активированный минеральный порошок испытывают в воздушно-сухом состоянии. В фарфоровую чашку отвешивают 15 г масла с температурой (20±2)°С. К маслу постепенно небольшими порциями добавляют порошок и тщательно перемешивают с ним. Когда смесь приобретает пастообразную консистенцию и не прилипает к стенкам и дну фарфоровой чашки, ее помещают в металлическую чашку, выглаживая ножом или шпателем вровень с краями. Металлическую чашку со смесью устанавливают на подставку прибора Вика, подводят пестик к поверхности смеси и отмечают положение указателя на шкале. Затем пестик поднимают над поверхностью смеси на 20 мм и дают возможность стержню с пригрузом и пестиком свободно погружаться в смесь в течение 5 с, после чего отмечают положение указателя на шкале и определяют глубину погружения, которая должна быть 8 мм.

Если полученная величина погружения больше 8 мм, смесь вновь помещают в фарфоровую чашку, добавляют порошок, перемешивают и повторяют испытание.

Если полученная величина погружения меньше 8 мм, делают новую смесь порошка с маслом, используя количество порошка меньше первоначального, и снова повторяют испытание.

Показатель битумоёмкости ПБ, г, вычисляют по формуле

$$\text{ПБ} = [15 \cdot \rho / (m - m_1)] \cdot 100,$$

где m - масса отвешенной порции порошка, г;

m_1 - масса оставшегося после испытания порошка, г;

ρ - истинная плотность порошка, г/см³;

100 - объем порошка, см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до целого числа. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 г.

Определение гидрофобности активированного порошка

Сущность метода состоит в оценке способности порошка не смачиваться водой.

Определение гидрофобности методом свободного флотирования

Стекланный стакан вместимостью 500...800 мл заполняют дистиллированной водой на 50 мм ниже края. От подготовленной пробы отвешивают около 2 г порошка, ссыпают его со шпателя на поверхность воды легким постукиванием шпателя по краю стакана.

Стакан с водой и порошком оставляют в покое на 24 ч.

Порошок считают гидрофобным, если за 24 ч он не осядет на дно, и не будет наблюдаться видимого смачивания порошка водой.

Определение гидрофобности ускоренным методом

Стекланный стакан заполняют дистиллированной водой на 50 мм ниже края и ставят на уровне глаз (для удобства наблюдения) на ровную поверхность (стол или подставку), предварительно покрытую листом бумаги, на которую нанесены две параллельные линии на расстоянии 50 мм друг от друга.

Стакан устанавливают таким образом, чтобы одна из линий на бумаге являлась касательной к основанию стакана.

От подготовленной пробы порошка отвешивают около 0,5 г и ссыпают его со шпателя на поверхность воды легким постукиванием шпателя по краю стакана. Стакан двигают от одной линии к другой и обратно.

Цикл, включающий два движения (путь в 100 мм), должен

выполняться за 1 с плавно, без рывков.

Порошок считают гидрофобным, если после 10 циклов перемещений стакана не наблюдается даже легких («туманных») потоков порошка с поверхности воды ко дну стакана.

Определение влажности минерального порошка

Сущность метода заключается в определении содержания влаги в порошке.

Вымытые фарфоровые чашки диаметром 10...15 см по ГОСТ 9147 помещают не меньше, чем на 30 мин в сушильный шкаф при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, затем охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры. Испытание проводят в двух чашках. Каждую чашку, подготовленную как указано выше, взвешивают. Из пробы порошка берут две навески по (50 ± 5) г и высыпывают в чашки, заполняя их равномерно без уплотнения. Чашки с порошком взвешивают и помещают в сушильный шкаф с температурой $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, где высушивают порошок до постоянной массы, для установления которой чашки с порошком взвешивают через каждый час, охлаждая предварительно до комнатной температуры.

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

$$W = [(m - m_1)/(m_1 - m_2)] \cdot 100,$$

где m - масса чашки с порошком до высушивания, г;

m_1 - масса чашки с порошком после высушивания, г;

m_2 - масса чашки, г.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до первого десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,2 %.

В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения.

Влажность порошка вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

Практическое занятие №5

Свойства органических вяжущих

Органические вяжущие материалы представляют собой природные или искусственные твердые, вязкопластичные или жидкие материалы, состоящие из смеси различных углеводов и их неметаллических производных, образующих сложные дисперсные системы. В дорожном строительстве органические вяжущие материалы применяют для устройства покрытий и оснований в составе асфальтобетонных и битумоминеральных смесей, для укрепления грунтов и изготовления гидроизоляционных материалов.

Битумы - вещества, состоящие из смеси углеводов и их кислородных, сернистых и азотистых производных. *Природные битумы* - находящиеся в природе почти в чистом виде или извлекаемые из асфальтовых горных пород (асфальтовых известняков, песчаников). *Нефтяные* и *сланцевые* получают переработкой продуктов перегонки нефти или битуминозных сланцев.

Дегти (каменноугольные, торфяные, древесные) - вязкожидкие водонерастворимые материалы, состоящие в основном из смеси ароматических углеводов и их сернистых, азотных и кислородных производных, получаемые сухой перегонкой каменного и бурого угля, торфа и древесины. По сравнению с битумами дегти быстрее стареют, т.е. становятся более хрупкими, но лучше смачивают и обволакивают поверхность минеральных материалов.

Для обработки органическими вяжущими веществами влажных минеральных материалов (особенно в осенний период) могут быть использованы битумные или дегтевые эмульсии. *Эмульсия* (дорожная) - жидкий вяжущий материал, представляющий собой коллоидно-дисперсную систему из двух не смешивающихся компонентов - битума или дегтя и воды. Для обеспечения устойчивости эмульсии во времени в ее состав вводят *эмульгатор* - поверхностно-активное вещество, образующее на границе раздела фаз защитный слой, препятствующий распаду эмульсии.

Наиболее широкое применение имеют нефтяные дорожные битумы, которые получают из нефти после отгона из нее легких фракций. Наиболее распространенный метод получения битумов является окисление кислородом воздуха нефтяных остатков в окислительных установках. Кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в сырье. Потеря водорода сопровождается полимеризацией и сгущением битума до заданной консистенции.

Для дорожно-строительных работ выпускают два вида битумов: вязкие и жидкие. Вязкие битумы подразделяются на битумы нефтяные дорожные (БНД) и битумы нефтяные (БН). Битумы марки БНД отличаются от БН улучшенными показателями.

Вязкие нефтяные дорожные битумы (ГОСТ 22245-90) выпускаются пяти марок: БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, БНД 200/300; нефтяные (БН) - четырех марок: БН 60/90, БН 90/130, БН 130/200, БН 200/300. Марка вязких битумов характеризуется глубиной проникновения стальной иглы пенетromетра диаметром $(0,15 \pm 0,01)$ мм, нагруженной грузом массой $(100 \pm 0,01)$ г, за 5 с в битум при температуре 25°C . Глубина проникновения выражается в условных единицах - градусах, причем один градус соответствует погружению иглы на 0,1 мм. Так, для битума марки БНД 200/300 проникновение иглы находится в пределах $200 \dots 300^\circ$ или 20...30 мм.

Жидкие битумы (ГОСТ 11955-82) предназначены для применения их в холодном или подогретом состоянии при температуре от 20 до 120°C , поэтому при естественной температуре они обладают текучестью, которая обеспечивает необходимую удобообрабатываемость смесей. Через некоторый промежуток времени жидкие битумы в дорожных покрытиях вследствие процессов испарения и полимеризации постепенно загустевают и приобретают вязкость, близкую к вязким дорожным битумам. В зависимости от скорости загустевания жидкие битумы подразделяют на три класса: среднегустеющие - СГ, медленно густеющие - МГ, медленно густеющие остаточные - МГО. Получают их путем смешивания в подогретом состоянии вязкого битума и растворителя. В качестве растворителя используют жид-

кие легкие нефтепродукты (бензин, лигроин, керосин) и более тяжелые (нефть, мазут, масло и т.п.).

Марки жидких битумов в пределах одного класса подразделяют по кинематической вязкости, определяемой вискозиметром с калиброванным отверстием диаметром 5 мм и выражаются временем свободного истечения в секундах 50 мл битума при температуре 60°C. Вязкость жидких битумов принято обозначать C_{60}^5 . Например, для битума СТ 40/70 время истечения составляет от 40 до 70 с ($C_{60}^5 = 40...70$ с).

Определение пенетрации (ГОСТ 11501-78)

Сущность метода заключается в измерении глубины, на которую погружается игла пенетromетра в испытуемый образец битума при заданной нагрузке, температуре и времени и выражается в единицах, соответствующих десятым долям миллиметра (0,1 мм).

Испытуемый образец битума нагревают до подвижного состояния, при наличии влаги его обезвоживают путем нагрева до температуры на 90°C выше температуры размягчения, но не выше 180°C (для дорожных битумов - не выше 160°C) при осторожном перемешивании, избегая местных перегревов. Время нагревания битума при указанных условиях не должно превышать 30 мин.

Обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния битум процеживают через металлическое сито и наливают в две пенетрационные чашки так, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки, и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха.

Чашку с битумом охлаждают на воздухе при 18...30°C, предохраняя образец от пыли. Продолжительность охлаждения 60...90 мин при испытании битума с глубиной проникания иглы до 250 и 90...120 мин - с глубиной проникания иглы более 250.

Затем чашки с битумом помещают в водяную баню для термостатирования при заданной температуре испытания.



Рис. 5.1. Пенетрометр М-984 ПК. Предназначен для определения пенетрации дорожных нефтяных битумов и прочих нефтепродуктов по методу определения глубины проникания иглы в испытуемый образец при заданной нагрузке, температуре в единицах соответствующих 0,1 мм.



Рис. 5.2. Пенетрометр битумный автоматический ПБА-1ФМ по ГОСТ 1440-78. Предназначен для определения вязкости нефтяных дорожных битумов и прочих нефтепродуктов по методу определения глубины проникания иглы в испытуемый образец при заданной нагрузке, температуре и времени и выражается в единицах соответствующих 0,1 мм.

Время выдерживания чашек в бане высотой 35 мм – 60...90 мин, а чашек высотой 60 мм – 90...120 мин.

Пенетрометр устанавливают горизонтально по уровню или отвесу, после этого проверяют точность показаний пенетрометра. Для этого вынимают иглу, произвольно опускают плунжер пенетрометра. Затем между плунжером и нижним концом рейки кремальеры вставляют тарировочный стержень высотой $(40,00 \pm 0,05)$, $(50,00 \pm 0,05)$ и $(63,00 \pm 0,05)$ мм, устанавливают

стрелку на ноль, вынимают тарировочный стержень и опускают рейку кремальеры до касания с верхним концом плунжера. Показание пенетрометра должно соответствовать высоте тарировочного стержня.

Для пенетрометров, снабженных автоматическим реле времени, необходимо проверить выключение их через $(5,0 \pm 0,1)$ с и $(60,00 \pm 0,15)$ с.

Температура и условия испытания глубины проникания иглы приведены табл. 5.1.

Таблица 5.1

Температура испытания, °С	Общая масса стержня, иглы и дополнительного груза, г	Время опускания иглы, с
$0,0 \pm 0,1$	$200,00 \pm 0,20$	60
$4,0 \pm 0,1$	$200,00 \pm 0,20$	60
$25,0 \pm 0,1$	$100,00 \pm 0,15$	5
$50,0 \pm 0,1$	$50,00 \pm 0,10$	5

Примечание. Допускается в нормативно-технической документации на битумы устанавливать другие условия проведения испытания.

Если нормативно-технической документацией на битумы не предусмотрены условия испытания, то глубину проникания иглы определяют при температуре 25°C , нагрузке 100 г в течение 5 с.

По истечении заданного времени выдерживания чашку с образцом битума вынимают из бани для термостатирования и помещают в плоскодонный сосуд вместимостью не менее $0,5 \text{ дм}^3$, наполненный водой так, чтобы высота жидкости над поверхностью битума была не менее 10 мм, температура воды в сосуде должна соответствовать температуре испытания.

Сосуд устанавливают на столик пенетрометра и подводят острие иглы к поверхности битума так, чтобы игла слегка касалась ее.

Правильность подведения иглы к поверхности битума проверяют с помощью зеркала при освещении поверхности образца источником направленного холодного света.

Допускается применять другие устройства, обеспечивающие проверку правильности подведения конца острия иглы к поверхности битума.

При разногласиях, возникших в оценке качества битума, правильность подведения иглы к поверхности битума проверяют с помощью зеркала.

Доводят кремальеру до верхней площадки плунжера, несущего иглу, и устанавливают стрелку на нуль или отмечают ее положение, после чего одновременно включают секундомер и нажимают кнопку пенетromетра, давая игле свободно входить в испытуемый образец в течение 5 с, по истечении которых отпускают кнопку. После этого доводят кремальеру вновь до верхней площадки плунжера с иглой и отмечают показание пенетromетра.

Если пенетromетр полуавтоматический, то устанавливают шкалу или стрелку на 0 и приводят в действие механизм, который по истечении 5 с выключается сам.

Определение повторяют не менее трех раз в различных точках на поверхности образца битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу вынимают из гнезда, отмывают ее толуолом, бензином или другим растворителем и насухо вытирают в направлении острия. Для отдельных марок битумов, если результаты имеют разброс, перед проведением испытания иглы погружают на 5 мин в раствор олеиновой кислоты в толуоле с массовой долей 1 %, затем насухо вытирают. Если глубина проникания иглы образца выше 200 единиц, применяют не менее трех игл, оставляя каждую в образце до завершения трех определений.

За результат испытания при 25°С принимают среднее арифметическое результатов не менее трех определений.

Определение температуры размягчения по кольцу и шару (метод КиШ) (ГОСТ Р 11506-73)

Сущность метода заключается в определении температуры, при которой битум, находящийся в кольце заданных разме-

ров, в условиях испытания размягчается и, перемещается под действием стального шарика, нижней пластинки.

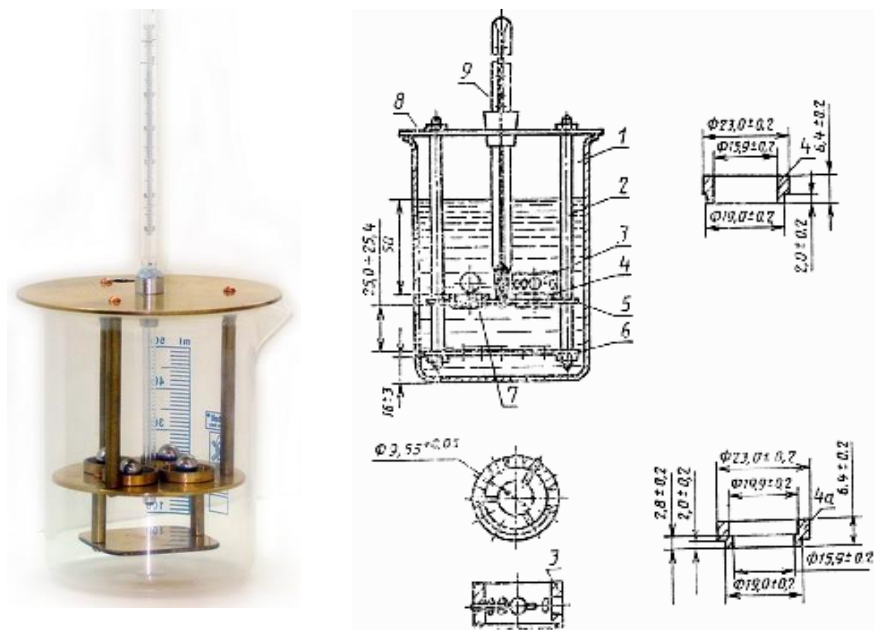


Рис. 5.3. Прибор КИШ: 1 - стеклянный стакан; 2 - штатив;
 3 - накладка; 4 - латунное гладкое кольцо;
 4а - латунное ступенчатое кольцо; 5 - верхняя пластинка;
 6 - нижняя пластинка; 7 - шарик; 8 - крышка; 9 – термометр

Перед испытанием образец битума, при наличии влаги, обезвоживают осторожным нагреванием без перегрева до температуры на $80...100^{\circ}\text{C}$ выше ожидаемой температуры размягчения, но не ниже 120°C и не выше 180°C . Обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния битум процеживают через сито и затем тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. Масса пробы битума около 50 г. Битум наливают с некоторым избытком в два гладких или ступенчатых кольца (для битумов с температурой размягчения свыше 80°C используют два ступенчатых кольца, которые первоначально подогревают с помощью горелки или электрической плитки до

предполагаемой температуры размягчения битума), помещенные на пластинку, покрытую смесью декстрина с глицерином (1:3) или талька с глицерином (1:3), при этом следует избегать образования пузырьков воздуха. После охлаждения колец с битумом на воздухе в течение 30 мин при $(25\pm 10)^\circ\text{C}$ избыток битума гладко срезают нагретым ножом вровень с краями колец.

Для битума с температурой размягчения свыше 110°C избыток битума срезают после охлаждения на воздухе в течение 5 мин, а затем выдерживают еще 15 мин.

Для битумов с температурой размягчения ниже 30°C кольца с битумом помещают на 30 мин в стакан с водой, температура которой на $(8\pm 1)^\circ\text{C}$ ниже предполагаемой температуры размягчения. Избыток битума срезают нагретым ножом.

Для битумов с температурой размягчения ниже 80°C .

Кольца с битумом помещают в отверстия на верхней пластинки аппарата. В среднее отверстие верхней пластинки вставляют термометр так, чтобы нижняя точка ртутного резервуара была на одном уровне с нижней поверхностью битума в кольцах.

Штатив с испытуемым битумом в кольцах и направляющими накладками помещают в стеклянный стакан (баню), заполненный дистиллированной свежевскипиченной водой, температура которой $(5\pm 1)^\circ\text{C}$, уровень воды над поверхностью колец не менее 50 мм. По истечении 15 мин штатив вынимают из бани, на каждое кольцо в центре поверхности битума кладут пинцетом стальной шарик, охлажденный в бане до $(5\pm 1)^\circ\text{C}$, и опускают подвеску обратно в баню, избегая появления пузырьков воздуха на поверхности битума.

Устанавливают баню на нагревательный прибор так, чтобы плоскость колец была строго горизонтальной. Температура воды в бане после первых 3 мин подогрева должна подниматься со скоростью $(5\pm 0,5)^\circ\text{C}$ в минуту.

Для битумов с температурой размягчения свыше 80°C определение проводят как для битумов с температурой размягчения ниже 80°C , но со следующими изменениями:

- для битумов с температурой размягчения от 80 до 110°C в баню наливают смесь воды с глицерином (1:2);

- для битумов с температурой размягчения свыше 110°C в баню наливают глицерин;
- температура выдерживания образцов битумов в течение 15 мин в бане, наполненной глицерином с водой или глицерином, должна быть $(34\pm 1)^{\circ}\text{C}$;
- шарик должен быть нагрет в бане до $(34\pm 1)^{\circ}\text{C}$.

Для каждого кольца и шарика отмечают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется нижней пластинки.

Примечание. Если шарик продавливает битум, то испытание повторяют. Если при повторном испытании продавливание повторяется, то отмечают это в результате.

За температуру размягчения битума принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений, округленных до целого числа.

Определение сцепления битума с мрамором и песком (ГОСТ 11508-74)

Сущность метода заключается в определении способности битума удерживаться на предварительно покрытой им поверхности песка, мрамора или другого заполнителя основной породы под воздействием кипящей воды.

Отбор и подготовка проб битума производится в соответствии с ГОСТ 2517-85. Масса сборной пробы битума должна быть не менее 2 кг.



Рис. 5.4. Приспособление ОС-Ф.

Сцепление оценивают визуально по величине поверхности минерального материала, сохранившей пленку вяжущего после кипячения в водном растворе поваренной соли. Смесь считают выдержавшей испытание, если после кипячения не менее 3/4 поверхности остается покрытой пленкой вяжущего.

Масса усредненной лабораторной пробы должна быть достаточной для проведения испытаний при заданных условиях.

Испытания проводят на мраморе или другом заполнителе основной породы, а также песке. Мрамор или заполнитель измельчают, отсеивают через металлические сита, размером от 2 до 5 мм. Кусочки с полированной поверхностью отбрасывают. Образцы мрамора, заполнителя или песка промывают дистиллированной водой и сушат при 105...110°C, песок - в течение 2 ч, мрамор или заполнитель основной породы - 5 ч.

Для приготовления битумоминеральной смеси в двух фарфоровых чашках взвешивают по $(30 \pm 0,1)$ г мрамора, заполни теля основной породы или песка, приготовленных как описано выше, и по $(1,20 \pm 0,01)$ г испытуемого битума. Чашки выдерживают в течение 20 мин в сушильном шкафу при 130...140°C. Чашки вынимают из термостата и перемешивают мрамор, заполнитель основной породы или песок с битумом до покрытия всей поверхности минерального материала. Затем смесь выдерживают при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 20 мин.

На металлическую сетку № 0,25 или № 0,5 с проволочными дужками выкладывают из одной чашки примерно половину подготовленной битумоминеральной смеси, распределяют ее равномерным слоем и опускают сетку в стакан с кипящей дистиллированной водой (высота слоя воды под сеткой и над смесью должна быть по 40...50 мм). Аналогичную операцию производят с битумоминеральной смесью из второй чашки.

Сетки с испытуемыми образцами выдерживают в кипящей воде в течение 30 мин. Кипение воды не должно быть бурным. Битум, отделившийся от смеси и всплывший на поверхность воды в процессе кипячения, снимают фильтровальной бумагой.

Сетки с испытуемым битумом сразу по окончании кипячения переносят в стаканы с холодной водой, где выдерживают в

течение 3...5 мин, после этого смеси переносят на фильтровальную бумагу.

Для оценки сцепления битума с поверхностью минерального материала битумо-минеральную смесь сравнивают с фотографиями контрольных образцов.

Определение условной вязкости (ГОСТ 11503-74)

Сущность метода заключается в измерении времени, в течение которого определенное количество битума протекает через калиброванное отверстие цилиндра аппарата при заданной температуре.



Рис. 5.5. Вискозиметр ВУБ-Ф1. Предназначен для определения условной вязкости нефтяных битумов по ГОСТ 11503-74 и битумных эмульсий по ГОСТ Р 52128-2003.

Принцип действия прибора основан на измерении времени истечения 50 мл битумного материала при определенной температуре через калибровочное отверстие стакана размером:

- 5 мм при испытании жидкого битума
- 3 мм при испытании битумной эмульсии.

Перед испытанием пробу битума, нагретого до подвижного состояния (жидкого битума не выше 60°C), при необходимости обезвоживают фильтрованием через слой высотой 15...20

мм крупнокристаллической свежeproкаленной поваренной соли по ГОСТ 13830-97 или хлористого кальция по ГОСТ 450-77.

Продукт, обезвоженный и нагретый до подвижного состояния, процеживают через сито и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха.

Аппарат устанавливают горизонтально с помощью установочных винтов. Внутреннюю поверхность цилиндра аппарата, а также затвор тщательно промывают бензином или другим растворителем и просушивают воздухом. Сточное отверстие рабочего цилиндра закрывают затвором и подставляют под него мерный цилиндр.

Баню аппарата наполняют водой, нагретой на $1 \dots 2^\circ\text{C}$ выше температуры испытания. Температуру воды в бане поддерживают нагреванием, перемешивая с помощью мешалки.

Для определения условной вязкости пробу охлаждают до комнатной температуры и выдерживают не менее 1 ч, затем нагревают ее на $2 \dots 3^\circ\text{C}$ выше температуры испытания и наливают в рабочий цилиндр аппарата при закрытом затворе до уровня отметки на затворе. Битумы наливают так, чтобы не образовывались пузырьки воздуха. Битум, залитый в цилиндр аппарата, хорошо перемешивают термометром.

При достижении температуры испытания с погрешностью не более $6,5^\circ\text{C}$ из рабочего цилиндра аппарата вынимают термометр и быстро поднимают затвор. При сливе продукт не должен разбрызгиваться по стенкам мерного цилиндра.

В момент, когда уровень битума достигнет в измерительном цилиндре метки 25 см^3 , включают секундомер. Когда уровень продукта достигнет метки 75 см^3 , секундомер останавливают и вычисляют время испытания.

Для удобства работы допускается в мерный цилиндр перед определением наливать 20 см^3 мыльного раствора с массовой долей 1 % или легкого минерального масла. При этом уровень меток истечения 25 см^3 и последующих 50 см^3 смещается на соответствующую величину.

За условную вязкость, выраженную в секундах, принимают время истечения 50 см^3 битума. За результат испытания при-

нимают среднее арифметическое результатов двух определений, округленное до целого числа.

Определение растяжимости (ГОСТ 11505-75)

Сущность метода заключается в определении максимальной длины, на которую может растянуться без разрыва битум, залитый в специальную форму, раздвигаемую с постоянной скоростью при заданной температуре.

Для измерения растяжимости (дуктильности) нефтяных дорожных битумов в соответствии с ГОСТ 22245-90 и ГОСТ 11505-75 СНЗ7.1993 г. в лабораторных условиях применяют дуктилометры ДМФ-980, ДМФ-1480 и ДАФ-980, ДАФ-1480 (рис. 5.6).

Перед испытанием битум при наличии влаги обезвоживают осторожным нагреванием без перегрева до температуры на $80...100^{\circ}\text{C}$ выше температуры размягчения, но не выше 180°C (для дорожных битумов - не выше 160°C) при помешивании стеклянной палочкой. Обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния битум процеживают через металлическое сито и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха.

Полированную металлическую или стеклянную пластинку и внутренние боковые стенки вкладышей «восьмерки» (рис. 5.7) покрывают смесью талька с глицерином (1:3) или смесью декстрина с глицерином (1:2). Допускается боковые стенки вкладышей покрывать папиросной бумагой. Затем собирают форму на пластинки.



Рис. 5.6. Дуктилометр ДМФ-980, ДМФ-1480 и ДАФ-980, ДАФ-1480

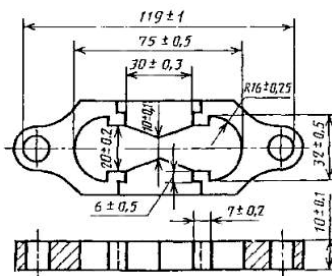


Рис. 5.7. Форма для битума

Предназначен для измерения растяжимости (дуктильности) нефтяных дорожных битумов в соответствии с ГОСТ 22245-90 и ГОСТ 11505-75 СНЗ7.1993 г. в лабораторных условиях.

Битум, подготовленный как описано выше, расплавляют и наливают в три формы тонкой струей от одного конца формы до другого, пока она не наполнится выше краев. Залитый в форму битум оставляют охлаждаться на воздухе в течение 30...40 мин при комнатной температуре, но не ниже 18°C, а затем гладко срезают излишек битума горячим острым ножом от середины к краям так, чтобы битум заполнял формы вровень с их краями.

Формы с битумом, не снимая с пластинки, помещают в водяную ванну, объем воды, в которой должен быть не менее 10 дм³ (можно в ванну дуктилометра). Высота слоя воды над битумом должна быть не менее 25 мм; в ванне поддерживают температуру испытания, добавляя горячую или холодную воду или лед. При определении растяжимости при 25 °С температура воды поддерживается (25±0,5)°С, при определении растяжимости при 0°С температура воды поддерживается 0+0,5°С.

По истечении 1 ч формы с битумом вынимают из воды, снимают с пластинки и закрепляют в дуктилометре, для чего кольца зажимов формы надевают на штифты, находящиеся на салазках и на стойке дуктилометра. После этого отнимают боковые части форм. Если образцы выдерживались не в дуктилометре, а в другой ванне, то прежде чем переносить их в дуктилометр, его также наполняют водой, имеющей температуру испытания, в таком количестве, чтобы вода покрывала штифты не менее чем на 25 мм. После того, как температура воды в дуктилометре установится (25±0,5)°С при испытании при 25°С и 0+0,5°С - при испытании при 0°С, включают мотор дуктилометра и наблюдают за растяжением битума.

Скорость растяжения при испытаниях при 25°С и 0°С должна быть 5 см/мин.

Допускается при определении растяжимости битума при 0°С устанавливать перегородку в середине ванны дуктилометра.

При определении растяжимости битумов, имеющих плотность значительно большую или меньшую плотности воды (при

растяжении нити битума достигают дна или всплывают на поверхность воды), плотность воды изменяют добавлением раствора поваренной соли или глицерина (для увеличения плотности) и этилового спирта (для уменьшения плотности).

За растяжимость битума принимают длину нити битума в сантиметрах, отмеченную указателем в момент ее разрыва. Для каждого образца проводят три определения. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение трех параллельных определений. При растяжимости до 10,0 см результат округляют до 0,1 см, при большем значении результат округляют до целого числа.

Практическое занятие №6

Подбор состава асфальтобетонной смеси

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

Асфальтобетон - уплотненная асфальтобетонная смесь.

Асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны в зависимости от вида минеральной составляющей подразделяют на:

- щебеночные;
- гравийные;
- песчаные.

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

- горячие, приготовляемые с использованием вязких и жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 110°C (ГОСТ 9128-2013) или 120°C (ГОСТ 9128-2009);

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

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

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

Асфальтобетоны в зависимости от величины остаточной пористости подразделяют на виды:

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

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

А -	с содержанием	щебня		св. 50% до 60%;
Б -	"	щебня	(гравия)	св. 40% до 50%;
В -	"	"	"	св. 30% до 40%.

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

Высокопористые асфальтобетонные смеси подразделяют на высокопористые щебеночные и высокопористые песчаные.

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

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

- Г и Гх - на песках из отсевов дробления;
- Д и Дх - на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления.

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяют на марки, указанные в табл. 6.1.

Таблица 6.1

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

Требования к материалам для приготовления асфальтобетонных смесей

Щебень и гравий. Для приготовления асфальтобетонных смесей используют щебень и гравий из плотных горных пород по ГОСТ 8267-93, щебень из металлургических шлаков по ГОСТ 3344-83 следующих фракций: от 5 до 10 мм, свыше 10 до 20 (15) мм, свыше 20 (15) до 40 мм, а также смеси указанных фракций.

Марка щебня по прочности для смесей типа А, марки I должна быть не менее 1200, для типа Б, марки I из изверженных и метаморфических горных пород не менее 1200, для щебня из осадочных горных пород и гравия не менее 1000.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) формы в щебне и гравии должно быть, % по массе, не более: 15 – для смесей типа А и высокоплотных; 25 – для смесей типов Б, Бх; 35 – для смесей типов В, Вх.

Песок. Песок природный и из отсевов дробления горных пород должен соответствовать требованиям ГОСТ 8736-2014. Марка по прочности песка из отсевов дробления для смесей марки I должна быть 800-1000, а содержание глинистых частиц,

определяемых методом набухания в % по массе должно быть не более 0,5.

Минеральный порошок. Минеральный порошок, входящий в состав смесей и асфальтобетонов, должен отвечать требованиям ГОСТ Р 52129-2003. 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, золашлаковые смеси и т.д.)

Битум. Для приготовления смесей применяются битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245-90 и жидкие по ГОСТ 11955-82, а также полимерно-битумные вяжущие по ГОСТ Р 52056-2003 и модифицированные битумы по технической документации, согласованной в установленном порядке.

При выборе марки битума следует учитывать, что для районов с низкими отрицательными температурами воздуха (в I - II климатических зонах) целесообразно использовать битумы меньшей вязкости, отдавая предпочтение битумам марок БНД, характеризующимся более низкими температурами хрупкости и в меньшей степени подверженным трещинообразованию. Для районов с высокими летними температурами следует ориентироваться на битумы повышенной вязкости, обеспечивающими устойчивость искусственных покрытий к колееобразованию.

Модифицирующие добавки. Разжижающие добавки вводят для понижения вязкости битума. Пластифицирующие добавки вводят для уменьшения хрупкости, придания большей пластичности битумам. Адгезионные добавки используют для улучшения сцепления минеральных материалов с битумом, увеличения водостойкости и долговечности асфальтобетона. Полимерные добавки структурирующие и структурирующе-пластифицирующие применяют для получения полимерно-битумных вяжущих.

Более подробно требования к материалам для приготовления асфальтобетонных смесей приведены в ГОСТ 9128-2013.

Проектирование асфальтобетона

Проектирование асфальтобетона включает: анализ условий работы асфальтобетона в конструкции, выбор способа производства работ в зависимости от погодных-климатических условий района строительства, выбор исходных материалов с учетом их стоимости и дефицитности, расчет состава асфальтобетона.

Расчет состава асфальтобетонной смеси и асфальтобетона включает следующие этапы:

- испытание исходных материалов;
- расчет состава минеральной части асфальтобетонной смеси;
- определение оптимального количества битума в смеси;
- приготовление и испытание асфальтобетонных образцов;
- корректировка состава при необходимости;
- оформление подобранного состава в виде документа.

Пример подбора состава асфальтобетона

Задание. Подобрать состав горячего мелкозернистого асфальтобетона типа Б, марки I непрерывной гранулометрии, предназначенного для верхнего слоя покрытия автомобильной дороги II категории во II дорожно-климатической зоне.

Выбор типа и марки асфальтобетонной смеси исходя из категории дороги можно по табл. 6.2.

Таблица 6.2 - Выбор типа и марки асфальтобетонных смесей

Категория дороги	Тип и марка смеси
I, II	A-I, Б-I, II
III	Б-II, III; В, Г-I; Бх, Вх, Гх-I
IV	В, Г, Д-II, III; Вх, Гх, Дх-II

Характеристика исходных материалов

Щебень гранитный марки 1200 по прочности при раздавливании в цилиндре. Гранулометрический состав приведен в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Показатели	Размеры отверстий сит, мм					
	40	20	15	10	5	<5
Частные остатки, %	0	8,3	21,5	35,2	32,4	2,6
Полные остатки, %	0	8,3	29,8	65,0	97,4	100

Песок речной. Гранулометрический состав приведен в табл. 6.4.

Таблица 6.4.

Показатели	Размеры отверстий сит, мм							
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные остатки, %	9,8	14,0	16,0	20,9	20,6	13,6	3,4	1,7
Полные остатки, %	9,8	23,8	39,8	60,7	81,3	94,9	98,3	100

Минеральный порошок известняковый. Гранулометрический состав приведен в табл. 6.5.

Таблица 6.5.

Показатели	Размеры отверстий сит, мм					
	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные остатки, %	0,9	2,8	8,2	8,5	7,6	72,0
Полные остатки, %	0,9	3,7	11,9	20,4	28,0	100

Битум вязкий дорожный марки БНД 60/90.

Подбор минеральной части асфальтобетонной смеси по предельным кривым

Гранулометрический состав минеральной части асфальтобетонной смеси заносится в табл. 6.6. Зерновые составы исходных материалов записываем в графы 2, 3, 4 табл. 6.6.

Таблица 6.6 - Гранулометрический состав минеральной части

Размер частиц, мм	Гранулометрический состав исходных материалов, частные остатки, %			Гранулометрический состав материалов в проектируемой смеси, частные остатки, %			Сумма частных остатков на ситах в проектируемой смеси, %	Полные остатки на ситах в проектируемой смеси, %	Рекомендуемые пределы по ГОСТ 9128-2013, %	
	Щебень	Песок	Минеральный порошок	Щебень	Песок	Минеральный порошок			В полных остатках	В полных проходах
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	8,3	-	-	3,8	-	-	-	-	3,8	3,8
15	21,5	-	-	9,9	-	-	-	-	9,9	13,7
10	35,2	-	-	16,3	-	-	-	-	16,3	30,0
5	32,4	9,8	-	15,0	4,2	-	9,8	-	19,2	49,2
2,5	2,6	14,0	-	1,2	6,0	-	14,0	-	7,2	56,4
1,25	-	16,0	0,9	-	6,8	0,1	16,0	0,9	6,9	63,3
0,63	-	20,9	2,8	-	8,9	0,3	20,9	2,8	9,2	72,5
0,315	-	20,6	8,2	-	8,8	0,9	20,6	8,2	9,7	82,2
0,16	-	13,6	8,5	-	5,8	0,9	13,6	8,5	6,7	88,9
0,071	-	13,4	7,6	-	1,5	0,8	13,4	7,6	2,3	91,2
<0,071	-	1,7	7,2	-	0,7	8,1	1,7	7,2	8,8	100
Итого:	100	100	100	46,2	42,7	11,1	100	100	100	-

Таблица 6.7 - Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов для верхних слоев покрытий (% по массе) - ГОСТ 9128-2013

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Горячие:										
- высокоплотные	90-100	70-100	56-100	35-50	24-50	18-50	13-50	12-50	11-28	10-16
		(90100)	(90-100)							
- 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
	-	(90100)	(90-100)							
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	26-36	15-25	8-16
Д	-			80-100	60-93	54-85	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	23-22	17-24	12-17
Гх и Дх	-	-	-	80-100	62-82	40-68	25-55	18-43	14-30	12-20

Подбор состава асфальтобетона начинаем с определения количества щебня. Исходим из того, что в 100 % используемого щебня содержится 97,4 % частиц крупнее 5 мм (см. табл. 6.3), а в минеральной части асфальтобетона типа Б должно содержаться таких частиц от 40 до 50 % (табл. 6.7 и рис. 6.1).

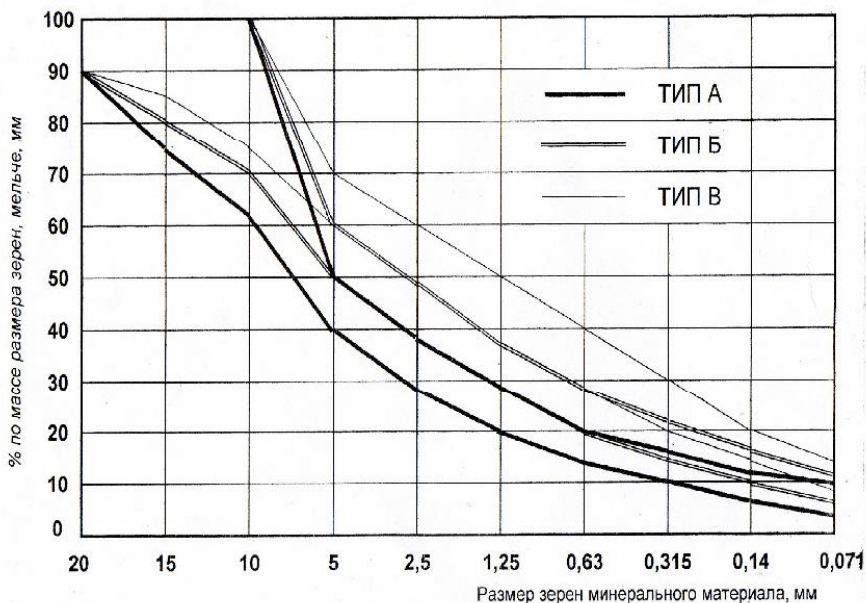


Рис. 6.1. Зерновые (гранулометрические) составы горячих асфальтобетонных смесей

Приняв за необходимое количество 45 % частиц крупнее 5 мм, составляем пропорцию:

$$\begin{aligned} 100 \% - 97,4 \% \\ \text{Щ} - 45 \% \end{aligned}$$

$$\text{Щ} = \frac{45}{97,4} \cdot 100 = 46,2\%$$

Затем определяем содержание каждой фракции щебня в смеси минеральных материалов:

сито с отверстием 20 мм:	$8,3 \cdot 46,2/100 = 3,8 \%$
сито с отверстием 15 мм	$21,5 \cdot 46,2/100 = 9,9 \%$
сито с отверстием 10 мм:	$35,2 \cdot 46,2/100 = 16,3 \%$
сито с отверстием 5 мм:	$32,4 \cdot 46,2/100 = 15,0 \%$
сито с отверстием 2,5 мм:	$2,6 \cdot 46,2/100 = 1,2 \%$
Итого:	46,2 %

Определяем количество минерального порошка в смеси минеральных материалов. Фракцией, определяющей минеральный порошок, является фракция мельче 0,071 мм. В 100 % минерального порошка таких частиц содержится 72 % (см. табл. 6.5). Для минеральной части асфальтобетона типа Б в соответствии с табл. 6.7 содержание таких частиц должно быть от 6 до 12 %. Приняв его равным 8 %, находим:

$$\frac{100\% - 72,0\%}{\text{МП} - 8\%} \quad \text{МП} = \frac{8\%}{72\%} \cdot 100\% = 11,1\%$$

Определяем содержание каждой фракции минерального порошка в смеси каменных материалов:

сито с отверстием 1,25 мм:	$0,9 \cdot 11,1/100 = 0,1 \%$
сито с отверстием 0,63 мм	$2,8 \cdot 11,1/100 = 0,3 \%$
сито с отверстием 0,315 мм:	$8,2 \cdot 11,1/100 = 0,9 \%$
сито с отверстием 0,14 мм:	$8,5 \cdot 11,1/100 = 0,9 \%$
сито с отверстием 0,071 мм:	$7,6 \cdot 11,1/100 = 0,8 \%$
мельче 0,071 мм:	$72,0 \cdot 11,1/100 = 8,1\%$
Итого:	11,1 %

Количество песка в смеси определим путем вычитания из 100% значений, соответствующих содержанию щебня и минерального порошка: $100\% - 46,2\% - 11,1\% = 42,7\%$.

Далее находим содержание каждой фракции песка в смеси каменных материалов:

сито с отверстием 5 мм:	$9,8 \cdot 42,7/100 = 4,2 \%$
сито с отверстием 2,5 мм:	$14,0 \cdot 42,7/100 = 6,0 \%$

сито с отверстием 1,25 мм:	16,0 · 42,7/100 = 6,8 %
сито с отверстием 0,63 мм	20,9 · 42,7/100 = 8,9 %
сито с отверстием 0,315 мм:	20,6 · 42,7/100 = 8,8 %
сито с отверстием 0,14 мм:	13,6 · 42,7/100 = 5,8 %
сито с отверстием 0,071 мм:	3,4 · 42,7/100 = 1,5 %
мельче 0,071 мм:	1,7 · 42,7/100 = 0,7 %
Итого:	42,7%

Полученные значения частных остатков минеральных материалов в проектируемой смеси записываем в графы 5, 6 и 7 табл. 6.6. Суммируем частные остатки щебня, песка и минерального порошка на каждом сите и заносим их в графу 8 табл. 6.6, после чего рассчитываем величины полных остатков на ситах. Внесем в графу 11 табл. 6.6 рекомендуемые ГОСТом пределы содержания частиц минеральных материалов мельче данного размера (из табл. 6.7). Подсчитаем и внесем в графу 10 соответствующие полные остатки. Сравнение полученных значений полных остатков в проектируемой смеси с рекомендуемыми пределами показывает, что подобранная смесь соответствует требованиям ГОСТ 9128-2013. Если полученный зерновой состав вышел за рекомендуемые пределы, то расчет следует повторить, изменив соотношение компонентов.

Расчет содержания битума в асфальтобетонной смеси по битумоёмкости минеральных материалов

Содержание битума в асфальтобетонной смеси определяем по битумоёмкости минеральных материалов по формуле:

$$B = k \cdot \sum_{0,071}^{40} B_i \cdot P_i$$

где B - содержание битума в смеси;

B_i - удельная битумоёмкость фракций, %, значения битумоёмкости различных минеральных материалов для различных фракций приведены для битума БНД-90/130;

P_i - содержание фракции в смеси в частях от целого;

k - коэффициент, зависящий от вязкости (марки) битума, принимаемый в соответствии с табл. 6.8.

В табл. 6.9 дана удельная битумоёмкость битума БНД 90/130 различных материалов для различных фракций.

Таблица 6.8 - Коэффициент, зависящий от марки битума

Марка битума	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 130/200	БНД 200/300
Коэффициент k	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90

В табл. 4.7 (столбцы 2, 3 и 4) заносят результаты расчета минеральной части смеси (из табл. 6.6), в графы 5, 6 и 7 – битумоёмкость минеральных материалов (из табл. 6.9). Далее определяют расход битума по фракциям.

Таблица 6.9 - Удельная битумоёмкость B_i битума БНД-90/130 ($k = 1,0$)

Фракция, мм	Вид минерального материала				
	Порошок, высевки, щебень из мелкозернистого гранита	Порошок, высевки, щебень из плотного известняка	Природный кварцевый песок	Порошок, высевки, щебень из песчаника	Доломитовая пыль, обожженная
20...40	4,2	2,5	-	-	-
15...20	4,5	2,9	-	4,0	-
10...5	4,7	3,0	-	4,5	-
5...0	5,2	3,2	2,9	4,8	-
2,5...5	5,6	4,6	3,3	5,0	-
1,25...2,5	5,7	5,3	3,8	5,2	13,5
0,63...1,25	5,9	6,0	4,6	5,4	14,25
0,315...0,63	6,4	7,0	4,8	5,8	15,2
0,16...0,315	7,4	7,3	6,1	8,5	15,6
0,071...0,16	8,4	9,4	7	9,3	16
< 0,071	18	16	14	14	22,5

Таблица 6.10 - Расхода битума по битумоемкости отдельных фракций

Фракция, мм	Расход материалов, частные остатки от целого			Удельная битумоемкость, %			Расход битума по фракциям смеси, %
	Щебень	Песок	Минеральный порошок	Щебень	Песок	Минеральный порошок	
1	2	3	4	5	6	7	8
20-40	0,038			4,2			0,2736
15-20	0,099			4,5			0,4455
10-15	0,163			4,7			0,7661
5-10	0,150	0,042		5,2	2,9		0,78+0,1218
2,5- 5	0,012	0,060		5,6	3,3		0,0672+0,228
1,25-2,5		0,068	0,001		3,8	5,3	0,2584+0,005
0,63-1,25		0,089	0,003		4,6	6,0	0,4094+0,018
0,315-0,63		0,088	0,009		4,8	7,0	0,4224+0,063
0,16-0,315		0,058	0,009		6,1	7,3	0,3538+0,065
0,071-0,16		0,015	0,008		7,0	9,4	0,105+0,0752
< 0,071		0,007	0,081		14	16	0,098+1,296
Итого:							5,6472

С учетом коэффициента вязкости $k = 1,05$ для битума БНД 60/90 расчетное количество битума в подобранной расчетным путем асфальтобетонной смеси составит **5,93 %**.

Обычно для уточнения расчетного количества битума приготавливают три смеси с различным содержанием битума, отличающимся на 0,5% (или 1%) в большую и меньшую сторону от расчетного (в нашем случае 5,5; 6,0 и 6,5% или 5, 6 и 7%). Из асфальтобетонных смесей формуют образцы, определяют физико-механические свойства асфальтобетона и один из составов, наиболее соответствующий требованиям ГОСТ 9128-2013, принимают за оптимальный.

Практическое занятие №7

Свойства асфальтобетонных образцов

Приготовление образцов

Образцы цилиндрической формы для определения физико-механических свойств смесей изготавливают путем уплотнения смесей, приготовленных в лабораторных условиях, а также из проб смесей, отобранных на смесительных установках или на участке производства работ.

Повторная переформовка образцов не допускается.

Вырубки или керны нагревают на песчаной бане или в термостате до температуры, указанной в табл. 7.1, и затем измельчают ложкой или шпателем.

При приготовлении смесей в лаборатории по горячей технологии минеральные материалы (щебень, песок и минеральный порошок) предварительно высушивают, а битум обезвоживают.

Минеральные материалы в количествах, заданных по составу, отвешивают в ёмкость, нагревают, периодически помешивая, до температур, указанных в табл. 7.1, добавляют требуемое количество ненагретого минерального порошка и нагретого в отдельной ёмкости битума и тщательно перемешивают.

Перемешивание считается законченным, если все минеральные зерна равномерно покрыты вяжущим и в готовой смеси нет его отдельных сгустков.

Таблица 7.1 - Температура нагрева, °С, в зависимости от показателей вяжущего

Наименование материалов	Глубина проникания иглы при 25 ⁰ С, 0,1 мм				
	40...60	61...90	91...130	131...200	201...300
Минеральные материалы	170...180	165...175	160...170	150...160	140...150
Вяжущее	150...160	140...150	130...140	110...120	100...110
Смесь	150...160	145...155	140...150	130...140	120...130

Физико-механические свойства смесей определяют на образцах, полученных уплотнением смесей в стальных формах,

размеры которых в зависимости от крупности минеральных зерен приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2 - Параметры асфальтобетонных образцов

крупность минеральных зерен, мм	Диаметр формы и образца, мм	Высота образца, мм	Площадь образца, см ²	Ориентировочное количество смеси на образец, г
5	50,5	50,5±1,0	20	220...240
10, 15, 20	71,4	71,4±1,5	40	640...670
40	101	101±2,0	80	1900...2000

Уплотнение образцов из смесей, содержащих до 50% щебня, производят прессованием под давлением $40 \pm 0,5$ на гидравлических прессах в формах. При уплотнении должно быть обеспечено двустороннее приложение нагрузки, что достигается передачей давления на уплотняемую смесь через два вкладыша, свободно передвигающихся в форме навстречу друг другу.

При изготовлении образцов из горячих смесей формы и вкладыши нагревают до температуры 90... 100 °С.

Изготавливают пробный образец. Форму (рис. 7.1) со вставленным нижним вкладышем наполняют ориентировочным количеством смеси в соответствии с табл. 7.2. Смесь равномерно распределяют в форме штыкованием ножом или шпателем, вставляют верхний вкладыш, прижимая им смесь, устанавливают форму со смесью на нижнюю плиту пресса для уплотнения; при этом нижний вкладыш должен выступать из формы на 1,5...2,0 см. Верхнюю плиту пресса доводят до соприкосновения с верхним вкладышем, и давление на уплотняемую смесь доводят до 40 МПа в течение 5...10 с.

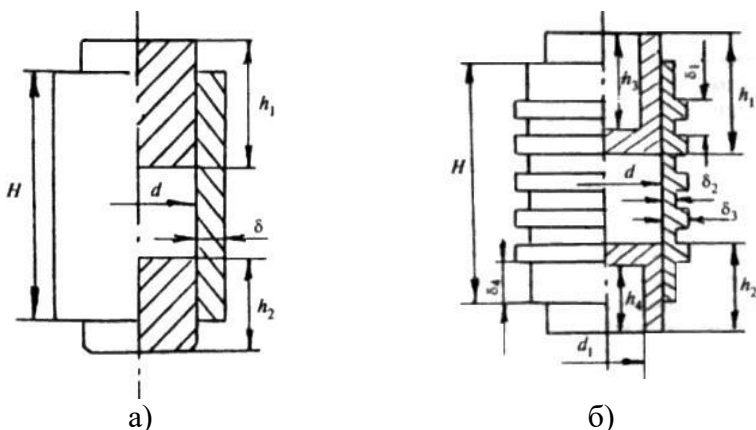


Рис. 7.1 – Формы для изготовления цилиндрических образцов:
а) – обычная; б) - облегченная

Примечание. Значения не приведенных в табл. 7.2 размеров форм см. ГОСТ 12801-98.

Через $3 \pm 0,1$ мин нагрузку снимают, извлекают образец из формы и измеряют его высоту с точностью до $0,1$ мм.

Если высота образца не соответствует приведенной в табл.7.2, то требуемую массу смеси для формования образца m , рассчитывают по формуле:

$$m = m_0 \frac{h}{h_0},$$

где m_0 – масса пробного образца, г;

h – требуемая высота образца, мм;

h_0 – высота пробного образца, мм.

Образцы из смесей с вязкими и жидкими битумами хранят на воздухе в комнатных условиях. Испытания проводят через $0,5 \dots 2$ суток.

Определение средней плотности

Образцы взвешивают на воздухе. Затем образцы погружают на 30 мин в сосуд с водой (температура 20 ± 2 °С) таким образом, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности образ-

цов не менее чем на 20 мм, после чего образцы взвешивают в воде. После взвешивания в воде образцы обтирают мягкой тканью и вторично взвешивают на воздухе.

Среднюю плотность ρ_m , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{m\rho^в}{m_2 - m_1},$$

где m - масса образца, взвешенного на воздухе, г;

$\rho^в$ - плотность воды, равная 1 г/см³;

m_1 - масса образца, взвешенного в воде, г;

m_2 - масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и вторично взвешенного на воздухе, г.

Определение средней плотности минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении плотности минеральной части (остова) уплотненной смеси с учетом имеющихся пор. Среднюю плотность минеральной части определяют расчетом на основании предварительно установленной средней плотности образцов и соотношения минеральных материалов и вяжущего. Среднюю плотность минеральной части смеси $\rho_m^м$, г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_m^м = \frac{\rho_m}{1 + 0,01 \cdot q_б},$$

где ρ_m - средняя плотность образцов, г/см³;

$q_б$ - массовая доля вяжущего в смеси, % (сверх 100% минеральной части).

Определение истинной плотности минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении расчетным путем плотности минеральной части (остова) смеси без учета

имеющихся в ней пор. Истинную плотность минеральной части (остова) определяют на основании предварительно установленных истинных плотностей отдельных минеральных материалов (щебня, песка, минерального порошка и др.). Истинную плотность минеральной части ρ^m , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho^m = \frac{100}{\frac{q_1}{\rho^1} + \frac{q_2}{\rho^2} + \dots + \frac{q_n}{\rho^n}},$$

где q_1, q_2, \dots, q_n - массовая доля отдельных минеральных материалов, %;

$\rho^1, \rho^2, \dots, \rho^n$ - истинная плотность отдельных минеральных материалов, г/см³.

Определение истинной плотности смеси

Истинную плотность при подборе составов смеси определяют расчетным или пикнометрическим методом. Истинную плотность смесей из покрытия или смесей, отобранных из смесителя, определяют только пикнометрическим методом (ГОСТ 12801-98).

На основании предварительно установленных истинных плотностей минеральной части смеси (предыдущий пункт), вяжущего и их массовых соотношений вычисляют истинную плотность ρ , г/см³, по формуле:

$$\rho = \frac{q_m + q_b}{\frac{q_m}{\rho^m} + \frac{q_b}{\rho^b}},$$

где q_m - массовая доля минеральных материалов в смеси, % (принимают за 100%);

q_b - массовая доля вяжущего в смеси, % (сверх 100% минеральной части);

ρ^m - истинная плотность минеральной части смеси, г/см³;

ρ^b - истинная плотность вяжущего, г/см³.

Определение пористости минеральной части (остова)

Пористость минеральной части определяют расчетом на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотностей минеральной части смеси. Пористость минеральной части $V_{пор}^M$, %, вычисляют с точностью до первого десятичного знака по формуле:

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

где ρ_m^M - средняя плотность минеральной части уплотненной смеси или асфальтобетона, г/см³;

ρ^M - истинная плотность минеральной части смеси г/см³.

Определение остаточной пористости

Остаточную пористость $V_{пор}^o$, %, определяют расчетом на основании предварительно установленных средней и истинной плотностей с точностью до первого десятичного знака по формуле:

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

где ρ_m - средняя плотность уплотненной смеси, г/см³;

ρ - истинная плотность смеси, г/см³.

Определение водонасыщения

Сущность метода заключается в определении количества воды, поглощенной образцом при заданном режиме насыщения. Водонасыщение определяют на образцах цилиндрической формы или на образцах-вырубках (кернах), использованных для определения средней плотности. Образцы, взвешенные на воздухе и в воде, помещают в сосуд с водой с температурой 20±2 °С. Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см.

Сосуд с водой устанавливают в вакуумную установку (рис.

7.2), где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (15 мм рт. ст.) в течение 1 ч.

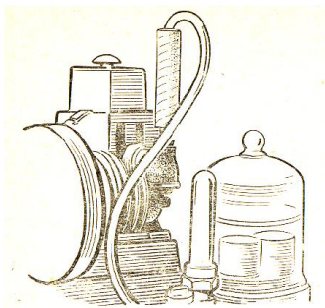


Рис. 7.2. Вакуумная установка

Затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой с температурой $20 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. После этого образцы извлекают из сосуда, взвешивают в воде, обтирают мягкой тканью и взвешивают на воздухе. Водонасыщение W , %, вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_3 - m}{m_2 - m_1} \cdot 100 ,$$

где m - масса образца, взвешенного на воздухе, г;

m_1 - масса образца, взвешенного в воде, г;

m_2 - масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г;

m_3 - масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г.

Определение набухания

Набухание определяют как приращение объема образца после насыщения его водой. Для определения набухания используют данные, полученные при определении средней плотности и водонасыщения. Набухание образца H , % по объему, вычисляют по формуле:

$$H = \frac{(m_3 - m_4) - (m_2 - m_1)}{m_2 - m_1} \cdot 100$$

где m_1 - масса образца, взвешенного в воде, г;
 m_2 - масса образца, выдержанного в течение 30 мин
в воде и взвешенного на воздухе, г;
 m_3 - масса насыщенного водой образца, взвешенного
на воздухе, г;
 m_4 - масса насыщенного водой образца, взвешенного
в воде, г.

Определение предела прочности при сжатии

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

Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии определяют на образцах, которые испытывались на водонасыщение и набухание. Насыщенные водой образцы после взвешивания на воздухе и в воде снова помещают в воду с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, а перед испытанием вытирают мягкой тканью.

Предел прочности при сжатии образцов определяют на прессах механических или гидравлических от 50 до 100 кН (5...10 тс) и до 500 кН (50 тс) при скорости движения плиты пресса $(3,0 \pm 0,3)$ мм/мин. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P - разрушающая нагрузка, кгс, (Н);

F - первоначальная площадь поперечного сечения, см², (м²).

За результат определения принимают округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение испытания трех образцов.

Определение коэффициента водостойкости

Сущность метода заключается в оценке степени сохранения прочности при сжатии образцов после их водонасыщения. Коэффициент водостойкости вычисляют по формуле:

$$K_{\text{в}} = \frac{R_{\text{сж}}^{\text{в}}}{R_{\text{сж}}^{20}}$$

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

Определение водостойкости при длительном водонасыщении

Асфальтобетонные образцы взвешивают на воздухе и в воде и насыщают в вакуум-приборе (см. пункт «Определение водонасыщения»). После насыщения образцы переносят в другой сосуд с водой и выдерживают там 15 сут при температуре $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$. По истечении 15 сут образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и определяют предел прочности при сжатии. Водостойкость $K_{\text{вд}}$ после длительного водонасыщения определяют по формуле:

$$K_{\text{вд}} = \frac{R_{\text{сж}}^{\text{вд}}}{R_{\text{сж}}^{20}},$$

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

Практическое занятие №8

Свойства цемента

Портландцемент - гидравлическое вяжущее вещество, способное после затворения водой (смешивания с водой) образовывать тесто, схватываться, твердеть и набирать прочность как на воздухе, так и в воде, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с необходимым количеством двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и специальных и технологических добавок.

Портландцементный клинкер - продукт, получаемый путем обжига до спекания (т.е. частичного плавления) при температуре 1450°C сырьевой смеси, состоящей из кальциево-карбонатных (известняк, мел, мрамор) и алюмосиликатных (глина) горных пород или из природных смесей известняка и глины (их называют мергели) при соотношении 3:1 по массе. Внешне клинкер представляет собой спекшуюся сырьевую массу в виде зерен размером 10...60 мм.

Измельченный клинкер после затворения водой схватывается в течение нескольких минут, что затрудняет изготовление изделий. Для замедления схватывания (до 3...5 ч) в состав ПЦ вводят гипсовый камень $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или другие материалы, содержащие сульфат кальция (фосфогипс, борогипс, фторогипс и др.).

Химический состав портландцементного клинкера (%): CaO - 60...67; SiO_2 - 19...24; Al_2O_3 - 4...8; Fe_2O_3 - 2...6; MgO - не более 5; SO_3 - 1...4; свободный CaO - не более 1. Данные оксиды находятся в ПЦ в виде сложных соединений - клинкерных минералов.

Приняты сокращенные написания химических формул оксидов элементов: CaO - С; SiO_2 - S; Al_2O_3 - А; Fe_2O_3 - F.

Минералогический состав портландцементного клинкера, т.е. содержание основных клинкерных минералов, определяется расчетным путем на основе данных химического анализа:

- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_3S (алит) - 40...65 %;
- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_2S (белит) - 15...40 %;
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ или C_3A (трехкальциевый алюмокат) - 5... 15 %;
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ или C_4AF (алюмоферрит) - 10...20 %.

В результате взаимодействия минералов, содержащихся в цементе, с водой образуются новые соединения - *гидраты* (гидросиликаты, гидроалюминаты, гидросульфферриты кальция), которые придают в дальнейшем прочность цементному камню за счет кристаллизации новообразований.

В соответствии с ГОСТ 10178-85 ПЦ по механической прочности подразделяются на марки: М 400, М 500, М 550 и М 600 (допускается выпускать ПЦ марки М 300), каждой из которых соответствует предел прочности при изгибе и при сжатии образцов в возрасте 28 сут. По ГОСТ 30515-97, ГОСТ 31108-2003 цементы по прочности на сжатие в возрасте 28 сут. и среднему значению нормируемой стандартной прочности (МПа) подразделяются на классы: 22,5, 32,5, 42,5, 52,5. Эти классы примерно соответствуют маркам М 300, М 400, М 500 и М 600. Они определяются параллельно или вместо марки цемента.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут. (скорости твердения) каждый класс цемента, кроме класса 22,5, подразделяется на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий) (22,5Н; 32,5Н, 32,5Б; 42,5Н, 42,5Б; 52,5Н, 52,5Б). Цемент подкласса Н (N) имеет обычную прочность в раннем возрасте (2 сут.); подкласса Б (R) — высокую прочность.

Пример условного обозначения цемента: портландцемент класса прочности 42,5 быстротвердеющий: портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108-2003.

Свойства цемента, изготавливаемого на основе портландцементного клинкера, регулируют различными способами, в том числе введением активных минеральных добавок (АМД). Такие добавки применяют для повышения плотности, водо-, жаро- и коррозионной стойкости цементного камня, а следовательно, бетонов и растворов на основе портландцементов. АМД являются основными компонентами цемента.

В зависимости от вводимых добавок различают:

- *портландцемент с минеральными добавками* (золы уноса теплоэлектростанции, шлак, известняк, микрокремнезем);

- *шлакопортландцемент* (гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки в количестве 36...65 % и гипс не

более 5 %);

- *пуццолановый портландцемент* (активная минеральная пуццолановая добавка 21...35 % (диатомиты, трепелы, опоки, вулканические пеплы, туфы) и небольшое количество гипса). Обладает высокой коррозионной стойкостью.

Цемент является одним из тех немногочисленных материалов, основные показатели качества которого (прочность на сжатие, растяжение при изгибе, равномерность изменения объема, сроки схватывания и др.) не могут быть оценены путем испытаний самого материала (кроме химических показателей, содержания активных минеральных добавок, удельной эффективности естественных радионуклидов и некоторых других). Основные показатели качества оцениваются лишь после изготовления из цемента определенных стандартных образцов и их последующего испытания.

Для проведения испытаний цемента (приготовления смесей и выдерживания образцов) нельзя применять алюминиевые и цинковые формы, чаши, ванны, так как цементное тесто имеет сильнощелочную реакцию (рН 11...13) и разрушает цинк и алюминий (переводит в алюминаты и цинкаты калия).

Методы оценки качества (т.е. определения физико-механических и строительно-технических характеристик) портландцемента регламентированы ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.2-76, ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81, ГОСТ 30744-2001.

Определение нормальной густоты цементного теста

Цементным тестом называется однородная пластичная подвижная смесь цемента с водой.

Пластичность цементного теста характеризуется его нормальной густотой.

Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию (водоцементное отношение В/Ц в процентах), при которой пестик прибора Вика по ГОСТ 10178-85 с полированной поверхностью, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на 6 ± 2 мм до пластинки, на которой установлено кольцо конической формы. За нормальную густоту цементного теста принимают *количество воды затворе-*

ния, выраженное в процентах от массы цемента, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста (определяют с точностью до 0,25 %).

Для цементов на разных заводах-производителях нормальная густота может колебаться от 20 до 35 %. Знание нормальной густоты цементного теста необходимо для дальнейших испытаний цемента (определения сроков схватывания, равномерности изменения объема (расширения) цемента). Чем меньше значение нормальной густоты цементного теста, тем более плотный бетон можно изготовить (большая подвижность бетонных и растворных смесей при меньшем содержании воды).

Термин «нормальная густота» относится исключительно к цементному тесту и является характеристикой водопотребности цемента, хотя понятие «водопотребность цемента» обычно связывают с консистенцией стандартной растворной смеси.

От величины нормальной густоты зависит расход воды при изготовлении бетонных и растворных смесей заданной пластичности и, следовательно, плотность, прочность, морозостойкость готовых материалов и изделий.

Нормальная густота зависит от вещественного состава цемента, количества и вида гидравлических или инертных добавок, тонкости помола цемента и фазового состава клинкера.

Определение нормальной густоты цементного теста проводят согласно ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика (рис. 8.1, 8.2).

Перед испытанием следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора Вика. Также необходимо проверить нулевое показание прибора, приводя пестик в соприкосновение с пластинкой из невпитывающего воду материала, на которой расположено коническое кольцо из такого же материала. В случае отклонения от нуля шкала прибора передвигается. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

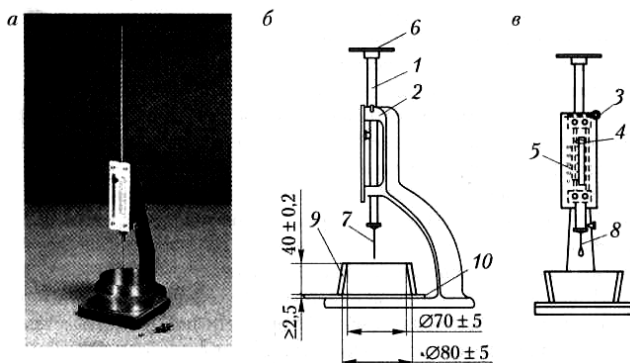


Рис. 8.1. Прибор Вика (по ГОСТ 30744-2001):

а - общий вид; *б* - вид сбоку (с кольцом Вика в вертикальном положении при определении нормальной густоты и начала схватывания); *в* - вид спереди (с перевернутым кольцом Вика при определении времени окончания схватывания); 1 - цилиндрический металлический стержень; 2 - обойма станины; 3 - стопорное устройство; 4 - указатель; 5 - шкала; 6 - пластина для дополнительного груза; 7 - пестик; 8 - игла; 9 - кольцо; 10 - пластинка стеклянная

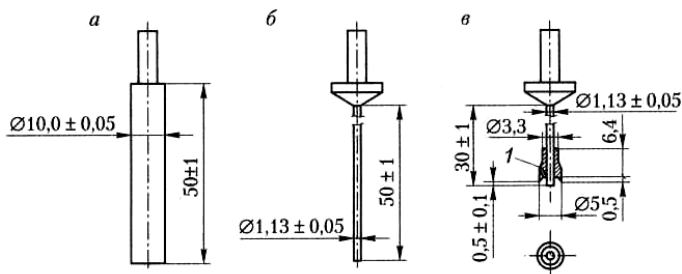


Рис. 8.2. Приспособление к прибору Вика:

а - погружной пестик для определения нормальной густоты; *б* - игла для определения начала схватывания; *в* - игла с насадкой для определения конца схватывания: 1 - воздушный зазор. (Необходимо соблюдать указанные размеры. Если погружной пестик и игла с насадкой и без нее имеют постоянно одинаковую массу, например $(9 \pm 0,5)$ г, то для каждого прибора Вика требуется только одна дополнительная гиря.

Для приготовления цементного теста по ГОСТ 30744-2001 предусмотрено применение автоматического смесителя планетарного типа, имеющего по две скорости вращения лопасти вокруг оси и по периметру чаши (рис. 8.3).

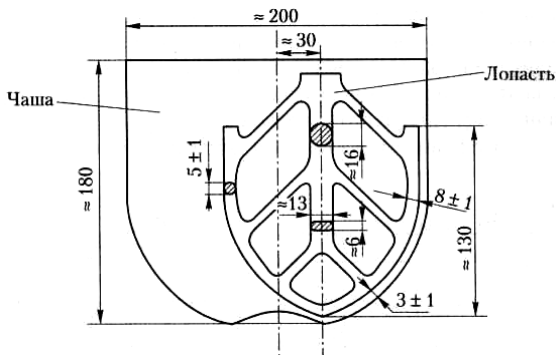


Рис. 8.3. Смеситель

(Расстояние 3 ± 1 мм относится к положению, при котором лопасть в пустом смесителе приближается к стенке чаши наиболее близко. В положениях, где затруднены прямые замеры, для определения расстояния целесообразно использовать щупы)

При условии получения идентичных результатов по нормальной густоте и срокам схватывания допускается ручное приготовление цементного теста и механизированное (с использованием мешалки МТЗ; рис. 8.4).

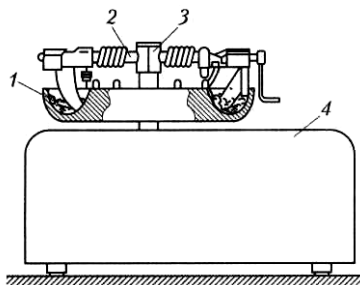


Рис. 8.4. Механическая мешалка для приготовления цементного теста: 1 - чаша с цементным тестом; 2 - вал с лопастями; 3 - вертикальный вал; 4 - корпус с электродвигателем

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г просеянного цемента, высыпают его в металлическую чашу сферической формы (рис. 8.5, а), предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление и вливают в него в один прием отмеренное количество воды (ориентировочно 110...112 см³). В момент вливания воды включают секундомер. Через 30 с после заливки воды осторожно перемешивают цемент с водой, а затем энергично растирают тесто лопаткой (рис. 8.5, б). Продолжительность перемешивания и растирания цемента - 5 мин.

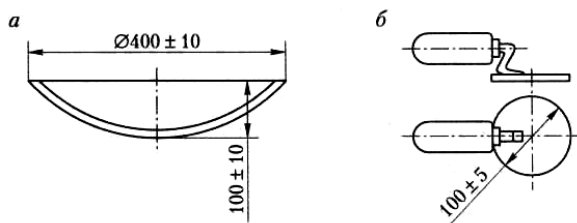


Рис. 8.5. Чаша для затворения цементного теста (а) и лопатка для перемешивания и растирания теста (б)

Перемешанным цементным тестом сразу же и без чрезмерного уплотнения или вибрации заполняют с избытком кольцо в один прием и 5-6 раз встряхивают его. Затем срезают ножом избыток цементного теста вровень с краями кольца, протертыми влажной тканью. Сразу же после этого опускают пестик прибора Вика до соприкосновения с поверхностью цементного теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным (стопорным) устройством. Через 1...2 с быстро отвинчивают его, освобождают стержень, предоставляя пестику возможность свободно погружаться в цементное тесто. Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения пестика в миллиметрах.

При несоответствующей консистенции цементного теста опыт повторяют, изменяя количество воды и добиваясь погружения пестика на глубину 6 ± 2 мм.

Результаты испытаний заносят в табл. 8.1.

Таблица 8.1 - Результаты испытаний цемента на определение нормальной густоты прибором _____ по ГОСТ _____

Показатель	№ опыта		
	1	2	3
Масса цемента, г			
Количество воды затворения, % от массы цемента			
Объем воды, мл			
Показание прибора, мм			

Определение сроков (времени) схватывания цементного теста

Схватывание цемента - это процесс загустевания (потери пластичности) цементного теста нормальной густоты вследствие взаимодействия цемента с водой (гидратации). Схватывание определяется на цементном тесте нормальной густоты по глубине погружения иглы (вместо пестика) прибора Вика с нагрузкой 300 ± 2 г.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения (приливания воды) до того момента, когда игла не доходит до пластинки, на которой установлено кольцо с тестом, на 1...2 мм, по ГОСТ 30744-2001 - на 4 ± 1 мм. *Конец схватывания* - время от начал затворения до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 1...2 мм (по ГОСТ 30744 - на 0,5 мм).

Сроки схватывания портландцемента нормируются по ГОСТ 10178-85: начало - не ранее 45 мин, конец - не позднее 10 ч от начала затворения водой.

Эффективным способом снижения величины нормальной густоты цемента является применение добавок-водопонизителей - пластификаторов, суперпластификаторов, гиперпластификаторов. Для учебных целей такой добавкой может быть CaCl_2 .

Испытания проводят согласно ГОСТ 310.3-76 (п. 2). Определение сроков схватывания начинают с того, что в прибор Вика вместо пестика вставляют и закрепляют иглу диаметром 1,1 мм и длиной 50 мм и проверяют нулевое показание прибора. Затем приготавливают цементное тесто нормальной густоты согласно

методике, приведенной в задании 1, и укладывают его в кольцо. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста. В этом положении стержень закрепляют зажимным винтом, затем освобождают его, после чего игла свободно погружается в тесто. В начале испытания, во избежание сильного удара иглы о пластинку, допускается слегка ее задерживать при погружении в тесто.

Когда тесто загустеет настолько, что опасность быстрого погружения иглы будет исключена, ей позволяют свободно опускаться. Момент начала схватывания должен быть определен при свободном опускании иглы.

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, меняя места погружений. После каждого погружения иглу следует вытереть тканью. В промежутках между погружениями иглы кольцо с тестом помещают в камеру (шкаф) влажного хранения или накрывают влажной тканью. Допускается выдерживать его под водой.

Определение схватывания цемента требует много времени, поэтому, как правило, до конца данное испытание учащимися не выполняется.

Аналогично определяют сроки схватывания цемента при введении 2...5 % CaCl_2 вместе с водой затворения. Добавка CaCl_2 способна ускорить сроки схватывания цемента, являясь одновременно пластификатором.

Результаты испытаний заносятся в табл. 8.2, 7.3.

Таблица 8.2 - Определение сроков схватывания цементного теста нормальной густоты (температура помещения ____°С, ____ К; относительная влажность воздуха помещения ____ %)

Показатель	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	ч	мин	ч	мин
Затворение цемента водой				
Начало схватывания				
Конец схватывания				
Соответствие требованиям ГОСТ				

Таблица 8.3 - Определение сроков схватывания цементного теста при введении CaCl₂

Показатель	Значение			
Добавка CaCl ₂ к массе цемента, % Количество воды, соответствующее нормальной густоте цементного теста, мл Показания прибора, мм Действие добавки CaCl ₂				
Показатель	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	ч	мин	ч	мин
Затворение цемента раствором CaCl ₂ Начало схватывания Конец схватывания				

Определение равномерности изменения объема цемента

Равномерность изменения объема цемента (расширение по ГОСТ 30744-2001) - свойство цементного теста нормальной густоты образовывать в процессе твердения цементный камень, деформация которого не превышает допустимых пределов, установленных нормативными документами, и не вызывает разрушения образцов.

По ГОСТ 30744-2001 равномерность изменения объема характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце Ле Шателье (рис. 8.6) при кипячении. Значение верхнего предела расширения - 10 мм.

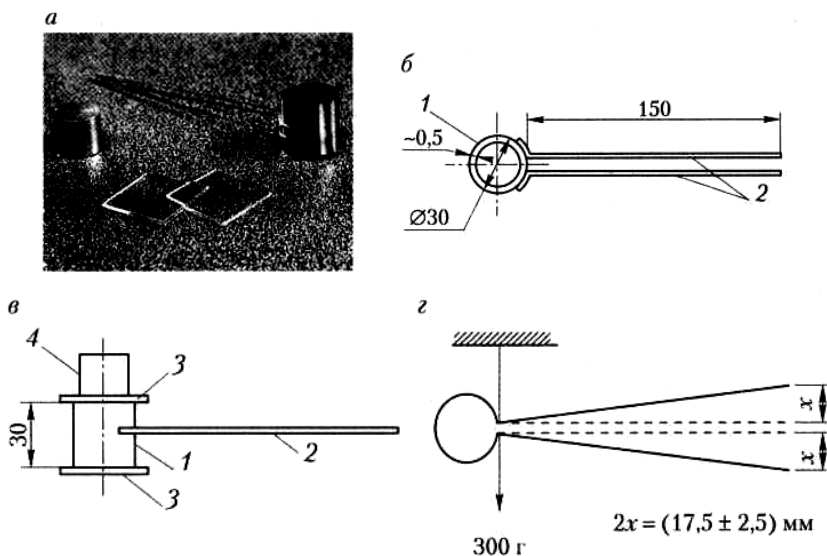


Рис. 8.6. Кольцо Ле Шателье:

а - общий вид; *б* - вид сверху; *в* - вид сбоку; *г* - схема проверки упругости кольца Ле Шателье; 1 - разрезное кольцо; 2 - индикаторные иглы; 3 - пластинки; 4 - пригруз

Причины, вызывающие неравномерность изменения объема цемента, формируются в ходе технологического процесса производства клинкера и цемента. Таких причин в настоящее время известно три.

Первая причина - присутствие в клинкере несвязанного (свободного) оксида кальция CaO . Поскольку такая фаза проходит при высокотемпературном обжиге клинкера (1450°C), CaO становится малореакционноспособным и при затворении цемента гидратирует медленно, вызывая позднее расширение и разрушение цементного камня. Внутренними нормативными документами цементных заводов содержание свободного CaO в клинкере обычно ограничивается 1 %.

Вторая причина неравномерности изменения объема цемента связана с медленной гидратацией и увеличением в объеме продуктов гидратации оксида магния MgO , существующего в цементном клинкере в форме химически малоактивного соеди-

нения - периклаза. Содержание MgO в клинкере ограничивают, как правило, 5%.

Третья причина неравномерности изменения объема цементного камня - передозировка гипса в цементе (по ГОСТ 10178-85 - 1,0...3,5(4,0) % в пересчете на S_0_3). Превышение верхнего предела содержания гипса в цементе может вызвать расширение цементного камня, связанное с поздним образованием этtringита ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$).

Равномерность изменения объема цемента определяется в лабораторных условиях. Если цемент выдерживает испытание, то содержание в нем свободных CaO и MgO не превышает допускаемых ГОСТом значений. В этом случае деформация цементного камня не ухудшает такие эксплуатационные свойства изделий на основе цементов, как прочность, водонепроницаемость, морозостойкость.

Согласно ГОСТ 310.3-76 (п. 3) для испытания на равномерность изменения объема твердеющей системы из цемента и воды приготавливают тесто нормальной густоты. Затем на технических весах отвешивают 4 навески теста по 75 г. Каждую навеску скатывают руками в шарик и помещают на стеклянную или металлическую пластинку, предварительно смазанную машинным маслом.

Пластинки слегка встряхивают до момента превращения шариков в лепешки диаметром 7...8 см, толщиной в середине около 1 см. Для получения острых краев и гладкой закругленной поверхности лепешки заглаживают от наружных краев к центру смоченным водой ножом. Приготовленные таким образом лепешки хранят на пластинках в течение 24 ± 2 ч с момента приготовления в ванне нормального твердения с гидравлических затвором (рис. 8.7), а затем подвергают испытанию кипячением.

Для испытания кипячением две цементные лепешки через 24 ± 2 ч после затворения снимают с пластинок, помещают в бачок с водой на решетку (рис. 8.8). Затем воду в бачке за 30...45 мин доводят до кипения. Кипение воды поддерживают в течение 3 ч. После охлаждения лепешек в бачке с водой осуществляют их внешний осмотр.

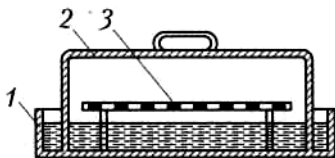


Рис. 8.7. Ванна с гидравлическим затвором: 1 - ванна; 2 - герметичная крышка; 3 - столик

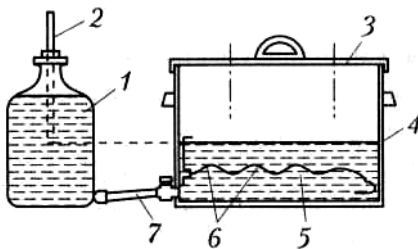


Рис. 8.8. Бачок для испытания кипячением: 1 - регулятор уровня воды; 2 - трубка; 3 - крышка; 4 - бачок; 5 - решетка; 6 - лепешки из цементного теста; 7 - шланг

О пригодности цемента судят по внешнему виду образцов, прошедших испытание.

Цемент *не считается доброкачественным*, если на лицевой поверхности лепешек, подвергнутых испытанию, обнаружатся:

- радиальные, доходящие до краев трещины или сетка мелких трещин, видимая невооруженным глазом или в лупу;

- какие-либо искривления и увеличения объема лепешек.

Наличие искривлений устанавливается при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки.

Иногда в первые сутки после изготовления на лепешках появляются трещины, не доходящие до краев (рис. 8.9).

Если на обратной стороне лепешек отсутствуют радиальные трещины и лепешки при постукивании одна о другую издают звонкий звук, то появление трещин усыхания не является признаком недоброкачественности цемента, а связано с внутренними усадочными напряжениями, возникающими при высыхании лепешек.

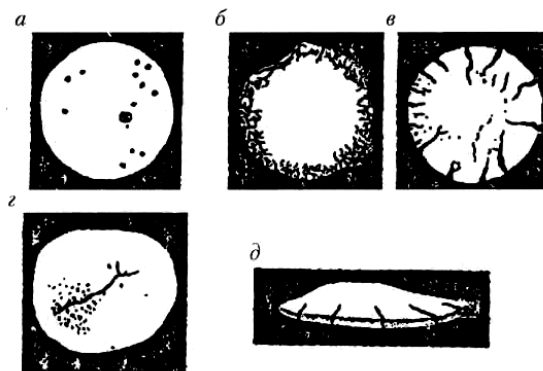


Рис. 8.9. Лепешки, испытанные на равномерность изменения объема цемента:

а, б - выдержавшие испытания (*а* - дефектов нет, *б* - трещины усадки); *в, д* - не выдержавшие испытания (*в* - разрушение, *г* - радиальные трещины, *д* - искривление)

Результаты испытаний записывают в табл. 8.4.

Таблица 8.4 - Определение равномерности изменения объема цемента

Показатель	Значение
Масса теста нормальной густоты, г Дата и время изготовления лепешек Дата и время испытания Оценка внешнего вида лепешек после их испытания кипячением в течение 3 ч Заключение об испытании цемента на равномерность изменения объема (выдержал, не выдержал)	

Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности цемента

Насыпная плотность ρ_n - отношение массы сыпучего материала m к занимаемому им объему V .

Насыпная плотность цемента зависит от степени его уплотнения, высоты падения, толщины слоя, влажности, гранулометрии.

Насыпную плотность сыпучих материалов, в том числе и цемента, необходимо знать для расчета состава бетонов и растворов. Кроме того, ее учитывают при определении площадей складов и емкостей для хранения сыпучих материалов, объема бункеров, транспортной тары в бетоносмесительных отделениях заводов по производству бетонных и железобетонных изделий.

Определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии производится с помощью мерного цилиндрического сосуда вместимостью 1 л и стандартной воронки (рис. 8.10).

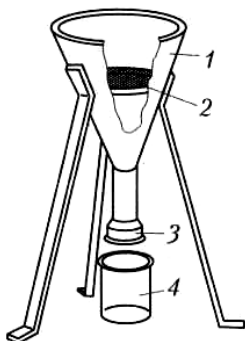


Рис. 8.10. Воронка для определения насыпной плотности песка: 1 - воронка с песком; 2 - сито с размерами отверстий 5 мм; 3 - затвор; 4 - сосуд емкостью 1 л

Цемент насыпают в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см от края сосуда до образования избыточного конуса. Излишек осторожно снимают линейкой вровень с краями сосуда, избегая уплотнения, после чего определяют массу сосуда с цементом.

Насыпную плотность цемента вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 1000, \text{ кг/м}^3,$$

где m_2 - масса мерного сосуда с цементом, г;

m_1 - масса мерного сосуда, г;

V - вместимость мерного сосуда, л.

Для сравнения можно определить насыпную плотность цемента в уплотненном состоянии.

Расчет межзерновой пустотности производится по формуле

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{н}}}\right) 100, \%$$

где $\rho_{\text{н}}$ - истинная плотность зерен цемента, кг/м³
 ($\rho_{\text{н}} = 3050... 3150$ кг/м³).

Результаты испытаний записывают в табл. 8.5.

Таблица 8.5 - Определение насыпной плотности цемента

Показатель	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии
Вместимость сосуда V , л		
Масса сосуда m_1 , кг		
Масса сосуда с цементом m_2 , кг		
Насыпная плотность цемента $\rho_{\text{н}}$, кг/м ³		
Истинная плотность зерен цемента $\rho_{\text{н}}$, кг/м ³		
Межзерновая пустотность $V_{\text{пуст}}$, %		

Определение активности цемента по ГОСТ 310.4-81

Прочность портландцемента является основной характеристикой его качества. В зависимости от величины предела прочности при сжатии и предела прочности при изгибе стандартных образцов-балочек через 28 сут. твердения портландцемент разделяют на марки (400, 500, 550, 600).

Фактическое значение прочности, полученное при испытании на осевое сжатие половинок указанных образцов из стандартного цементного раствора, изготовленных и испытанных в стандартных условиях, называют **активностью цемента**. Результаты определения активности цемента при испытании по ГОСТ 310.4-81 являются исходными показателями для отнесения цемента к той или иной марке.

Марка цемента - это гарантированная величина его активности, округленная в меньшую сторону до целого значения (ГОСТ 10178-85) (табл. 8.6).

Для быстротвердеющих портландцементов (БТЦ) и шлакопортландцементов (ШПЦ), кроме того, нормируется предел прочности в конкретные сроки твердения (2...3 сут.).

Таблица 8.6 – Характеристика марок портландцемента

Марка цемента	R_{28} МПа, не менее	
	при изгибе	при сжатии
300	4,5	30,0
400	5,4	39,2
500	5,9	49,0
550	6,1	53,9
600	6,4	58,8

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливаются образцы-балочки (призмы) размерами 40×40×160 мм из замеса цементно-песчаного раствора пластичной консистенции, состоящего из одной части цемента и трех частей стандартного полифракционного песка для испытания цемента (ГОСТ 6139-2003) с размером зерен от 2,00 до 0,08 мм при водоцементном отношении 0,50 (0,40 при применении монофракционного песка). Применение других песков не допускается, чтобы исключить их влияние на прочность образцов.

1. Приготовление растворной смеси (цементного раствора) и определение ее консистенции

По ГОСТ 310.4-81 для определения прочностных характеристик цемента изготавливают образцы из цементного раствора на стандартном (т.е. монофракционном) песке в соотношении 1:3 (Ц:П) по массе. Водоцементное отношение (В/Ц) должно быть равно 0,40, консистенция растворной смеси, определяемая на специальном приборе по распылу конуса - не менее 106 мм. Консистенция растворной смеси определяется количеством воды в ее составе.

Консистенция раствора также зависит от размера зерен песка и содержания в нем примесей, поэтому для изготовления цементного раствора по ГОСТ 30744-2001 применяют стандартный полифракционный песок для испытания цемента (кварцевый природный песок с размером зерен от 0,08 до 2,0 мм и постоянным зерновым составом, ГОСТ 6139-91). Применение дру-

гих песков, чтобы исключить их влияние на прочность образцов, не допускается.

Для приготовления одного замеса цементного раствора взвешивают 500 г цемента и 1500 г стандартного песка, всыпают их в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашу, а затем перемешивают лопаткой в течение 1 мин. В центре сухой смеси делают лунку и вливают в нее воду в количестве 200 г ($B/\Pi = 0,40$). Через 0,5 мин после приливания воды смесь еще раз перемешивают в течение 1 мин, затем раствор переносят в предварительно протертую мокрой тканью чашу лабораторной бегунковой растворомешалки (рис. 8.11, 7.12) и перемешивают в течение 2,5 мин (20 оборотов чаши-мешалки).

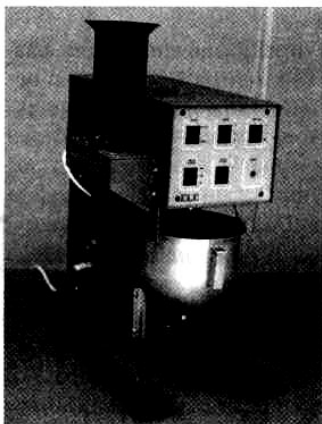


Рис. 8.11. Внешний вид мешалки для перемешивания цементного раствора (ГОСТ 30744-2001)

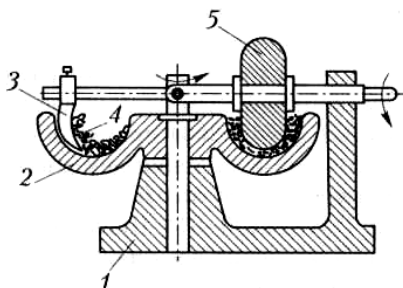


Рис. 8.12. Схема мешалки для перемешивания цементного раствора (по ГОСТ 310.4-81): 1 - станина; 2 - чаша; 3 - скребок; 4 - раствор; 5 - бегунок

По окончании перемешивания форму-конус, установленную в центре стеклянного диска встряхивающего столика (рис. 8.13), заполняют раствором в два приема слоями равной толщины. Внутренняя поверхность конуса и диск столика перед проведением испытаний должны быть слегка увлажнены. Раствор уплотняют металлической штыковкой (рис. 8.14): нижний слой - 15 штыкованиями, верхний - 10.

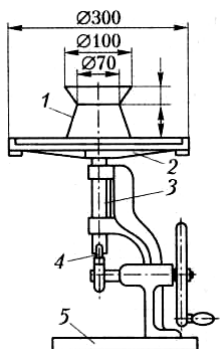


Рис. 8.13. Встряхивающий столик с формой-конусом: 1 - форма-конус; 2 - диск; 3 - перемещающаяся часть; 4 - кулачок; 5 - станина

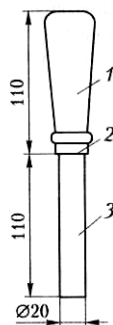


Рис. 8.14. Штыковка для уплотнения раствора: 1 - ручка; 2 - кольцо; 3 - стержень

Во время укладки и уплотнения раствора конус прижимают рукой к стеклянному диску.

После уплотнения верхнего слоя раствора снимают насадку, излишек раствора срезают ножом вровень с краями конуса. Затем форму-конус снимают, производят встряхивание раствора на столике 30 ударами в течение 30 с и измеряют штангенциркулем расплыв конуса по нижнему основанию в двух взаимноперпендикулярных направлениях (берут среднее значение). Консистенция раствора считается нормальной при расплыве конуса в интервале 106...115 мм. Если расплыв выходит за этот интервал, то делают новые замесы с меньшим или большим количеством воды.

Результаты испытаний заносятся в табл. 8.7.

Таблица 8.7 - Результаты определения консистенции раствора

Показатель	Номер опыта		
	1	2	3
Масса цемента (Ц), г			
Масса стандартного песка (П), г			
Объем воды (В), мл			
В/Ц			
Расплыв конуса, мм			

2. Изготовление и хранение образцов-балочек

Образцы-балочки готовят в трехгнездовых разъемных формах (рис. 8.15) размером $40 \times 40 \times 160$ мм.

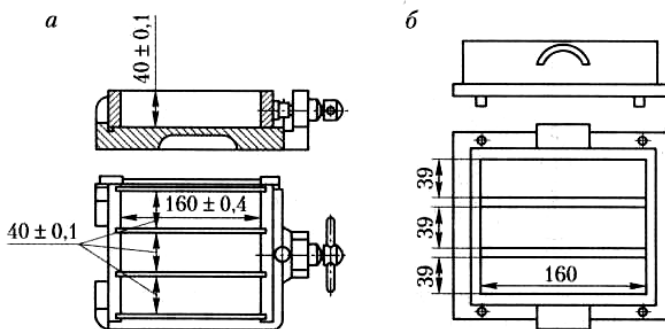


Рис. 8.15. Форма для изготовления образцов-балочек (а) и насадка к ней с фиксаторами на наружных стенках (б)

Перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок форм и опорной плиты слегка смазывают машинным маслом. Стыки наружных стенок друг с другом и с поддоном формы необходимо промазывать тонким слоем солидола или другой густой смазки. На собранную форму устанавливают насадку высотой $20 \dots 40$ мм с фиксаторами на наружных стенках.

Подготовленную форму закрепляют на виброплощадке, имеющей амплитуду вертикальных колебаний $0,35$ мм и частотой колебаний $2800 \dots 3000$ об/мин. Форму наполняют раствором приблизительно на 1 см и включают виброплощадку, затем в течение 2 мин вибрации все три секции формы равномерно, небольшими порциями окончательно заполняют раствором. Вибрация длится в течение 3 мин. После этого форму снимают с виброплощадки, срезают смоченным водой ножом излишек раствора, зачищают поверхность образцов вровень с краями формы и маркируют их.

По ГОСТ 30744-2001 для уплотнения раствора в формах используют встряхивающий стол.

Образцы в формах хранят 24 ± 2 ч в камере влажного хранения над водой. По истечении времени хранения образцы осто-

можно расформовывают, укладывают на решетку, помещают в ванну с водой в горизонтальном положении таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом, и хранят так до проведения испытания по определению прочности.

Температура воды в ванне для хранения - 20 ± 1 °С. Воду, в которой хранятся образцы, меняют через каждые 14 сут. Испытание образцов производят по истечении срока хранения, например через 28 сут. нормального твердения.

Образцы испытывают на изгиб на установке для определения предела прочности (например, МИИ-100; рис. 8.16), а их половинки - на сжатие на испытательной машине (например, на гидравлическом прессе).

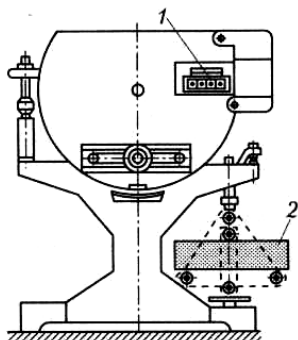


Рис. 8.16. Машина МИИ-100:

- 1 - счетчик напряжений;
- 2 - образец-балочка

3. Определение предела прочности на растяжение при изгибе

Перед испытанием образцы должны быть вынуты из воды и не позднее чем через 30 мин подвергнуты испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы необходимо насухо вытереть.

Испытание образцов-балочек производят на любом приборе типа МИИ-100 (см. рис. 8.16), который автоматически вычисляет предел прочности при изгибе $R_{изг}$ для стандартных образцов. При использовании других приборов $R_{изг}$ вычисляют по формуле

$$R_{изг} = 1,5 \cdot F \cdot l/b^3,$$

где F - разрушающее усилие, Н;

l - расстояние между опорами, мм;

b - ширина призмы, мм.

Установку образцов на опорные элементы прибора производят так, чтобы грани, которые при изготовлении были горизонтальными, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю (рис. 8.17). Средняя скорость приложения усилия на образец должна составлять 50 ± 10 Н/с.

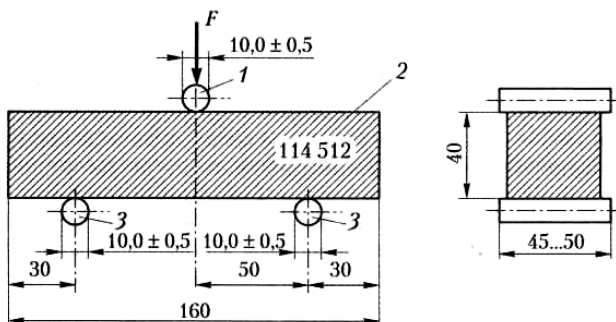


Рис. 8.17. Схема расположения образца-балочки при испытании на изгиб: 1 - нагруженный элемент; 2 - образец-балочка; 3 - опоры

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое двух наибольших результатов испытания трех образцов. Результаты испытания заносятся в табл. 8.8.

Таблица 8.8 - Результаты испытаний для определения марки цемента

Предел прочности, МПа		Марка портландцемента по ГОСТ 10178-85
при изгибе $R_{изг}$	при сжатии $R_{сж}$	
1	1	М
2	2	
3	3	
Среднее арифметическое двух наибольших результатов	Среднее арифметическое четырёх наибольших результатов	

4. Определение предела прочности на сжатие

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок образцов-балочек (призм) сразу же подвергают испытанию на сжатие.

Половинку образца-балочки (призмы) помещают между нажимными пластинками (рис. 8.18) таким образом, чтобы грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, заглаженная поверхность с маркировкой была обращена к испытателю и упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца.

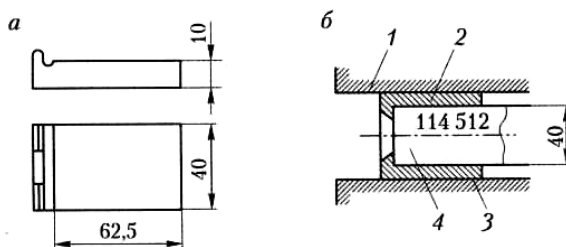


Рис. 8.18. Пластины для передачи нагрузки на половинки образцов-балочек (а) и схема расположения образца между ними при испытании на сжатие (б): 1 - верхняя плита прессы; 2 - пластины; 3 - нижняя плита прессы; 4 - половинка образца-балочки

Пластины применяют для того, чтобы определить площадь поперечного сечения половинки образца-балочки, которая подвергается испытанию.

Требуемая скорость увеличения усилия $2,0 \pm 0,5$ МПа/с устанавливается опытным путем.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ отдельной половинки образца-балочки вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \text{ МПа,}$$

где F - разрушающее усилие, Н;

A - площадь рабочей поверхности нажимной пластины, равная 2500 мм^2 (25 см^2).

Предел прочности портландцемента при сжатии вычисляют как среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытаний из шести. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Полученное таким образом фактическое значение предела прочности при сжатии половинок образцов-балочек называют *актив активностью цемента*.

Результаты вычисления пределов прочности при изгибе $R_{изг}$ и сжатии $R_{сж}$ образцов-балочек записывают в табл. 8.8.

Ориентировочно марку портландцемента можно определить в более раннем возрасте, но не менее 3 сут., по логарифмической зависимости прочности цементного раствора от времени его твердения:

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n},$$

где R_{28} - предел прочности цементного раствора при изгибе или сжатии в возрасте 28 сут. твердения, МПа;

R_n - предел прочности раствора при изгибе или сжатии в возрасте n сут. твердения, МПа;

n - возраст образцов к моменту испытания, сут.
(не менее трех суток).

Численное значение марки (активности) портландцемента используется при подборе (расчете) состава бетона.

Практическое занятие №9

Свойства цементобетонных смесей и цементобетона

Бетон - это искусственный камневидный материал. Его получают в результате самоотвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной бетонной смеси.

Бетонная смесь - это смесь, не имеющая механической прочности до начала затвердевания и состоящая из минерального вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей и, при необходимости, различных химических и минеральных добавок. Минеральные вяжущие вещества и вода - *активные составляющие* в бетоне, мелкий и крупный заполнитель - *пассивные* (при отсутствии методов специальной их активации). Смесь сухих компонентов (без затворителя - воды) называется *сухой бетонной смесью*. При добавлении воды в сухую бетонную смесь происходит гидратация минерального вяжущего, самоотвердевание и превращение бетонной смеси в искусственный камень - бетон.

Цементное тесто - однородная пластичная смесь, образующаяся при затворении цемента определенным количеством воды. Она обволакивает зерна песка (мелкого заполнителя), щебня и гравия (крупных заполнителей) и играет роль своеобразной смазки, придающей бетонной смеси необходимую удобоукладываемость (консистенцию).

Зерна заполнителей, надежно связанные цементным камнем, образуют *жесткий скелет бетона*, уменьшая усадку бетона, возникающую в результате усадочных деформаций цементного камня при твердении.

По ГОСТ 26633-2015 тяжелый бетон подразделяется на следующие классы прочности:

- классы прочности на сжатие (МПа): B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70; B80; B90; B100;

- классы прочности на осевое растяжение (МПа): Bt0,8; Bt1,2; Bt1,6; Bt2,0; Bt2,4; Bt2,8; Bt3,2; Bt3,6; Bt4,0;

- классы прочности на растяжение при изгибе (МПа):

Vtb0,4; Vtb0,8; Vtb1,2; Vtb1,6; Vtb2,0; Vtb2,4; Vtb2,8; Vtb3,2; Vtb3,6; Vtb4,0; Vtb4,4; Vtb4,8; Vtb5,2; Vtb5,6; Vtb6,0; Vtb6,4; Vtb6,8; Vtb7,2; Vtb8,0.

Классы и марки бетонов по прочности соотносятся также как классы и марки цементов.

В цементно-бетонных покрытиях дорог и аэродромов основным расчетным напряжением является напряжение от изгиба, так как покрытие работает как плита на упругом основании. Поэтому при проектировании состава бетона надо установить такое соотношение между его составляющими, которое обеспечивает требуемую прочность бетона на растяжение при изгибе, достаточную прочность при сжатии, а также морозостойкость. Марки дорожного бетона по прочности устанавливаются в зависимости от его назначения (табл. 9.1).

Таблица 9.1 - Требования к прочности цементного бетона для дорожных покрытий

Назначение бетона	Марка М бетона по прочности	
	при изгибе	при сжатии
Бетон для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий	40, 45, 50, 55	300, 350, 400, 500,
Бетон для нижнего слоя двухслойных покрытий	35, 40, 45, 20,	250, 300, 350
Бетон для оснований совершенствованных капитальных покрытий	25, 30, 36	100, 150, 200, 250

Изготовление пробных замесов.

Определение удобоукладываемости бетонной смеси

Основной показатель качества бетонной смеси по ГОСТ 7473-2010 – удобоукладываемость. По удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на группы: жесткие (Ж), подвижные (П) и растекающиеся (Р). Группы подразделяются на марки по удобоукладываемости. Жесткость бетонной смеси Ж характеризуется временем (в секундах) вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси. Подвижность бетонной смеси определя-

ют по осадке стандартного конуса ОК (в сантиметрах), отформованного из бетонной смеси. Растекаемость бетонной смеси Р (в сантиметрах) оценивают по нижнему диаметру лепешки конуса, который образовался в результате расплыва бетонной смеси при определении подвижности по осадке стандартного конуса.

Пробные замесы бетонной смеси готовят после выполнения расчета состава бетона и расхода составляющих на пробный замес (Практическое занятие № 10). Объем бетонной смеси пробного замеса V_3 принимают 7...10 л (из расчета изготовления 6...9 контрольных образцов-кубов с ребром 100 мм). Указанного объема бетонной смеси достаточно и для определения ее удобоукладываемости (подвижности).

Методика определения подвижности бетонной смеси приведена в ГОСТ 10181-2014.

Изменять (регулировать) подвижность (консистенцию) бетонной смеси можно за счет увеличения расхода цемента и воды, сохраняя водоцементное отношение, а также увеличивая количество мелкого и крупного заполнителя (в том же соотношении). Наиболее эффективным способом повышения подвижности бетонной смеси является применение пластифицирующих добавок (разжижителей).

1. Определение расхода материалов на замес V_3

Расход воды вычисляется по формуле

$$B_1 = B \cdot V_3, \text{ л,}$$

где B - расход воды на 1 м³ бетонной смеси, л;

V_3 - объем замеса, м

Расход цемента вычисляется по формуле

$$Ц_1 = Ц \cdot V_3, \text{ кг,}$$

где $Ц$ — расход цемента на 1 м бетонной смеси, кг.

Расход крупного заполнителя вычисляется по формуле

$$K.З_1 = K.З \cdot V_з, \text{ кг,}$$

где $K.З$ - расход мелкого заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

$$M.З_1 = M.З \cdot V_з, \text{ кг,}$$

где $M.З$ - расход мелкого заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

2. Приготовление пробного замеса

Цемент тщательно перемешивают и просеивают через сито № 1,25. Остаток на сите удаляют.

Заполнители предварительно высушивают до постоянной массы при температуре выше $80...90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Компоненты бетонной смеси дозируют с точностью взвешивания $\pm 0,1 \%$.

Все составляющие перемешивают вручную или механическим способом (в бетономешалке).

При перемешивании вручную используют предварительно увлажненную металлическую форму - боек (поддон) размером в плане $1 \times 2 \text{ м}$. На поддон сначала высыпают отвешенное количество мелкого заполнителя, а затем добавляют требуемое количество цемента. Компоненты перемешивают до получения смеси однородного состава. Затем добавляют крупный заполнитель и всю смесь тщательно перемешивают до тех пор, пока щебень или гравий не будет равномерно распределен в сухой смеси. После этого в середине перемешанной смеси делают углубление, вливают в него половину требуемого количества воды, осторожно перемешивают, собирают бетонную смесь в кучу и добавляют остальную часть воды. После этого бетонную смесь энергично перемешивают до достижения ее однородности. Продолжительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять 5 мин.

В случае механического перемешивания в бетоносмеси-

тель сначала загружают песок, затем цемент, крупный заполнитель и воду.

Продолжительность перемешивания должна составлять около 5 мин с момента загрузки всех компонентов.

На пробных замесах определяют удобоукладываемость (подвижность или жесткость) бетонной смеси.

3. Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность является статической характеристикой бетонной смеси, потому что оседание конуса, отформованного из бетонной смеси, происходит за счет собственной массы. Увеличение количества цемента и воды, уменьшение доли крупного заполнителя или применение пластифицирующих добавок позволяет увеличить подвижность бетонной смеси.

Оценивают подвижность бетонной смеси по осадке изготовленного из бетонной смеси конуса (ОК, см). Бетонный конус изготавливают из бетонной смеси с помощью стандартной металлической формы (рис. 9.1) без дна в виде усеченного конуса высотой 300, диаметром верхнего и нижнего оснований соответственно 100 и 200 мм. Согласно EN 206, это конус Абрамса.

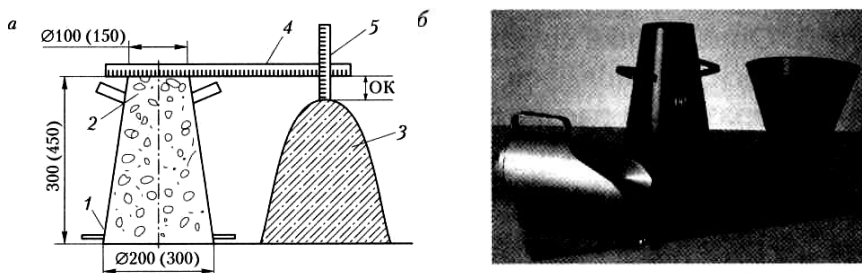


Рис. 9.1. Определение подвижности бетонной смеси по осадке бетонного конуса: *a* - схема (1 - стандартная форма-конус; 2 - бетонный конус в форме; 3 - осевший конус бетонной смеси; 4 - металлическая линейка; 5 - линейка с делениями); *б* - внешний вид приспособлений

Форму предварительно очищают, протирают изнутри влажной тканью и устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность, которая не впитывает воду (металлический протигень или кусок линолеума). Затем форму через воронку заполняют бетонной смесью, тремя, приблизительно равными по высоте, слоями. Каждый слой 25 раз уплотняют путем равномерного штыкования металлическим стержнем диаметром 16 и высотой 300 мм, на всю его высоту до нижележащего слоя. При штыковании бетонной смеси форма должна быть прижата к основанию.

После окончания штыкования верхнего слоя воронку снимают, и избыток бетонной смеси срезают стержнем вровень с краями формы. Затем форму-конус поднимают строго вертикально вверх (в течение 5...7 с) таким образом, чтобы не разрушить бетонный конус. Бетонная смесь, освобожденная от формы, под действием собственной массы начинает оседать. После окончания ее осадки снятую форму ставят рядом с осевшим бетоном. На верхнее основание формы-конуса укладывают металлическую или деревянную линейку, а затем от нижнего ее ребра другой линейкой с делениями замеряют осадку бетонной смеси с точностью до 0,5 см. Если после снятия формы-конуса бетонная смесь разваливается, сильно деформируется и приобретает форму, не позволяющую определить ее осадку, измерение не выполняют, а повторяют испытание на новой порции бетонной смеси.

Общее время испытания с начала наполнения формы-конуса бетонной смесью и до момента измерения ее осадки не должно превышать 10 мин. Осадку конуса бетонной смеси определяют два раза. За результат принимают среднее арифметическое значение двух испытаний.

Если при определении подвижности бетонной смеси осадка стандартного конуса равна нулю, то смесь не обладает подвижностью, ее удобоукладываемость характеризуется жесткостью, оценивается по времени вибрации и определяется с помощью прибора для определения жесткости.

**Определение средней плотности бетонной смеси.
Изготовление контрольных бетонных образцов.
Расчет фактического расхода составляющих бетона
1. Определение средней плотности бетонной смеси.**

Средняя плотность бетонной смеси - отношение массы уплотненной смеси к ее объему. Ее определяют для тяжелого бетона с целью расчета фактического расхода материалов на 1 м³ бетона.

Среднюю плотность бетонной смеси вычисляют по формуле:

$$\rho_{б.см} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 1000, \text{ кг/м}^3,$$

где m - масса мерного сосуда с бетонной смесью, г;
 m_1 - масса мерного сосуда без бетонной смеси, г;
 V - вместимость мерного сосуда (формы), см³.

Для определения средней плотности бетонной смеси используют цилиндрический металлический сосуд, емкость которого зависит от наибольшей крупности зерен. Допускается вместо цилиндрического сосуда использовать формы, в которых изготавливают контрольные образцы бетона.

Мерный сосуд (формы) взвешивают, заполняют бетонной смесью с избытком, устанавливают на лабораторную виброплощадку, закрепляют зажимами. Затем включают виброплощадку и секундомер фиксируют время вибрирования. Вибрирование должно продолжаться до полного уплотнения бетонной смеси, когда прекращается ее оседание, выравнивается поверхность и на ней появляется цементное молоко.

После уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой, и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями формы. Затем форму с бетоном взвешивают с погрешностью не более 0,1 % и вычисляют среднюю плотность бетонной смеси.

Среднюю плотность бетонной смеси определяют дважды с округлением до 10 кг/м³. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение двух испытаний. Результаты испытаний заносят в табл. 9.2.

Таблица 9.2 - Средняя плотность бетонной смеси

Показатель	№ опыта	
	1	2
Масса формы без бетонной смеси m_1 г		
Масса формы с бетонной смесью m , г		
Масса бетонной смеси $m - m_1$ г		
Объем (вместимость) формы V , см ³		
Средняя плотность бетонной смеси $\rho_{б.см}$, кг/ м ³		

2. Изготовление контрольных образцов

Для определения среднего предела прочности (марки) бетона и его класса по прочности при сжатии $f_{c.cube}^G$ изготавливают стандартные образцы-кубы с ребром 150 или 100 мм из бетонной смеси и выдерживают до испытания в течение 28 сут. в стандартных нормально-влажностных условиях.

Образцы изготавливают в разборных чугунных или стальных формах со строганой или шлифованной внутренней поверхностью. Размеры собранных форм не должны допускать отклонений по длине ребер более 1 %, углы между гранями прямоугольных форм должны быть прямыми.

Формы перед укладкой в них бетонной смеси очищают от остатков бетона, внутреннюю поверхность смазывают обработанным минеральным маслом или смазкой, которые препятствуют сцеплению бетона с поверхностью форм.

Бетонную смесь укладывают в формы и уплотняют не позднее чем через 20 мин после окончания перемешивания и определения ее удобоукладываемости. Методы укладки и уплотнения бетонной смеси в формах зависят от ее подвижности.

Если подвижность бетонной смеси составляет более 12 см осадки конуса, то ее укладывают в формы высотой 100 и 150 мм в один слой и уплотняют штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 мм по спирали от краев к центру образца. Число штыкований принимают равным 10 погружений стержня на каждые 100 см² верхней поверхности образца. После окончания уплотнения штыкованием избыток верхнего слоя бетона

срезают металлической линейкой вровень с краями формы, поверхность образца заглаживают.

Жесткие бетонные смеси, а также смеси с подвижностью менее 12 см по осадке конуса уплотняют вибрированием (рис. 9.2). Бетонную смесь укладывают в формы с некоторым избытком, форму устанавливают на стандартную лабораторную виброплощадку и закрепляют перед вибрированием. Затем включают виброплощадку и секундомер, фиксируя время уплотнения. Вибрирование продолжают до полного уплотнения бетонной смеси, которое характеризуется прекращением ее оседания, выравниванием поверхности и появлением на ней цементного молока. Затем форму снимают, срезают излишки бетона и заглаживают поверхность образца.

Образцы в формах накрывают влажной тканью и хранят в помещении при температуре 20 ± 2 °С в течение 1 сут. Затем формы раскрывают, вынимают из них образцы и маркируют. До момента испытания образцы хранят во влажных условиях в камере нормального твердения при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха не менее 95 %.

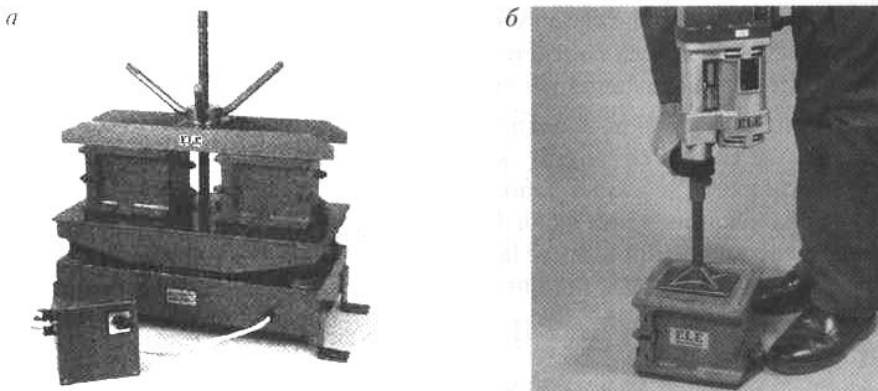


Рис. 9.2. Уплотнение бетонных образцов:
а - на лабораторной виброплощадке;
б - поверхностным вибратором

Образцы в камере укладывают на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками между ними 10...20 мм.

3. Расчет фактического расхода материалов на 1 м³ бетона

Фактический расход материалов (цемент, вода, крупный и мелкий заполнитель) определяется после изготовления пробных замесов, получения бетонной смеси требуемой удобоукладываемости и определения ее средней плотности.

Фактический расход материалов на 1 м³ бетона рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned}Ц_2 &= \frac{\rho_{б.см}}{\sum g} \cdot g_{ц}; \\В_2 &= \frac{\rho_{б.см}}{\sum g} \cdot g_{в}; \\М.З_2 &= \frac{\rho_{б.см}}{\sum g} \cdot g_{м.з}; \\К.З_2 &= \frac{\rho_{б.см}}{\sum g} \cdot g_{к.з};\end{aligned}$$

где $Ц_2$, $В_2$, $М.З_2$, $К.З_2$ - фактический расход соответственно цемента (вяжущего), воды, мелкого и крупного заполнителей, кг/м³ бетона;

$\rho_{б.см}$ - фактическая средняя плотность бетонной смеси, кг/м³;

$\sum g$ - суммарная масса всех материалов в опытном замесе, кг;

$g_{ц}$, $g_{в}$, $g_{м.з}$, $g_{к.з}$ - масса соответственно цемента (вяжущего), воды, мелкого и крупного заполнителей в замесе, кг.

При использовании влажных заполнителей пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на рабочий (фактический). При таком пересчете количество влажных заполнителей увеличивается настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному; количество вводимой в замес воды уменьшается на величину, равную количеству воды в заполнителях:

$$\begin{aligned}Ц_3 &= Ц_2; \\М.З_3 &= М.З_2 + \frac{М.З_2 \cdot W_{м.з}}{100}; \\К.З_3 &= К.З_1 + \frac{К.З_2 \cdot W_{к.з}}{100}; \\В_3 &= В_2 - \frac{М.З_2 \cdot W_{м.з}}{100} - \frac{К.З_1 \cdot W_{к.з}}{100},\end{aligned}$$

Ц_з, М.З_з, К.З_з, В_з - фактический расход соответственно цемента, мелкого и крупного заполнителей, воды, кг;

W_{Мз}, W_{Кз} - соответственно влажность мелкого и крупного заполнителей в %.

Рабочий состав бетона по массе вычисляют путем деления расхода каждого компонента бетонной смеси на расход цемента:

$$1: \frac{М.З_з}{Ц_з} : \frac{К.З_з}{Ц_з} \text{ при } (В/Ц)_6 = Z.$$

Результаты расчетов состава бетона (ориентировочного, фактического и рабочего) заносят в табл. 9.3.

Таблица 9.3 – Расходы материалов на 1 м³ бетона

Состав бетона	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг				в/ц
	Цемент	Вода	Крупный заполнитель	Мелкий заполнитель	
Ориентировочный					
Фактический					
Рабочий					

4. Определение расхода материалов на один замес в бетоносмесителе

Так как объем бетоносмесителя чаще всего таков, что выход готовой бетонной смеси не равен 1 м³ бетона, то для определения дозировки материалов на один замес необходимо состав, рассчитанный на 1 м³ бетона, пересчитать с учетом емкости бетоносмесителя. Если емкость барабана бетоносмесителя (новые модели) указывается в литрах готового замеса бетонной смеси V_{зам}, то количество каждого компонента рабочего состава необходимо пересчитать по формулам

$$\begin{aligned} \text{Ц}' &= \text{Ц}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \\ \text{К.З}' &= \text{К.З}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \\ \text{М.З}' &= \text{М.З}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \\ \text{В}' &= \text{В}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}. \end{aligned}$$

Если емкость бетоносмесителей (старые модели) указывается по суммарному объему загрузки сухих компонентов бетона (заполнителей и цемента), тогда следует вычислить по лабораторному составу коэффициент выхода бетона β , равный объему бетонной смеси (1 м^3) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на приготовление смеси:

$$\beta = \frac{1}{V_{\text{ц}} + V_{\text{м.з}} + V_{\text{к.з}}} = \frac{1}{\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{н.ц}}} + \frac{\text{М.З}}{\rho_{\text{н.м.з}}} + \frac{\text{К.З}}{\rho_{\text{н.к.з}}}},$$

где 1 - объем бетонной смеси, равный 1 м^3 ;

$V_{\text{ц}}, V_{\text{м.з}}, V_{\text{к.з}}$ - соответственно объем цемента, мелкого и крупного заполнителей, затраченных на приготовление 1 м^3 бетонной смеси, м^3 ;

$\text{Ц}, \text{М.З}, \text{К.З}$ - соответственно расход цемента, мелкого и крупного заполнителей на 1 м^3 бетона, кг;

$\rho_{\text{н.ц}}, \rho_{\text{н.м.з}}, \rho_{\text{н.к.з}}$ - соответственно насыпная плотность цемента, мелкого и крупного заполнителей, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Значение коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах $0,55 \dots 0,75$.

Зная коэффициент выхода β , определяют объем одного замеса бетона:

$$V_{\text{зам}} = V_{\text{м}} \cdot \beta, \text{ м}^3,$$

где $V_{\text{м}}$ - емкость бетоносмесителя, м^3 .

Умножая массу каждого компонента лабораторного состава на объем одного замеса бетона, получим дозировку материала на замес бетонсмесителя:

$$Ц = Ц_1 \cdot V_{\text{зам}};$$

$$В_3 = В_1 \cdot V_{\text{зам}};$$

$$К.З_3 = К.З_1 \cdot V_{\text{зам}};$$

$$М.З_3 = М.З_1 \cdot V_{\text{зам}}.$$

Определение прочности бетона при сжатии разрушающим методом

Прочность на сжатие является важнейшей технической характеристикой бетона. Технические нормативные документы (ГОСТ) определяют прочность бетона на осевое сжатие f_c как максимальное сжимающее напряжение в бетоне при одноосном напряженном состоянии, соответствующее пиковой точке диаграммы деформирования. *Среднее значение прочности бетона на осевое сжатие*, получаемое по результатам испытаний серии опытных образцов, обозначают f_{ct} (ранее обозначалось $R_{сж}$).

Гарантированная прочность бетона на осевое сжатие (класс) - прочность бетона на осевое сжатие, установленная с учетом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95 в соответствии с требованиями действующих стандартов на кубах со стороной 15 см и гарантируемая предприятием-производителем. Обозначается $f_{c.cube}^G$ (обозначается как класс В по ГОСТ 26633-2015).

Класс бетона по прочности на сжатие - количественная величина, характеризующая качество бетона и соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие.

Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию f_{ck} - контролируемая прочностная характеристика бетона, определяемая с учетом статистической изменчивости. Обеспеченность нормативных значений прочностных характеристик бетона устанавливается соответствующими нормативными документами для отдельных видов строительных конструкций с учетом их

массивности. В качестве базового значения обеспеченность нормативных значений прочностных характеристик с учетом статистической изменчивости принимается 0,95.

Расчетное сопротивление бетона f_{cd} - величина, получаемая в результате деления нормативного сопротивления бетона f_{ck} на нормируемый коэффициент безопасности для бетона γ_c .

Требуемая прочность бетона на сжатие при испытании кубов $f_{c,тр}$ (ранее называемая марка бетона по прочности М) - показатель, необходимый при расчете состава бетона; им пользуются в лабораториях, на заводах по изготовлению сборных железобетонных конструкций.

Маркой бетона называется нормированная прочность, которой должно соответствовать среднее значение прочности на сжатие, полученное при испытании эталонных кубов размером 150×150×150 мм или 150×150×600 мм (призмная) в возрасте 28 сут. нормального твердения.

Требуемую марку бетона М (среднее значение прочности) определяют по результатам испытаний серии стандартных кубов с ребром 150 мм (опытных образцов), изготовленных из рабочего состава бетонной смеси, твердеющих в нормальных влажностных условиях и испытанных в возрасте 28 сут. При испытании контрольных образцов-кубов на осевое сжатие других размеров для приведения к прочности стандартных кубов с ребром 150 мм введены поправочные коэффициенты (ГОСТ 10180-2012) (табл. 9.4).

Таблица 9.4 – Значение поправочных (масштабных) коэффициентов

Размер ребра куба, мм	70	100	150	200	300
Масштабный коэффициент α_1	0,85	0,95	1,0	1,05	1,1

При *разрушающем методе* испытаний контрольные образцы-кубы испытывают на осевое сжатие до разрушения на испытательной машине. Предел прочности бетона на осевое сжатие f_c вычисляют по формуле

$$f_c = \frac{F}{A} \alpha_1, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)*},$$

где F - разрушающее усилие, Н (кгс);

A - площадь поперечного сечения образца, мм² (см²);

α_1 - масштабный коэффициент, учитывающий переход к прочности базовых образцов размером 150×150×150 мм.

Образцы извлекают из камеры нормально-влажностного хранения, визуально их осматривают, удаляют напильником или абразивным камнем обнаруженные на ребрах и опорных гранях дефекты в виде наплывов. Образцы с трещинами, сколами ребер глубиной более 10 мм, раковинами диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм испытанию не подлежат. Затем на образцах определяют грани, к которым должно быть приложено усилие при испытании, и отмечают эти грани мелом. Опорные поверхности выбирают так, чтобы сжимающее усилие при нагружении образца было направлено параллельно слоям укладки бетонной смеси при ее уплотнении в форму (перпендикулярно направлению уплотнения). Линейные размеры образцов-кубов измеряют металлической линейкой с точностью до 1 мм. Затем определяют массу образцов на технических весах. Рабочую площадь сечения образца A , мм², вычисляют как среднее арифметическое площадей обеих опорных поверхностей.

После извлечения из камеры нормально-влажностного твердения образцы выдерживают в течение 4 ч в помещении лаборатории при температуре воздуха 20 ± 5 °С и относительной влажности воздуха 60 ± 5 %.

Образец устанавливают одной из опорных поверхностей в центре нижней плиты испытательной машины. Шкалу силоизмерителя выбирают из условия, что ожидаемое разрушающее усилие должно быть в пределах 20...80 % максимального усилия F_{\max} . Затем совмещают верхнюю плиту машины с верхней опорной поверхностью образца, включают электродвигатель привода насоса и начинают нагружение, которое производят непрерывно, со скоростью возрастания усилия, соответствующего увеличению

напряжения в образце $0,6 \pm 0,4$ МПа за 1 с, до разрушения.

Максимальное усилие, которое было достигнуто в процессе нагружения, принимают за разрушающее усилие F .

Значение предела прочности при сжатии бетона f_{ct} вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение в серии опытных образцов:

- из двух образцов - по двум образцам;
- из трех образцов - по двум наибольшим по прочности образцам;
- из четырех образцов - по трем наибольшим по прочности образцам;
- из шести образцов - по четырем наибольшим по прочности образцам.

Результаты определения средней плотности бетона ρ_0 и предела прочности бетона при сжатии f_c заносят в табл. 9.5.

Таблица 9.5 – Физико-механические характеристики испытанного бетона

Показатель	№ образца		
	1	2	3
Масса образца m , кг			
Средняя рабочая площадь образца A , мм ²			
Высота образца h , мм			
Объем образца V , см ³			
Средняя плотность бетона ρ_0 , кг/м ³			
Разрушающее усилие F , Н			
Предел прочности образца при сжатии f_c , МПа			
Средний предел прочности бетона при сжатии f_{ct} , МПа			

По результатам испытаний бетонных образцов-кубов вычисляют коэффициент вариации (изменчивости):

$$v = \frac{S}{f_{ct}}$$

где S - среднее квадратичное отклонение результатов испытаний на сжатие:

$$S = \frac{f_{c\max} - f_{c\min}}{d} = \frac{\omega_m}{d},$$

Где $f_{c\max}, f_{c\min}$ - соответственно максимальный и минимальный предел прочности образца при сжатии, МПа;
 d - коэффициент, зависящий от числа единичных измерений прочности n (табл. 9.6);
 ω_m - размах (варьирование) f_c .

Таблица 9.6 - Значение коэффициента d

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	1,13	1,69	2,06	2,33	2,35	2,70	2,85	2,97	3,08

Гарантированную прочность бетона вычисляют по формуле

$$f_{c.cube}^G = f_{ct}(1 - 1,64v).$$

По значению гарантированной $f_{c.cube}^G$, нормативной f_{ck} и полученной фактической f_{ct} прочности определяют класс бетона и его марку по прочности на сжатие.

Для сравнения вычисляют класс бетона при коэффициенте вариации 0,135 (т.е. 13,5%), что соответствует бетону удовлетворительного качества и принятого в нормативных документах при расчете конструкций из тяжелого бетона.

Практическое занятие № 10

Расчет состава цементобетона

Качество бетона зависит от правильности выбора составляющих бетонной смеси и проектирования состава бетона.

Состав бетона выражают расходом всех его составляющих материалов по массе на 1 м^3 уложенной и уплотненной бетонной смеси. Иногда состав бетона выражают отношением массы составляющих материалов бетонной смеси к массе цемента; за единицу принимают массу цемента, т.е. 1 (цемент) : песок : щебень (гравий) при требуемом количестве воды (В/Ц).

Состав бетона подбирают в два этапа. На первом этапе рассчитывают ориентировочный состав бетона. На втором этапе по результатам пробных замесов подбор проверяют и уточняют с учетом испытаний контрольных образцов.

Подбор состава бетона включает в себя следующие операции:

- расчет состава бетона;
- опытную проверку расчетного состава пробными замесами;
- определение формовочных свойств бетонной смеси;
- определение коэффициента выхода бетонной смеси;
- определение механических свойств бетона.

Различают *лабораторный состав* бетона, рассчитанный для составляющих материалов (песок, щебень (гравий)) в сухом состоянии, и *производственный состав*, рассчитанный для составляющих материалов с естественной влажностью.

Расчет состава бетона

Расчет состава бетонной смеси заключается в установлении наиболее рационального соотношения между составляющими бетон материалами (цементом, водой, песком, щебнем или гравием). Такое соотношение должно обеспечивать необходимую жесткость или подвижность смеси для принятого способа ее уплотнения, а также приобретение бетоном необходимой прочности в заданный срок при меньшем расходе цемента. В отдельных случаях вводят также требование о достаточной плотности, морозостойкости, водонепроницаемости и др.

Для того, чтобы произвести подбор состава бетона, необходимо иметь данные о бетоне, бетонируемой конструкции и результаты испытания материалов, применяемых для бетона.

В характеристике бетонируемой конструкции должны содержаться сведения о ее назначении и размерах, густоте армирования и способе укладки бетонной смеси. По этим данным устанавливается подвижность (жесткость) бетонной смеси и максимальная величина зерен крупного заполнителя. Подвижность (удобоукладываемость) бетонной смеси, если она не задана, следует назначать по СНиП 3.09.01-85 «Производство сборных железобетонных конструкций и изделий» в соответствии со способом формования и видом конструкции. Значения удобоукладываемости для некоторых наиболее распространенных случаев приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1 - Требования к удобоукладываемости бетонной смеси

Конструкция и способ уплотнения	Марка по удобоукладываемости	Жесткость, с	Подвижность, см
Плиты дорожные, аэродромные, формуемые на виброплощадке	Ж1	5...10	-
То же, на роликовой установке	Ж4	31...60	-
Центрифугированные изделия	П2	-	5...9
Аэродромные, дорожные плиты, формуемые роликовым безвибрационным способом	СЖ1	50 и менее	-

Расчет лабораторного состава бетона производится по методу абсолютных объемов, разработанному проф. Б.Г. Скрамтаевым. Согласно этому методу расход всех четырех компонентов бетонной смеси должен быть таким, чтобы сумма их абсолютных объемов составляла 1000 л (при этом не учитывается объем вовлеченного воздуха):

$$\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} = 1000,$$

где Ц, В, П, Щ - соответственно расход цемента, воды, песка и щебня, кг;

$\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{щ}}$ - соответственно истинная плотность цемента, песка и щебня, кг/м³.

Расход материалов определяют в следующем порядке.

1. Вычисляют *цементно-водное отношение*.

Для пластичных бетонных смесей (обычных бетонов) Ц/В < 2,5

$$\text{Ц/В} = \frac{R_{\text{б}}}{AR_{\text{ц}}} + 0,5,$$

Для особо жестких бетонных смесей (высокопрочных бетонов марок 500 и выше) Ц/В > 2,5

$$\text{Ц/В} = \frac{R_{\text{б}}}{A'R_{\text{ц}}} - 0,5.$$

где $R_{\text{б}}$ - требуемая прочность бетона на осевое сжатие при испытании кубов ($f_{\text{с.тр}}$ (см. практическое занятие №9) или проектная марка бетона М), кгс/см²; $R_{\text{ц}}$ - активность цемента (предел прочности при сжатии половинок образцов-балочек (см. практическое занятие №8)); А и А' - коэффициенты, учитывающие качество материалов (табл.10.3).

При возможности выбора марки (активности) цемента рекомендуется, чтобы его марка была в 1,5...2 раза выше требуемой прочности бетона. Меньшая разница в этих показателях ведет к увеличению расхода цемента, при большей разнице расчетный расход цемента может оказаться меньше минимальных значений, требуемых для получения нерасслаиваемой бетонной смеси и бетона заданной плотности. Можно использовать рекомендации, приведенные в табл. 10.2.

Таблица 10.2 – Рекомендуемые марки (активность) цемента

Марки бетона, кгс/см ²	Рекомендуемые марки цемента, кгс/см ²
100...250	400
250...300	500
300...450	550
свыше 450	600

Таблица 10.3 - Значение коэффициентов A и A'

Качество заполнителей и цемента	A	A'
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания:

1. К высококачественным материалам относятся щебень из плотных изверженных горных пород высокой прочности; песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки в его составе; заполнители чистые, промытые и фракционированные, с оптимальным зерновым составом.

2. К рядовым относятся заполнители среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент.

3. К материалам пониженного качества относятся крупные заполнители низкой прочности (например, щебень из карбонатных горных пород), мелкие пески и цементы низкой активности.

Ориентировочный расход воды определяют на 1 м³ бетонной смеси заданной подвижности или жесткости по данным В.П. Сизова (табл. 10.4), составленным с учетом водопотребности разных по виду и крупности зерен заполнителей.

Таблица 10.4 - Определение расхода воды

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды, л (кг), на 1 м ³ бетонной смеси при наибольшей крупности зерен заполнителя, мм					
Подвижность, см	Жесткость, с	гравия			щебня		
		10	20	40	10	20	40
0	40...50	150	135	125	160	150	135
0	25...35	160	145	130	170	160	145
0	20... 15	165	150	135	175	165	150
-	10...5	175	160	145	185	175	160
2.4	-	190	175	160	200	190	175
5...7	-	200	185	170	210	200	185
8...10	-	205	190	175	215	205	190
10...12	-	215	205	190	225	215	200
12...16	-	220	210	197	235	220	207
16...20	-	227	218	203	237	228	213

Примечания.

1. Расход приведен для бетонной смеси на портландцементе с НГЦТ 26...28 % и на песке с $M_k = 2$.

2. При изменении НГЦТ на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 5 л/м³, в большую сторону - увеличивается на 5 л/м³.

3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 5 л/м³, в большую сторону - уменьшается на 5 л/м³.

3. *Расход цемента* определяют уже с учетом найденных значений Ц/В и В:

$$Ц = (Ц/В)В.$$

Полученное значение расхода цемента необходимо сверить с нормативными требованиями ГОСТ 26633-2015 по минимальному расходу цемента, назначаемому в зависимости от характера армирования конструкции, условий эксплуатации и вида цемента. Так, например, при использовании бездобавочного

портландцемента минимальный расход составляет: для неармированных конструкций - 150 кг/м^3 , для армированных ненапрягаемой арматурой, подверженных атмосферным воздействиям, - 200 кг/м^3 , для конструкций с предварительно напряженной арматурой, подверженных атмосферным воздействиям, - 240 кг/м^3 . Если в результате расчета получилось значение меньше требуемой по норме, его следует увеличить до нормативного минимального значения расхода цемента, добавляя соответствующее количество воды таким образом, чтобы сохранить рассчитанное Ц/В.

4. Для определения *расхода крупного и мелкого заполнителей* задаются двумя условиями:

1) сумма абсолютных объемов всех компонентов в уплотненном состоянии равна 1000 л (1 м^3);

2) цементно-песчаный раствор должен заполнить все пустоты между крупным заполнителем с учетом некоторой раздвижки зерен этим раствором. Избыток растворной части необходим для получения удобообрабатываемой бетонной смеси и хорошего (полного) связывания зерен заполнителя в единый прочный монолит. Это условие можно записать уравнением:

$$\left(\frac{Ц}{\rho_c}\right) + B + \left(\frac{П}{\rho_p}\right) = V_{п.щ} \alpha \left(\frac{Щ}{\rho_{щ}^н}\right),$$

где ρ_c и ρ_p - истинная плотность соответственно цемента и песка;

$V_{п.щ}$ - пустотность крупного заполнителя

$$\left(V_{п.щ} = 1 - \rho_{щ}^н / \rho_{щ}\right);$$

$\rho_{щ}^н$ - насыпная плотность крупного заполнителя

(щебня);

α - коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя.

Значения коэффициента α можно определить по табл. 10.5. При этом необходимо учесть, что в табл. 10.5 приводятся значения *водоцементного отношения* В/Ц, а не *цементно-*

водного Ц/В как в предыдущих расчетах. $V/Ц = \frac{1}{Ц/В}$.

Таблица 10.5 - Значение коэффициента α для пластичных бетонных смесей в зависимости от расхода цемента и В/Ц

Расход цемента Ц, кг на 1 м ³ бетона	В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,30	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,40	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	-	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

Промежуточные значения находят методом интерполяции.

Для дорожного строительства применяют бетонные смеси с небольшим избытком песка. Такие смеси хотя и имеют несколько повышенную жесткость, но хорошо укладываются в покрытие дорог, сохраняют прочность при изгибе, не расслаиваются и дают лучшее качество поверхности. При этом коэффициент раздвижки зерен заполнителя можно назначать в пределах 1,3...1,7.

Необходимое количество щебня (гравия) на 1 м³ бетона:

$$\text{Щ} = \frac{1}{\alpha \cdot V_{\text{н.щ}} / \rho_{\text{щ}}^{\text{н}} + 1 / \rho_{\text{щ}}},$$

где $\rho_{\text{щ}}^{\text{н}}$, $\rho_{\text{щ}}$ - соответственно насыпная и истинная плотность щебня (гравия), кг/м³.

Расчет расхода мелкого заполнителя (песка П) на 1 м³ бетона выполняется по формуле:

$$\text{П} = \left[1 - \left(\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} \right) \right] \cdot \rho_{\text{п}}$$

Для обычных тяжелых бетонов расчетная плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии, определяемая по формуле:

$$\rho_{б.см} = Ц + В + Щ + П.$$

Оно находится в пределах 2350...2450 кг/м³.

Расчетный состав бетона *уточняется на пробных замесах*. Вначале готовится замес бетонной смеси для проверки удобоукладываемости. Вследствие особенностей применяемого цемента и местных заполнителей возможно отличие величины осадки конуса или жесткости бетонной смеси от принятой в расчете. Если смесь оказывается более подвижной, добавляют небольшое количество песка и крупного заполнителя (примерно по 5...10 %) до обеспечения требуемой удобоукладываемости; если менее подвижной - добавляют небольшое количество воды (5...10 %) и на столько же увеличивают расход цемента, чтобы сохранить расчетное цементно-водное отношение.

Пробные замесы повторяют до тех пор, пока не получат требуемые показатели удобоукладываемости.

В обоих случаях производят перерасчет состава по фактической плотности бетонной смеси, полученной при способе уплотнения, принятом в производственных условиях.

Из бетонной смеси, откорректированной по удобоукладываемости, изготавливают контрольные образцы, которые после твердения в нормальных условиях в течение 28 сут. испытывают на прочность на сжатие. Если прочность контрольных образцов отличается от заданной более чем на 15 %, количество цемента корректируют, изготавливают контрольные образцы и снова их испытывают. Результатом экспериментальной проверки расчетного состава бетона является новый уточненный состав, учитывающий свойства конкретных материалов.

В производственных условиях для приготовления бетонных смесей зачастую используются влажные заполнители.

Дополнительная вода, содержащаяся в заполнителях, приводит к необходимости корректировки составов. В результате пересчета расхода материалов с учетом фактической влажности

заполнителей получают *производственный (рабочий) состав бетона*.

Вначале рассчитывают количество воды, привнесенное заполнителями:

$$\begin{aligned}\Delta B_{п} &= \Pi W_{п}, \\ \Delta B_{щ} &= \Psi W_{щ},\end{aligned}$$

где $W_{п}$, $W_{щ}$ - влажность песка и крупного заполнителя, %;
 $\Delta B_{п}$ и $\Delta B_{щ}$ - количество воды, содержащееся соответственно в песке и щебне, кг/м³.

Затем устанавливают расход воды с учетом влажности заполнителей:

$$B_w = B - (\Delta B_{п} + \Delta B_{щ}).$$

Чтобы сохранить расчетное количество заполнителей в смеси, их расход увеличивают на то количество воды, которое в них содержится. В производственном составе расходы песка и щебня, с учетом влажности, будут:

$$\begin{aligned}\Pi' &= \Pi + \Delta B_{п}; \\ \Psi' &= \Psi + \Delta B_{щ}.\end{aligned}$$

Расход цемента при пересчете в производственном составе остается неизменным.

Объем бетонной смеси всегда меньше суммарного объема ее компонентов в насыпном состоянии. Это объясняется тем, что в процессе перемешивания более мелкие зерна заполняют пустоты в более крупных, цементное тесто заполняет пустоты в самых мелких зернах. Для оценки объема получаемой смеси рассчитывается *коэффициент выхода бетонной смеси*:

$$\beta = \frac{1000}{\Psi/\rho'_{щ} + \Pi/\rho'_{п} + \Psi'/\rho'_{щ}},$$

где $\rho'_ц, \rho'_п, \rho'_щ$ - насыпная плотность цемента, песка, щебня, кг/м³.

Коэффициент β используется также для оценки качества уплотнения бетонной смеси и расчета производительности бетоносмесителей.

Среднее значение коэффициента выхода для тяжелых бетонов составляет 0,67, для легких - 0,75.

Пример расчета состава бетона

Данные о бетоне.

Бетонируемая конструкция - плиты для дорожных покрытий. Марка бетона $R_6 = 300$. Метод уплотнения – вибрационный.

Данные о материалах.

Цемент: портландцемент марки $R_ц = 500$; нормальная густота 28%; насыпная плотность $\rho''_ц = 1100$ кг/м³; истинная плотность (плотность зерен) $\rho_ц = 3,1$ г/см³.

Песок: кварцевый с модулем крупности 2,8; насыпная плотность $\rho''_п = 1460$ г/см³ истинная плотность (плотность зерен) $\rho_п = 2,62$ г/см³.

Щебень: гранитный, насыпная плотность $\rho''_щ = 1480$ кг/м³; истинная плотность (плотность зерен) $\rho_щ = 2,6$ г/см³; предельная крупность зерен щебня – 40 мм.

Расчет состава бетона ведут в следующем порядке.

Находят удобоукладываемость бетонной смеси, по табл. 10.2 – жесткость смеси составляет 5...10 с.

1. Находят по табл. 10.4 расход воды $V = 160$ л/м³. Так как $M_к = 2,8$ больше на 0,8, чем усредненный $M_к = 2$, для которого составлена табл. 10.4, то расход воды уменьшается на 8 л. Поэтому принимаем расход воды $V = 152$ л/м³.

2. Определяют цементно-водное отношение (бетон не высокопрочный, качество заполнителей и цемента рядовое):

$$Ц/V = \frac{R_6}{AR_ц} + 0,5 = \frac{300}{0,6 \cdot 500} + 0,5 = 1,5.$$

3. Определяют расход цемента в кг/м³:

$$Ц = (Ц/В) \cdot В = 1,5 \cdot 152 = 228 .$$

Так как плиты для дорожных покрытий постоянно соприкасается с водой, подвержены частому замораживанию и оттаиванию, расход цемента в соответствии с рекомендациями необходимо увеличить до 240 кг/м³. Пропорционально необходимо увеличить и количество воды, чтобы сохранить расчетное значение Ц/В=1,5.

$$В = Ц/(Ц/В) = 240/1,5 = 160 \text{ л} = 0,16 \text{ м}^3 .$$

Объем цементного теста:

$$V_{\text{ц.т}} = Ц / \rho_{\text{ц}} + В = 240/3100 + 0,16 = 0,237 \text{ м}^3 = 237 \text{ л} .$$

4. Расход заполнителей. Водоцементное отношение:

$$В/Ц = \frac{1}{Ц/В} = \frac{1}{1,5} = 0,67 .$$

Коэффициент $\alpha = 1,3$ (по табл.10.5). Объем пустот определяют по формуле:

$$V_{\text{п.щ}} = 1 - \rho_{\text{щ}}^{\text{н}} / \rho_{\text{щ}} = 1 - 1480 / 2600 = 0,43 .$$

Таким образом, объем пустот составляет 0,43 или 43 %, а расход щебня, кг/м³:

$$Щ = \frac{1}{\alpha \cdot V_{\text{п.щ}} / \rho_{\text{щ}}^{\text{н}} + 1 / \rho_{\text{щ}}} = \frac{1}{1,3 \cdot 0,43 / 1480 + 1 / 2600} = 1312 .$$

где $\rho_{\text{щ}}^{\text{н}}$, $\rho_{\text{щ}}$ - соответственно насыпная и истинная плотность щебня (гравия), кг/м³.

Расчет расхода мелкого заполнителя (песка П) на 1 м³:

$$П = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{Щ}{\rho_{ш}} \right) \right] \cdot \rho_{н} = \left[1 - \left(\frac{240}{3100} + 0,16 + \frac{1312}{2600} \right) \right] \cdot 2620 = 676 \text{ кг/м}^3$$

Таким образом, в результате проведенного расчета определился следующий расход материалов на 1 м³ бетона:

Цемент, кг – 240

Песок, кг – 676

Вода, кг – 160

Щебень, кг – 1312

Расчетная плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии, определяемая по формуле:

$$\rho_{б.см} = Ц + В + Щ + П = 240 + 160 + 1312 + 676 = 2388 \text{ кг/м}^3.$$

Литература

1. Акимова Т.Н., Быстров Н.В., Котлярский Э.В. Лабораторный практикум по дорожно-строительным материалам. Битумы. Асфальтобетон: методические указания к выполнению лабораторных работ. М.: Изд-во МАДИ, 2006. 65 с.
2. Барац Н.И., Шестаков В.Н. Определение коэффициента фильтрации грунтов: методические указания к лабораторной работе по механике грунтов. Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. 20 с.
3. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 11 с.
4. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 22 с.
5. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2005. 18 с.
6. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
7. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства. Методы физико-механических испытаний. М.: Стандартинформ, 2008. 101 с.
8. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2006. 25 с.
9. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
10. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 51 с.
11. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2013. 31 с.

12. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2015. 24 с.
13. ГОСТ 11501-78. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. М.: Стандартиформ, 2005. 6 с.
14. ГОСТ 11503-74. Битумы нефтяные. Метод определения условной вязкости. М.: Стандартиформ, 2007. 3 с.
15. ГОСТ 11505-75. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. М.: Стандартиформ, 2008. 3 с.
16. ГОСТ 11506-73. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. М.: Стандартиформ, 2008. 6 с.
17. ГОСТ 11508-74. Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком. М.: Стандартиформ, 2006. 6 с.
18. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартиформ, 2015. 19 с.
19. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. М.: ГУП ЦПП, 1999. 59 с.
20. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. М.: Стандартиформ, 1991. 9 с.
21. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартиформ, 2018. 38 с.
22. ГОСТ 25584-2016 Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.: Стандартиформ, 2016. 19 с.
23. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2016. 12 с.
24. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. М.: Стандартиформ, 2002. 30 с.

25. ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2004. 34 с.

26. Игашева С.П., Гейдт Л.В. Грунтоведение: методические указания к лабораторным работам и практическим занятиям дисциплины для студентов строительных специальностей очной и заочных форм обучения. Тюмень: РИЦ ГОУ ВПО ТюмГАСУ, 2011. 60 с.

27. Строительные материалы. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для вузов / Я.Н. Ковлев и др.; под ред. Я.Н. Ковалева. М.: Инфра – М, 2013. 633 с.

28. Тюрин Н.А., Бессараб Г.А., Язов В.Н. Дорожно-строительные материалы и машины: учеб. для вузов. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 304 с.

29. Фадеев С.С., Рябкова Н.Н. Минеральный порошок для асфальтобетона: методические указания к выполнению лабораторных работ. Саратов: Изд-во СГТУ, 2010. 20 с.

Учебное издание

Дьяченко Антон Вячеславович
Орехова Галина Владимировна

**Технология и средства механизации
производства дорожно-строительных материалов**

методические указания для выполнения практических занятий
и самостоятельной работы
для обучающихся по направлению подготовки
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 13.09.2019 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 9,30. Тираж 100 экз. Изд. № 6470.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ