

Белорусский национальный технический университет

Факультет транспортных коммуникаций

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

С.Е. Кравченко

12 марта 2018 г .

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

А.В. Бусел

12 марта 2018 г

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

**Дорожно-строительные материалы и изделия
(часть I)**

для специальности 1 - 70 03 01 «Автомобильные дороги»

Составители: Кравченко С.Е., Реут Ж.В.,
Соболевская С.Н., Савуха А.В, Ходан Е.П.

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета факультета транспортных коммуникаций
12 марта 2018 г., протокол №7

Перечень материалов

Учебно-методический комплекс состоит из взаимосвязанных основных методических материалов: конспекта лекций, лабораторных работ и контрольных заданий для студентов и списка литературы. В его состав также входят: рабочая программа, типовые вопросы, касающихся изучения свойств природных и искусственных материалов при их использовании в конструкциях дорожных одежд, а также при эффективном ремонте и содержании элементов автомобильных дорог.

Предложенные материалы являются теоретической основой для решения практических задач, связанных с применением дорожно-строительных материалов.

Пояснительная записка

Цели ЭУМК

Цель ЭУМК заключается в подготовке инженера-строителя по специальности 1-70 03-01 «Автомобильные дороги» правильно и экономично выбирать дорожно-строительные материалы для проектирования, строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог. Для этого в учебной программе предусматривается комплекс вопросов, касающихся изучения свойств природных и искусственных материалов при их использовании в конструкциях дорожных одежд, а также при эффективном ремонте и содержании элементов автомобильных дорог.

Особенности структурирования и подачи учебного материала

ЭУМК включает учебные, научные и методические материалы по дисциплине «Дорожно-строительные материалы и изделия». Состоит из четырех разделов: теоретического, практического, контроля знаний и литературы. В теоретический раздел входит краткий курс лекций по первому семестру изучения дисциплины. Для выполнения лабораторных работ приведен практический раздел, включающий с методические указания по выполнению лабораторных работ. Раздел контроля знаний включает вопросы для подготовки к сдаче экзамена и защите лабораторных работ. Литература состоит из перечня нормативно-правовых актов по вопросам материаловедения и список литературных источников.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

Электронный документ открывается в среде Windows на IBM PC – совместимом персональном компьютере стандартной конфигурации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	7
1 УЧЕБНАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....	7
2 КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....	10
2.1. Дорожно-строительное материаловедение – фундаментальная наука прикладного характера.....	10
2.2. Основные свойства строительных материалов.....	11
2.3. Определение и классификация свойств материалов.....	14
2.4 Физические, физико-химические и реологические свойства материалов.....	16
2.5. Основы стандартизации и сертификации материалов.....	20
2.6. Повышение качества материалов.....	20
2.7. Природные каменные материалы.....	22
2.8. Горные породы: определение, классификация и состав.....	23
2.9. Нескальные горные породы: понятие, состав, классификация.....	24
2.10. Материалы, получаемые дроблением и обжигом. Дисперсные материалы.....	26
2.11. Способы улучшения качества дисперсных материалов.....	28
2.12 Неорганические (минеральные) вяжущие материалы.....	29
2.13 Определение, классификация. Общие требования к минеральным вяжущим материалам.....	29
2.14. Портландцемент.....	30
2.15. Бетоны на основе неорганических вяжущих материалов.....	34
2.16 Определение, классификация, применение. Структура.....	35
2.17. Дорожный цементный бетон. Проектирование состава тяжелого бетона.....	38
2.18. Контроль качества смесей. Свойства цементобетонных Смесей.....	41
2.19. Физические свойства бетонов. Классы (марки бетонов) по прочности.....	43
2.20. Железобетон.....	45
2.21. Производство сборного железобетона. Технический Контроль.....	46
2.22. Строительные растворы. Определение, назначение и классификация.....	47
2.23. Проектирование состава. Специальные растворы.....	49
II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	51
3. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	51
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	51
4.1. Лабораторная работа. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ.....	51

Задание 1. Определение средней плотности (плотности материала)....	52
Задание 2. Определение истинной плотности (плотности вещества)...	53
Задание 3. Определение пористости строительных материалов.....	56
Задание 4. Определение насыпной плотности и пустотности.....	58
Задание 5. Определение водопоглощение по массе и объему и расчет закрытой пористости материала.....	60
Задание 6. Определение предела прочности при сжатии.....	65
Задание 7. Определение ударной прочности (сопротивления удару).....	66
Задание 8. Определение истираемости каменных материалов.....	68
4.2. Лабораторная работа. МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ	70
Задание 1. Определение содержания в песке пылевидных и глинистых частиц.....	71
Задание 2. Определение наличия органических примесей.....	72
Задание 3. Определение влажности песка.....	73
Задание 4. Определение зернового состава песка.....	74
Задание 5. Определение насыпной плотности песка.....	77
Задание 6. Определение истинной плотности зерен песка.....	79
Задание 7. Общее заключение о качестве песка.....	80
4.3. Лабораторная работа. КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА (щебень, гравий и др.).....	80
Задание 1. Определение насыпной плотности крупных заполнителей.....	82
Задание 2. Определение плотность зерен заполнителей.....	84
Задание 3. Расчет и сравнительный анализ структурных характеристик заполнителей.....	87
Задание 4. Определение дробимости природного гравия и гранитного щебня.....	89
Задание 5. Определение прочности пористых заполнителей.....	91
Задание 6. Общее заключение о качестве заполнителей и области их рационального использования в бетонах.....	93
4.4. Лабораторная работа. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ.....	93
Задание 1. Определение нормальной густоты цементного теста.....	95
Задание 2. Определение сроков схватывания цементного теста.....	97
Задание 3. Определение равномерность изменения объема цементного теста при твердении.....	99
Задание 4. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности.....	102
Задание 5. Определение марки (активности) цемента.....	104
Задание 6. Определение марки (активности) цемента.....	110
Задание 7. Определение удельной поверхности цемента.....	113

4.5. Лабораторная работа. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ.....	116
Задание 1. Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого бетона для пробного замеса.....	122
Задание 2. Изготовление пробных замесов и определение удобоукладываемости бетонной смеси.....	129
Задание 3. Определение плотности бетонной смеси. Изготовление контрольных бетонных образцов и расчет фактического расхода составляющих бетона.....	133
4.6. Лабораторная работа. ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА.....	138
Задание 1. Определение предела прочности тяжелого бетона разрушающим методом.....	141
Задание 2. Определение прочности бетона неразрушающим механическим методом.....	145
Задание 3. Определение прочности бетона неразрушающим ультразвуковым методом.....	149
4.7. Лабораторная работа. КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР.....	156
Задание 1. Определение состава и приготовление растворной смеси.....	161
Задание 2. Определение подвижности растворной смеси.....	164
Задание 3. Определить среднюю плотность растворной смеси.....	166
Задание 4. Определить выход растворной смеси в опытном замесе.....	167
Задание 5. Определение средней плотности и прочности строительного раствора при сжатии.....	168
III КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ.....	173
5. Вопросы для подготовки к защите лабораторных работ.....	173
6. Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.....	178
IV ЛИТЕРАТУРА.....	182
7. Перечень ТНПА по дорожному материаловедению.....	182
8. Основная литература.....	190

ВВЕДЕНИЕ

Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Дорожно-строительные материалы и изделия» разработан в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования I степени по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги». Он предусматривает рассмотрение комплекса задач, решение которых необходимо для проектирования, строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог с учетом оптимальной ресурсоемкости и экологической чистоты.

Цель изучения дисциплины заключается в подготовке инженера-строителя по специальности «Автомобильные дороги» правильно и экономично выбирать дорожно-строительные материалы для проектирования автомобильных дорог, строительства, реконструкции, ремонта и содержания. Для этого в учебной программе предусматривается комплекс вопросов, касающихся изучения свойств природных и искусственных материалов при их использовании в конструкциях дорожных одежд, а также при эффективном ремонте и содержании элементов автомобильных дорог.

В задачи комплекса входит изучение:

- материалов, применяемых при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог, а также требований, предъявляемых к этим материалам;
- основных технологий получения материалов, пути управления их качеством, обеспечение техники безопасности и охраны окружающей среды;
- поведения и стойкости материалов при эксплуатации дорог и других инженерных сооружений на них, а также способов хранения и восстановления свойств материалов, позволяющих увеличить срок работоспособности транспортных сооружений;
- новых эффективных технологий и современных методов оценки свойств материалов, развивающих у студентов творческое мышление и расширяющих инженерный кругозор в области выбранной специальности.

При написании учебно-методического комплекса использованы материалы, изложенные в учебниках, учебных пособиях, методических указаниях, нормативных документах, научных статьях, материалах научно-практических конференций. Настоящий учебно-методический комплекс отражает опыт преподавания данной дисциплины, накопленный на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» БНТУ.

І ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1 УЧЕБНАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

В задачи дисциплины входит изучение:

- материалов, применяемых при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог, а также требований, предъявляемых к этим материалам;
- основных технологий получения материалов, пути управления их качеством, обеспечение техники безопасности и охраны окружающей среды;
- поведения и стойкости материалов при эксплуатации дорог и других инженерных сооружений на них, а также способов хранения и восстановления свойств материалов, позволяющих увеличить срок работоспособности транспортных сооружений;
- новых эффективных технологий и современных методов оценки свойств материалов, развивающих у студентов творческое мышление и расширяющих инженерный кругозор в области выбранной специальности.

В результате освоения учебной дисциплины «Дорожно-строительные материалы и изделия» студент должен:

знать:

- материалы, применяемые при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог;
- основные технологии получения дорожно-строительных материалов, методы управления их качеством;
- способы обеспечения производственной безопасности, охраны окружающей среды, ресурсо- и энергосбережения при проектировании, строительстве и содержании автомобильных дорог;
- условия работы материалов в конструкциях, способы сохранения и восстановления их свойств, позволяющие увеличить срок работоспособности автомобильных дорог и сооружений на них;

уметь:

- определять основные физико-механические свойства дорожно-строительных материалов в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями нормативных документов и давать обоснованное заключение об их целесообразном применении;
- определять экономическую эффективность применяемых материалов и вести поиск рациональной замены дефицитных материалов их аналогами из модифицированных техногенных отходов производства;

владеть:

- методами работы с измерительным и лабораторным оборудованием;
- основными приемами статистической обработки экспериментальных данных и формулирования обоснованных выводов по полученным данным;
- техническими нормативно-правовыми актами в области дорожного материаловедения.

Распределение аудиторных часов по видам занятий

Наименование раздела и темы	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Всего аудиторных часов
1	2	3	4
Первый семестр			
Раздел I. Введение			
Тема 1. Дорожно-строительное материаловедение – фундаментальная наука прикладного характера	4		4
Раздел II. Основные свойства строительных материалов			
Тема 2. Определение и классификация свойств материалов	2	4	6
Тема 3. Физические, физико-химические и реологические свойства материалов	2		2
Тема 4. Основы стандартизации и сертификации материалов	2	4	6
Тема 5. Повышение качества материалов	2		2
Раздел III. Природные каменные материалы			
Тема 6. Горные породы: определение, классификация и состав	2		2
Тема 7. Нескальные горные породы: понятие, состав, классификация	2	8	10
Раздел IV. Искусственные каменные дисперсные материалы			
Тема 8. Материалы, получаемые дроблением и обжигом. Дисперсные материалы	4		4
Тема 9. Способы улучшения качественных дисперсных материалов	4		4
Раздел V. Неорганические (минеральные) вяжущие материалы			
Тема 10. Определение, классификация. Общие требования к минеральным вяжущим материалам	4		4
Тема 11. Портландцемент	4	4	8
Раздел VI. Бетоны на основе неорганических вяжущих материалов			
Тема 12. Определение, классификация, применение. Структура цементобетона	2	6	8
Тема 13. Дорожный цементный бетон. Проектирование состава тяжелого бетона	2		2

1	2	3	4
Тема 14. Контроль качества смесей. Свойства цементобетонных смесей	2	4	6
Тема 15. Физические свойства бетонов. Классы (марки бетонов) по прочности	4	4	8
Тема 16. Железобетон	2		2
Тема 17. Производство сборного железобетона. Технический контроль	2	4	6
Раздел VII. Строительные растворы			
Тема 18. Определение, назначение и классификация	2		2
Тема 19. Проектирование состава. Специальные растворы	2		2
Второй семестр			
Раздел VIII. Органические вяжущие материалы			
Тема 20. Общие сведения. Классификация органических вяжущих материалов	2	8	10
Тема 21. Вяжущие нефтяные дорожные битумы их применение в дорожном строительстве	4		4
Тема 22. Жидкие нефтяные битумы. Получение и классификация	4	4	8
Тема 23. Получение битумных эмульсий и их применение в дорожном строительстве	2		2
Раздел IX. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы			
Тема 24. Общие сведения, классификация. Разновидности асфальтобетона	2	4	6
Тема 25. Материалы для асфальтобетона	2	4	6
Тема 26. Активационно-технологическая механика асфальтобетона	2		2
Тема 27. Проектирование состава асфальтобетона	4	12	16
Тема 28. Структура и свойства асфальтобетона	4		4
Тема 29. Битумоминеральные материалы. Классификация	2		2
Раздел X. Полимерные строительные материалы и изделия в дорожном строительстве			
Тема 30. Особенности состава, строения и свойств пластических масс. Терминология. Классификация полимеров	2		2

1	2	3	4
Тема 31. Полимерцементобетон. Пластбетоны. Стеклопластики	2	4	6
Раздел XI. Теплоизоляционные, гидроизоляционные, герметизирующие и геосинтетические материалы для дорожного строительства			
Тема 32. Теплоизоляционные материалы. Классификация	2		2
Тема 33. Пленочные полимерные материалы	2	2	4
Раздел XII. Строительные материалы из древесины			
Тема 34. Строение дерева	2	2	4
Тема 35. Пороки древесины	2		2
Тема 36. Модифицирование древесины	2	2	4
Раздел XIII. Металлические материалы			
Тема 37. Общие сведения. Арматура железобетонных конструкций	2	2	4
Тема 38. Механические свойства сталей. Обработка металлов	2		2
Раздел XIV. Физико-химические основы технологии строительных материалов			
Тема 39. Основы теоретического и прикладного материаловедения	2	2	4
Тема 40. Активационные технологии дорожных битумоминеральных материалов	2		2
Тема 41. Нанотехнология в строительном материаловедении	2		2
ВСЕГО	102	84	186

2 КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

2.1. Дорожно-строительное материаловедение – фундаментальная наука прикладного характера

Цель и задачи читаемой дисциплины, место среди других дисциплин строительного цикла и взаимосвязь с фундаментальными науками. Этапы развития науки о строительных материалах. Примеры сложных задач, которые необходимо решать инженеру-строителю и которые могут быть осуществлены только при глубоком инженерно-материаловедческом обосновании. Снижение энергозатрат при получении материалов. Инновационные технологии получения дорожно-строительных материалов (ДСМ).

Современное строительное материаловедение – прикладная наука, базирующаяся на положениях фундаментальных наук: химии, физики, реологии, математики и др. Ее роль в строительном производстве огромна. Без постоянно развивающихся знаний о материалах и изделиях из них невозможно запроектировать, построить и эксплуатировать любой качественный и долговечный инженерный объект (здание, дорогу, мост и т.п.).

Строительное материаловедение изучает огромный спектр различных природных и искусственных материалов, вырабатываемых в соответствующих специфических отраслях промышленности. Тем не менее, строительное материаловедение объединяет всё многообразие материалов в единую систему с общими научными принципами, методами и закономерностями. Такой системный подход позволяет прогнозировать появление новых, пока еще не открытых материалов с оставлением «вакантных» мест в соответствующих их классификациях (подобно таблице Д.И. Менделеева).

2.2. Основные свойства строительных материалов

Свойства материалов разделяют на четыре группы: механические, физические, химические и технологические.

Механические свойства отражают способность материалов сопротивляться силовым (от механических перегрузок), тепловым и усадочным напряжениям без изменения структуры материала.

Деформационные свойства характеризуют способность материала изменять первоначальные размеры, форму или объем тела без изменения массы под действием нагрузок или других воздействий (температура, влажность). Таким образом, деформация – изменение первоначальных размеров, объема или формы твердого или пластичного тела без изменения массы.

Главные виды деформаций растяжение, сжатие, сдвиг, кручение, изгиб (рисунок 1).

Все виды деформаций могут быть **обратимыми или необратимыми**.

Твердые тела по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя при этом свойства упругости или пластичности.

Упругость – свойство материала мгновенно восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия внешних сил. Наибольшее напряжение, при котором проявляется лишь упругая деформация, называют пределом упругости. К упругим материалам относятся природные и искусственные каменные материалы, стекло, сталь.

Пластичность – свойство материала необратимо деформироваться под действием внешних сил. К пластичным материалам относятся битумы при положительных температурах, глины в увлажненном состоянии, некоторые виды пластмасс, бетонные и растворные смеси до затвердевания.

Деформационные свойства строительных материалов обуславливаются релаксационными процессами.

Релаксацией называется процесс самопроизвольного падения внутренних напряжений в материале при условии, что образованная величина деформации остается неизменной, например, жестко зафиксированной.

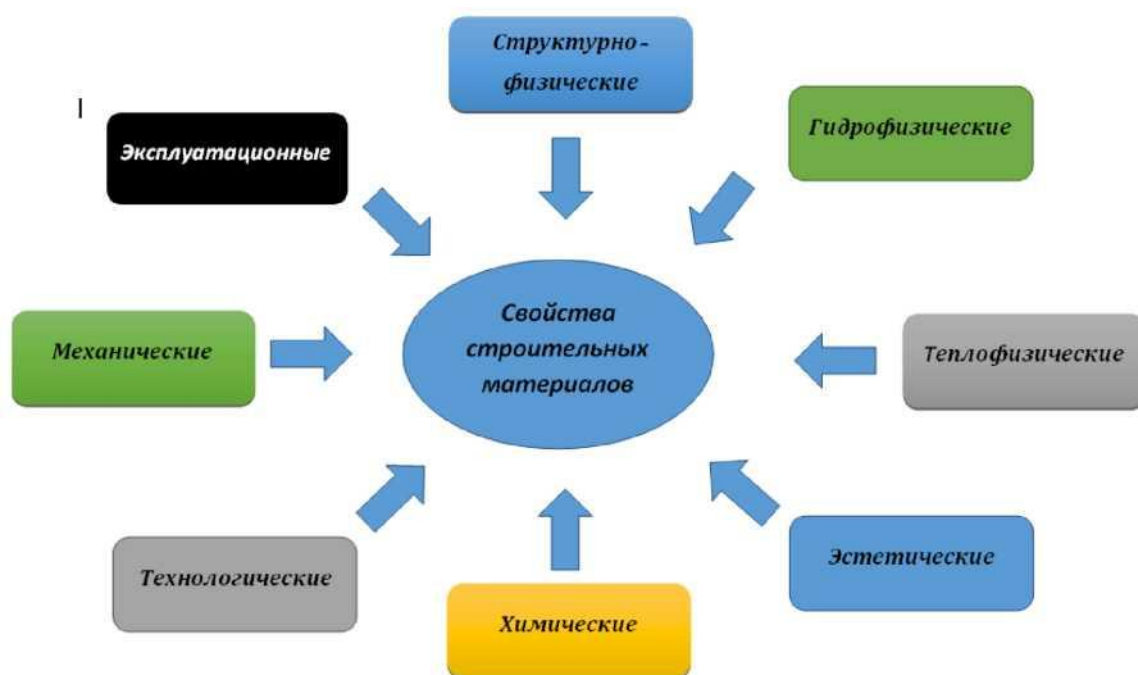


Рисунок 1 – Свойства дорожно-строительных материалов

Прочностные свойства.

Важным механическим свойством материалов является прочность, т.е. способность материала, не разрушаясь, сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под влиянием механических, усадочных, температурных или иных воздействий.

Типичными прочностными характеристиками являются: предел упругости, предел текучести, предел прочности.

Предел упругости (σ_e) – механическая характеристика материалов: напряжение, при котором относительное остаточное удлинение достигает некоторого значения, установленного техническими условиями (например, 0,001 или 0,03 %). Предел упругости ограничивает область упругих деформаций.

Предел текучести (σ_t) – механическая характеристика материалов: наименьшее напряжение, соответствующее состоянию текучести материала образца.

Предел прочности (σ_r) – механическая характеристика материалов: напряжение, соответствующее началу разрушения материала образца, вызываемое наибольшим усилием в нем и определяемое как отношение действующей силы к площади поперечного сечения образца.

Материал может резко терять свою прочность после приложения к нему циклической нагрузки. Это обусловлено усталостью материала – накоплением неотрелаксированных напряжений, вызывающих необратимые микродефекты в его структуре. Соответствующая прочность называется усталостной.

Предел прочности при изгибе образца прямоугольного сечения при одной сосредоточенной нагрузке в середине пролета определяют по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3F\ell}{2bh^2};$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; ℓ – расстояние между опорами, м;
 b, h – ширина и высота поперечного сечения образца, м.

Дополнительными характеристиками механических свойств могут служить: твердость, истираемость и ударная вязкость (динамическая прочность) материалов.

Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого, тела. Твердость природных каменных материалов оценивают шкалой Мооса, представленной 10 минералами.

Истираемость – способность материала уменьшаться в массе и объеме под действием истирающих усилий. Истирающему воздействию постоянно подвергаются покрытия автомобильных дорог от колес движущегося транспорта, полы и лестницы зданий от движения людей и т.п.

Истираемость (г/см^2) оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания и вычисляют по формуле:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{S},$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания.

Сопротивление материала истиранию определяют, пользуясь стандартными методами: кругом истирания и абразивами (кварцевым песком и наждаком).

Ударная вязкость (динамическая прочность) – способность материала сопротивляться сосредоточенным ударным нагрузкам. Определяется количеством работы, затрачиваемой на излом образца в фиксированном с помощью насечки месте.

Структура (от лат. *structura* – строение, расположение, порядок) – совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность, т.е. сохранение основных присущих ему свойств при различных внешних воздействиях и внутренних изменениях.

По методам изучения различают:

- макроструктуру – строение материала, видимое невооруженным глазом;
- микроструктуру – строение материала, видимое в микроскоп;
- ультрамикроструктуру – внутреннее строение вещества.

2.3. Определение и классификация свойств материалов

Строительные материалы можно классифицировать по различным признакам:

по функциональному назначению (конструкционные, теплоизоляционные, гидроизоляционные, разметочные и т.д.);

по происхождению – природные и искусственные. При этом различают их химическую природу (органические и неорганические). К природным относят каменные породы, гравий, песок и др.). Искусственные получают переработкой природного сырья (нефтяные дорожные битумы, щебень, керамические материалы, вяжущие и т.д.) или путем синтеза химических соединений (например, смолы, клеи);

по технологическим признакам различают три группы строительных материалов: безобжиговые (гипс, известь, битумы, эмульсии, пасты, цементобетоны и т.д.), обжиговые (клинкерные цементы, керамический кирпич, каменное литье, стекло, ситаллы) и автоклавного твердения.

Природные материалы получают непосредственно из недр земли или путем переработки лесных массивов в «деловой лес».

Древесные материалы – хвойные и лиственные – разделяются по ассортименту на круглые, пиленные и штучные изделия, а получаемые при переработке побочного продукта (стружка, опилки) также используются для производства плитных и других штучных изделий.

Каменные природные материалы и изделия классифицируют либо по генетическому признаку, либо техническим свойствам – средней плотности, прочности, морозостойкости. По химическому составу их подразделяют на кислые (например, SiO_2) и основные (например, CaCO_3).

Искусственные материалы имеют более обширную классификацию, учитывающую вид вяжущего (органические, неорганические, полимерные), а также технологию их получения (обжиговые, необжиговые).

Самостоятельную группу в классификации строительных материалов занимают металлические материалы.

На основе органических вяжущих (битумы, дегти, эмульсии) получают асфальто- и дегтебетоны, а также эмульсионно-минеральные смеси.

Полимерные вяжущие вещества (термопластичные, терморезистивные) являются важной матричной частью полимербетонов, строительных пластмасс, стеклопластиков и других, которые получили название «композиционные материалы».

Использование комплексных вяжущих веществ является основой для создания сложных бетонов (например, полимерцементные бетоны, силикатоплимерные бетоны и др.).

Обжиговый способ обработки исходных керамических веществ при высоких температурах формирует такие материалы как керамобетон, а на основе стекла – ситалл. Технология каменного литья позволяет получать очень прочные материалы (например, на основе горной породы – базальта получают базальтин).

В классификационной схеме строительных материалов в группе «искусственные» материалы могут быть зарезервированы «вакантные места» для еще не созданных новых строительных материалов. Например, вполне возможно появление «металлоцементобетонов» с использованием металлофибровой тонкодисперсной матрицы или песчаных асфальтобетонов на целлюлозно матричной основе.

В зависимости от порядка расположения атомов и молекул, материалы могут иметь строго упорядоченное строение - кристаллическое и неупорядоченное, хаотическое - аморфное. Кристаллическая структура образуется при очень медленном охлаждении расплавов, когда атомы (ионы) имеют возможность перемещаться в пространстве и занимать наиболее устойчивое положение. Линии, условно проведенные через центры атомов в трёх направлениях в таких структурах, являются прямыми и образуют так называемую кристаллическую решётку. Поэтому кристаллическими называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены в правильном геометрическом порядке в трёхмерном пространстве и образуют кристаллическую решётку (рисунок 2). Примером может служить металл, гранит, мрамор и др.

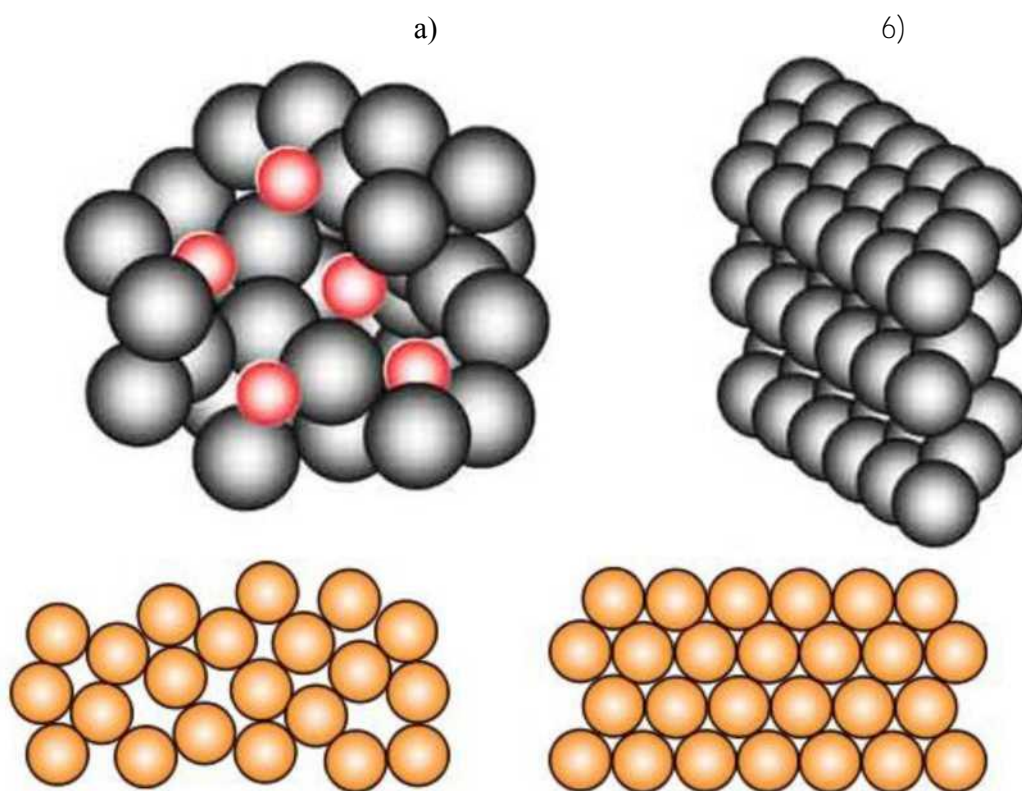


Рисунок 2 – Аморфная (а) и кристаллическая (б) структуры

Аморфная (бесформенная) структура образуется при быстром охлаждении расплавов, когда атомы при переходе в твёрдое состояние не успевают образовать кристаллическую решётку, а остаются вблизи тех положений, которые занимали в расплаве. Поэтому аморфными называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены беспорядочно (хаотически). Однако аморфная структура не является совершенно беспорядочной. Некое подобие порядка наблюдается в ближайшем окружении атомов. Кроме того, в отличие от кристаллического состояния веществ, аморфное является термодинамически неустойчивым (метастабильным). При определённых условиях (температура, давление, время) аморфные материалы могут перейти в кристаллические. Примером может служить система «стекло - ситалл». По прошествии некоторого времени аморфные вещества тоже переходят в кристаллические. Однако время это может быть весьма значительным и измеряться годами и десятилетиями.

2.4 Физические, физико-химические и реологические свойства материалов

К физическим свойствам относятся свойства, связанные со строением и физическим состоянием материала, например, плотность (истинная, средняя, насыпная) (таблица 1), свойства, связанные с отношением материала к воде (водопоглощение, водонасыщение, влажность, гигроскопичность, водонепроницаемость, водостойкость, морозостойкость), свойства, связанные с отношением материала к действию тепла и изменению температуры окружающей среды (теплопроводность, теплоемкость, термостойкость, огнестойкость, огнеупорность), а также к звуковым волнам, действию химических реагентов.

Истинная плотность (часто просто плотность) ρ_i – плотность того вещества, из которого состоит материал. При расчете этой характеристики объем материала вычисляют без пор и пустот, т.е. в абсолютно плотном состоянии.

Средняя плотность ρ_0 – плотность материала, когда при ее расчете берется его полный объем (V_0) в естественном состоянии, включая поры и пустоты.

Относительная плотность – это степень заполнения объема материала плотным веществом (φ). Величина φ характеризует структуру материала и равна отношению средней плотности к истинной:

$$\varphi = \frac{\rho_0}{\rho_i}.$$

Насыпная плотность ρ_n – отношение массы свободно насыпанного сыпучего рыхлого зернистого материала (песка, гравия, щебня), в том числе материала в виде порошка (цемент, известь, минеральный порошок для асфальтобетона) с учетом пор и межзерновых пустот, ко всему занимаемому им объему

Пористость – степень заполнения объема материала порами.
Пористость можно рассчитать по следующей формуле

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_u}\right) 100.$$

Таблица 1 - Плотность дорожно-строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м	
	истинная	средняя (насыпная)
Сталь	7850 - 7900	7800 (7850)
Гранит	2700 - 2800	2600 (2700)
Мрамор	2700 - 2730	2600 (2700)
Бетон тяжёлый ячеистый	2600 - 2900	2200 (2500)
	2500 - 2600	350 (1200)
Кирпич полнотелый пустотелый	2600 - 2700	1700 (1900)
	2600 - 2700	1450 (1600)
Древесина сосны	1540	450 (500)
дуба	1540	700
Пенополистирол	1000 - 1200	50 (150)
Песок	2500 - 2600	1500 (1700)
Гравий	2500 - 2600	1500 (1700)
Щебень	2600 - 2700	1350 (1450)
Керамзит	2650	350 (600)
Цемент	3050 - 3150	900 (1300)
Пеностекло	2500	200 (400)

Пустотность. Пустоты в рыхлых насыпных материалах (межзерновое пространство) значительно крупнее пор. Поры обычно заполнены воздухом или водой, тогда как вода в пустотах не задерживается (быстро испаряется или стекает). Расчет пустотности производят по формуле

$$Пуст. = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_0 \cdot 1000}\right) 100,$$

где ρ_n – насыпная плотность выражена в кг/м³;

ρ_0 – средняя плотность, измеряется в г/см³.

Водопоглощение – способность открытых пор материала поглощать воду в течение определенного времени при обычном давлении и температуре. Полному и быстрому заполнению открытых пор препятствует находящийся в них воздух.

водопоглощение по массе (W_m) определяется как отношение массы поглощенной воды к массе сухого материала

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%$$

где m_1 – масса сухого материала, m_2 – масса насыщенного водой материала.

водопоглощение по объему (W_V) определяется как отношение массы поглощенной воды к объему сухого материала (V):

$$W_V = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100\%$$

Водонасыщение – определяется количеством воды, которое может поглотить материал при вакууме или повышенном давлении. При этом из открытых пор полностью вытесняется воздух и они целиком заполняются (насыщаются) водой.

Гигроскопичность – способность капиллярно-пористого материала поглощать влагу из окружающего влажного воздуха или парогазовой смеси. Степень поглощения воды или паров, которые частично конденсируются в порах и капиллярах материала, зависит от относительной влажности и температуры воздуха.

Влажность – содержание влаги в материале (естественная влажность в данный конкретный момент), отнесенная к массе материала в сухом состоянии (%):

$$W_{\text{вл}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100,$$

Водопроницаемость (или водонепроницаемость) – способность материала пропускать (или не пропускать) воду под давлением. Это свойство материала характеризуют коэффициентом фильтрации K_f (м/ч).

$$K_f = \frac{V_e \cdot a}{S(\rho_1 - \rho_2) \cdot t'}$$

где V_e – количество воды (м³), проходящей через стенку площадью $S=1$ м², толщиной $a=1$ м за время $t'=1$ ч при разности гидростатического давления на границах стенки $p_1 - p_2 = 1$ м водного столба. Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости.

Усадка (усушка) – уменьшение размеров материала при его высыхании. Этот процесс вызывается уменьшением толщины пленок воды, окружающих частиц материала и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала.

В таблице 2 представлены значения усадки некоторых строительных материалов.

Таблица 2 - Усадка строительных материалов

Материал	Усадка, мм/м
Древесина поперек волокон	30...100
Ячеистый бетон	1...3
Тяжелый бетон	0,02...0,06
Строительный раствор	0,5...1
Кирпич	0,03...0,1

Набухание (разбухание) – увеличение объема материала после водопоглощения. Причина этого явления состоит в том, что полярные молекулы воды, проникая в полости между частицами или волокнами материала, как бы «расклинивают» их и при этом утолщаются гидратные оболочки вокруг частиц.

Морозостойкость – свойство насыщенного водой материала выдерживать попеременное замораживание – оттаивание.

Теплопроводность – свойство материала передавать тепловой поток через свою толщину. Это свойство является главным для теплоизоляционных материалов, а также очень важным для устройства теплотехнических и дорожных одежд автомобильных дорог.

Теплоемкость – это способность материала аккумулировать теплоту при нагревании и выделять ее при остывании.

Термическая стойкость – это свойство материала не растрескиваться при резких и многократных изменениях температуры. Она зависит от степени однородности материала и от способности каждого компонента к тепловому расширению, что оценивается температурным коэффициентом линейного расширения.

Огнестойкость – это способность материала не гореть. По степени огнестойкости – способности противостоять действию высоких температур, развивающихся в условиях пожара (до 1000 °С) материалы могут быть:

Огнеупорность – способность материала противостоять, не расплавляясь, действию высоких температур.

Акустические свойства материалов – свойство материалов поглощать или проводить звук сквозь свою толщину.

Постепенное или быстрое изменение структуры и ее разрушение под влиянием агрессивных химических и электрохимических процессов в материале называют коррозией.

Растворимость – способность вещества в смеси с одним или несколькими другими веществами образовывать однородные устойчивые системы – растворы (например, раствор солей в воде).

Кристаллизация – процесс образования кристаллов из паров, растворов, расплавов, т.е. переход из одного состояния (в основном, газообразного, жидкого) в другое – твердое.

Коррозионная (химическая) стойкость – свойство материала сопротивляться коррозионному воздействию химически активной жидкости, газообразной среды или физических воздействий в виде облучения, электромагнитных полей.

Удельная поверхность – суммарная поверхность всех частиц единицы массы порошкообразного материала (см²/г).

Атмосферостойкость – способность органических вяжущих (битумов, дегтей, смол) и материалов на их основе (например, пластмасс, мастик, асфальтобетона, гидроизоляционных и теплоизоляционных материалов) не разрушаться под действием атмосферных факторов внешней

среды: температуры и влажности воздуха, солнечной радиации, осадков, различных газов.

Технологические свойства. Технологические свойства выражают способность материала к восприятию технологических операций (переделов), выполняемых с целью изменения его формы, размеров, характера поверхности, плотности и др. Эти свойства определяются числовыми значениями или визуальным осмотром с оценкой способности материала к формуемости (жесткие, пластичные и литые смеси), раскальваемости, шлифуемости, полируемости, дробимости, гвоздимости (удерживанию гвоздя при силовых воздействиях) и другим показателям технологических качеств. Для оценки этих специфических свойств разработаны и, как правило, стандартизированы методы и приборы, обусловлены определенные температурные параметры и режимы для испытаний, скорости нагружения образцов и т.п.

Долговечность – свойство материала конструкции сохранять свою структуру и свойства в течение нормативного времени работы этой конструкции.

2.5. Основы стандартизации и сертификации материалов

Для оценки качества строительных материалов большое значение имеет знание их механических, физических, химических и технологических свойств. Сравнение (сопоставление) фактических значений этих свойств с требуемыми, которые указаны в государственных или отраслевых стандартах, объективно дает представление о качестве строительных материалов.

Стандарты на отдельные виды материалов и изделий периодически обновляются по мере развития соответствующих наук и технологий производства. Поэтому одной из приоритетных общих задач повышения качества материалов является применение новых прогрессивных стандартов. На втором месте стоит задача обеспечения получения структур материалов высокого качества.

Как известно, все строительные материалы характеризуются микро- и макроструктурой, которые в совокупности представляют единую монолитную структуру композиционного строительного материала.

2.6. Повышение качества материалов

Как установлено, структура материала может быть оптимальной и неоптимальной (по И.А.Рыбьеву).

Оптимальной называют структуру, если:

- частицы в ней распределены равномерно по объему;
- отсутствуют (или имеются в незначительном количестве) дефекты структуры;
- все частицы покрыты непрерывной пленкой вяжущего необходимой толщины.

В случае, когда в материале нет вяжущей прослойки, условием оптимальности структуры является максимальная поверхность контактирования и взаимосвязи частиц твердой фазы.

Неоптимальными структурами называют структуры, в которых отсутствует хотя бы одно из вышеуказанных обязательных условий.

Материалы с оптимальной структурой отличаются улучшенными показателями качества по сравнению с материалами с неоптимальной структурой.

И.А.Рыбьевым предложен универсальный метод проектирования оптимальных составов и структур искусственных строительных материалов.

В основе этого метода лежат общие научные принципы создания оптимальных структур, суть которых сводится к следующему:

- достижение наиболее плотной упаковки полидисперсных частиц в объеме;
- обеспечение непрерывности вяжущего вещества на дисперсных твердых частицах или наиболее развитых поверхностях контакта между частицами твердой фазы;
- достижение минимального значения отношений массы жидкой среды к массе твердой фазы (обеспечение пленки вяжущего требуемой толщины);
- приближение проектного состава смеси к реальной технологии ее изготовления;
- придание смеси реологического состояния, соответствующего реальным технологическим параметрам и режимам;
- соблюдение стадийности проектирования состава смесей и возможность внесения оперативных поправок в производственных условиях.

Основными задачами в общей программе повышения качества дорожно-строительных материалов являются следующие:

Разработка промышленных активационных методов и устройств для повышения качества песков, минеральных порошков, цементов, битумов, битумных эмульсий, с использованием модифицированных материалов, позволяющих резко повысить сроки службы дорожных сооружений и снизить стоимость этих объектов (особенно при широком применении местного сырья и техногенных отходов производства).

Организация широкого производства щебня кубовидной формы узких фракций для устройства защитных слоев, тонкослойных асфальтобетонных и бетонных покрытий, бетонных конструкций мостовых сооружений.

Совершенствование работы производственных предприятий дорожной отрасли (АБЗ, ЦБЗ, полигоны, базы), основанное на полной автоматизации технологических процессов, позволяющей производить динамическое регулирование всех параметров и на этой основе оптимизировать производство выпускаемых смесей по любой целевой функции, например, минимизации энергопотребления. Для выполнения такой работы должна быть разработана система энергетического аудита на указанных выше производственных предприятиях.

Разработка технологий получения и применения эмульсионных композиций для защиты от коррозии бетонных дорожных и мостовых конструкций.

Максимальная экономическая эффективность конгломератов оптимальной структуры устанавливается расчетными данными, в частности, путем сравнения приведенных затрат при оптимальной и неоптимальной структурах.

2.7. Природные каменные материалы

Природными каменными материалами называют материалы, полученные из различных горных пород путем их механической обработки (дроблением, раскалыванием, пилением, шлифовкой, плавлением и т.п.). В результате такой обработки природные каменные материалы почти полностью сохраняют физико-механические свойства горной породы, из которой они были получены, без изменения первоначального химического состава. Изменяются лишь форма частиц (при дроблении), степень обработки поверхности (при шлифовании) и некоторые другие внешние качества.

Некоторые горные породы (песок, глина, гравий (рисунок 3)) применяют без специальной механической обработки.



Рисунок 3 - Гравий

Каменные материалы очень прочны, долговечны, огнестойки и, как правило, являются местным строительным материалом. В наше время для возведения несущих конструкций (стен, колонн, арок, куполов и др.) тяжелые плотные каменные материалы не применяются. Но, тем не менее,

они широко используются в современном строительстве: при возведении дорог и аэродромов, мостов, гидротехнических сооружений, для облицовочных работ; пористые каменные материалы применяются в конструкциях стен промышленных, общественных и гражданских зданий; для производства искусственных каменных материалов, минеральных вяжущих.

С появлением искусственных каменных материалов (бетона, керамического и силикатного кирпича и др.) роль природного камня (как объемно-штучного материала) в строительстве значительно изменилась. Его используют главным образом в качестве заполнителя в строительных и дорожных бетонах; как сырье для получения вяжущих веществ; минеральной ваты, как теплоизоляционной облицовки зданий; как местный строительный материал для кладки стен; как балластный слой при строительстве железных дорог; как фильтрующий материал при устройстве дренажей.

Каменный материал является основным исходным сырьем при производстве таких материалов, как портландцемент, известь, гипс, стекло и др.

Практикой установлено, что местные каменные материалы даже низких классов по прочности, водо- и морозостойкости могут и должны быть применены для строительства дорог. Но применение материалов, не допускаемых ТНПА для данной конструкции, возможно только при условии, что при проектировании дороги и дорожной одежды будут учтены их недостатки, а также проведены дополнительные мероприятия, которые или улучшат их свойства, или создадут более благоприятные условия для работы данного материала в дорожной конструкции.

Необходимо помнить, что любой каменный материал может найти применение в дорожном строительстве, если он правильно запроектирован и проведены соответствующие мероприятия по его улучшению.

2.8. Горные породы: определение, классификация и состав

Горными породами называют плотные или рыхлые природные агрегаты минералов.

Минералы – однородные по химическому составу и физическим свойствам природные тела.

Горные породы, состоящие из одного минерала, называются мономинеральными (например, мрамор), из нескольких – полиминеральными (например, гранит – сложный агрегат полевого шпата, кварца и слюды).

К настоящему времени изучены более 3000 минералов, но в образовании горных пород участвуют только около 50 минералов, которые называют породообразующими.

Минералы находятся в основном в твердом состоянии и обладают преимущественно кристаллическим строением (лишь небольшая часть имеет аморфную структуру).

Каждый минерал имеет определенный химический состав и строение, от которых зависят его форма и свойства (плотность, твердость, спайность, излом, окраска, блеск).

Плотность минералов зависит от их химического состава. Наибольшее распространение имеют минералы с плотностью от 2 до 4 г/см³. Числовая величина плотности имеет практическое значение при оценке качества минерального сырья.

Твердость минералов характеризует их поверхностную прочность. Существует десятибалльная шкала твердости Мооса, в которой в качестве эталона принята твердость 10 минералов, расположенных по возрастающей твердости.

Спайность – способность минералов раскалываться по определенным направлениям с образованием гладких зеркальных поверхностей – плоскостей спайности. Одни минералы легко расщепляются на тончайшие пластинки (например, слюда), у других это свойство проявляется плохо или совсем отсутствует. Спайность совместно с показателем твердости способствует предварительной оценке механических свойств материалов.

Излом – характеристика неровной поверхности раскола минерала. Различают виды раскола: ровный, ступенчатый, раковистый.

Окраска – важный диагностический признак минералов, имеет большое значение для декоративной характеристики природного камня. Окраска зависит от присутствия красящих компонентов в составе минерала, в частности, хрома, железа, марганца и др.

Блеск возникает в результате отражения световых лучей от поверхности минерала и имеет важное диагностическое значение, одновременно является характеристикой декоративных или ювелирных достоинств минерала.

В зависимости от химического состава минералы делятся на следующие основные классы: силикаты, оксиды, карбонаты, сульфаты.

Классификация горных пород.

Известно около 1000 видов горных пород. По происхождению (генезису) они делятся на три группы:

- изверженные (магматические);
- осадочные;
- метаморфические (видоизмененные).

Каждая из групп делится, в свою очередь, на подгруппы, в каждой из которых представлены основные виды горных пород.

2.9. Нескальные горные породы: понятие, состав, классификация

Песок – рыхлая зернистая порода, образовавшаяся в результате естественного разрушения горных пород, крупностью зерен до 5 (3) мм (рисунок 4). В песке иногда имеются частицы мельче 0,14 мм, которые называют пылевидными (0,14...0,005 мм) и глинистыми (мельче 0,005 мм). В зависимости от минерального состава различают пески: кварцевые (кварца более 90%), кварцево-полевошпатовые, полевошпатовые (полевых шпатов более 90%), кварцево-слюдистые (с содержанием чешуек слюды свыше 10%), глауконитовые (с примесью железистых соединений), ракушечные, содержащие значительное количество обломков ракушек, гумозные (с

содержанием органических соединений более 0,5%) и др. Наиболее прочными являются кварцевые пески.



Рисунок 4 - Песок

Форма и характер поверхности зерен песка зависит от условий образования: речной, озерный, морской, дюнный пески состоят из частиц округлой формы с гладкой поверхностью; ледниковый и овражный пески – из частиц угловатой формы с шероховатой поверхностью. Пески имеют истинную плотность около 2650 кг/м³, насыпную плотность от 1400 до 1800 кг/м³ и пустотность в пределах от 25 до 50 %.

Глина – тонкодисперсный землистый материал, более чем на 50 % сложенный из частиц размером менее 0,01 мм, причем не менее чем 25 % из них имеют размеры менее 0,001 мм. Глины образовались при разрушении самого распространенного минерала – полевых шпатов.

Глины находят большое применение: они являются основным сырьем при производстве керамических материалов, как компонент сырьевой смеси при производстве цементов.

Сцементированные механические осадочные породы образовались из рыхлых залежей под действием минерализованных вод и давления вышележащих слоев. К ним относятся породы: песчаники, брекчии, конгломераты.

Песчаники состоят из зерен кварцевого песка, сцементированного природным цементом, например, карбонатом кальция CaCO₃, водным кремнеземом SiO₂·nH₂O, гипсом CaSiO₄·2H₂O и др. В зависимости от цементирующего вещества песчаники называют известковыми, кремнистыми и т.д. Цвет их зависит от цвета цементирующего вещества.

Наибольшее применение в строительстве получили известковые и кремнистые песчаники. Известковые песчаники легче обрабатываются, их плотность составляет 1800...2400 кг/м³, прочность при сжатии от 20 до 100 МПа.

Кремнистые песчаники более стойкие и прочные, их плотность составляет 2300...2600 кг/м³, прочность – 100...200 МПа, иногда выше.

Песчаники используют для фундаментов, стен неотапливаемых зданий, подпорных стенок, тротуаров, особо стойкие – для облицовок; кроме того, их используют для изготовления щебня для бетона, штучных камней для дорожного строительства.

2.10. Материалы, получаемые дроблением и обжигом. Дисперсные материалы

Искусственные заполнители – сыпучие материалы, полученные термической обработкой силикатного сырья.

Искусственные заполнители подразделяются на:

- пористые (керамзит, аглопорит, вспученный перлит и др.);
- плотные (керамдор, литой шлаковой щебень).

Керамзит – искусственный пористый материал, полученный из глины или глинистых сланцев, способных вспучиваться при температуре обжига 1100...1200°С (рисунок 5).

Глины, из которых получают керамзит, содержат: 16...25 % оксидов алюминия, 6...12 % оксидов железа, 2...3 % щелочных оксидов и до 3 % органических примесей.



Рисунок 5 - Керамзит

В результате обжига шихты во вращающейся печи получают керамзитовый гравий следующих фракций: 5...10; 10...20; 20...40 мм. Керамзитовый песок (менее 5 мм) получают обжигом мелких фракций или дроблением и рассевом керамзитового гравия. Его зерна имеют округлую

или эллипсоидную форму, оплавленную поверхность и пористую ячеистую структуру. Это легкий, прочный и морозоустойчивый материал с хорошими теплоизоляционными свойствами.

Ведущим показателем качества керамзита является его малая насыпная плотность: от 250 до 600 кг/м³. Предел прочности при сжатии находится в интервале от 0,6 до 3 МПа.

Используется керамзитовый гравий для получения легких цементных бетонов, а также в качестве тепло- и звукоизоляционных засыпок в конструкциях зданий.

Аглопорит – искусственный пористый материал, получаемый спеканием топливосодержащего сырья (шихты) в результате его послойного обжига в агломерационных машинах при температуре 1050...1300°С (рисунок 6).

Спекание происходит при горении топлива в слое сырья с интенсивным просасыванием воздуха через него.



Рисунок 6- Аглопорит

В качестве сырья используют глину, суглинок, супесь и другие материалы, в которые вводятся для вспучивания горючие добавки - древесные опилки и дробленый (до 5 мм) каменный уголь (до 8...15 %), нефть. Если сырье сухое – добавляется вода.

Шихта слоем 200...300 мм загружается на конвейерную колосниковую решетку агломерационной машины. К верхнему слою подводят горелку (горн), одновременно обеспечивая просос воздуха через слой шихты. При этом шихта подсушивается и когда она подогрывается до температуры воспламенения топлива, начинается его горение и температура в слое достигает 1400...1600 оС. При этом происходит контактное спекание между зернами, а горение переходит в нижележащий слой. Образуется аглопоритовый

корж. Последний подвергается дроблению на щебень, а при необходимости и сортировке с рассевом на фракции.

Основное количество пор аглопорита – это крупные сообщающиеся поры (пути просасывания воздуха) диаметром 0,5...2 мм.

Аглопоритовые щебень и песок применяют в качестве заполнителей легких бетонов. Прочность аглопоритобетона несколько выше, чем керамзитобетона, при одинаковой средней плотности. Поэтому аглопорит целесообразно применять для облегченных конструктивных бетонов.

Аглопоритобетон с пределом прочности 20...30, а иногда и до 50 МПа, идет на изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций перекрытий больших пролетов, ферм, мостовых пролетных строений. Замена в этих конструкциях тяжелого бетона легким аглопоритобетоном значительно повышает их эффективность.

2.11. Способы улучшения качества дисперсных материалов

Следует отметить, что большинство природных каменных материалов не могут в естественном состоянии, без применения специальных методов их улучшения, использоваться для целей дорожного строительства. Например, во всех песках наблюдается недостаток фракций 1,25-5,0 мм и избыток фракций 0,315-1,25 мм. Это приводит к тому, что при приготовлении асфальтобетонных смесей очень трудно получить зерновой состав минеральной части, удовлетворяющий требованиям максимальной плотности. В связи с тем, что улучшение гранулометрического состава песков путем их отсева на отдельные фракции и последующего смешивания в других пропорциях в производственных условиях пока неосуществимо, приходится прибегать к увеличению расхода минерального порошка или добавлять в песок отсева дробления горных пород.

Зерновые составы песчано-гравийных смесей почти всех белорусских месторождений также не отвечают требованиям максимальной плотности и нуждаются в дополнительных затратах на их обогащение. Гравийный материал в своем естественном виде не всегда может использоваться для устройства оснований для дорожных одежд и приготовления асфальтобетонных смесей, так как во многих случаях не соответствует своему назначению по зерновому составу, часто содержит зерна слабых пород и имеет загрязненную поверхность. Поэтому возникает необходимость в сортировке по зерновому составу, дроблении крупных фракций, обогащении по прочности, мойке и активации поверхности.

Существенное влияние на свойства каменных материалов могут оказывать технологические факторы, в частности, процесс их высушивания и нагрева в сушильных барабанах при приготовлении асфальтобетонных смесей. При определенных условиях нагрев каменных материалов до технологических температур может приводить к значительному уменьшению их прочности. Основная причина этого явления – возникающие при нагреве температурные напряжения.

2.12 Неорганические (минеральные) вяжущие материалы

Неорганическими вяжущими веществами называют тонкоизмельченные порошкообразные минеральные материалы, которые при затворении водой (или водными растворами некоторых солей) образуют пластичное тесто, способное со временем затвердевать под влиянием внутренних физико-химических процессов и переходить в камневидное состояние.

Неорганические вяжущие вещества являются продуктами обжига определенного минерального сырья.

В зависимости от условий твердения вяжущего и области применения, различают воздушные, гидравлические вяжущие вещества, а также вещества автоклавного твердения.

2.13 Определение, классификация. Общие требования к минеральным вяжущим материалам

Воздушные вяжущие вещества.

Эти вяжущие вещества, будучи смешаны с водой, могут твердеть и длительно сохранять прочность только в воздушно-сухой атмосфере.

К воздушным вяжущим относятся: воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие, а также жидкое стекло, которое, как исключение из общего числа вяжущих, не относится к порошкообразным материалам.

Гипсовые вяжущие вещества.

Гипс, как воздушная известь, известен давно. Так, например, пирамида Хеопса в Египте (одно из семи чудес света) была построена более 4100 лет назад. Ее каменные блоки скреплялись гипсовым раствором.

Классификация гипсовых вяжущих веществ и их свойства

Гипсовые вяжущие вещества подразделяются на строительный гипс и ангидритовые вяжущие вещества.

Основными свойствами гипсовых вяжущих, определяющими их качество, являются: водопотребность, сроки схватывания, тонкость помола и прочность при сжатии и изгибе.

Гидравлические вяжущие вещества

Эти вяжущие вещества способны в тестообразном состоянии твердеть и длительно сохранять прочность не только на воздухе, но и в воде. В начальный период твердения требуется, чтобы изделие, в котором использовалось гидравлическое вяжущее, находилось во влажной среде. Влага необходима для протекания химических реакций, формирующих кристаллическую структуру материала изделия.

Когда влажность окружающей среды достаточна, гидравлические вяжущие повышают свою прочность длительное время (месяцы и годы). Поэтому, в отличие от воздушных, гидравлические вяжущие могут применяться в наземных, подземных, гидротехнических и других сооружениях, подверженных воздействию водной среды.

К гидравлическим вяжущим относятся: портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент, пуццолановые и шлаковые смешанные цементы, а также гидравлическая известь и роман-цемент.

2.14. Портландцемент

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, изготовленное путем совместного тонкого измельчения клинкера и необходимого количества гипса и некоторых добавок.

Клинкер получают путем обжига до спекания (1450...1500 °С) сырьевой смеси требуемого состава.

В качестве минерального сырья применяют известняковые породы и глину (известняки, мрамор, мергели, глины с высоким содержанием частиц размером менее 0,005 мм).

К клинкеру при помоле добавляют гипсовый камень в количестве 1,5...3,5 % от массы цемента для регулирования его сроков схватывания.

Химический состав портландцемента

Портландцемент характеризуется постоянством химического состава.

Содержание оксидов изменяется в небольших пределах (%):

CaO – 63...67

SiO₂ – 21...24

Al₂O₃ – 4...7

Fe₂O₃ – 2...5

MgO – не более 5

SO₃ – не менее 1,5 и не более 3,5.

Сырьевые материалы. В природе редко встречаются горные породы, химический состав которых после обжига соответствовал бы требуемому химическому составу портландцемента. Поэтому при получении портландцемента сырьевую смесь составляют из двух и более исходных компонентов.

В качестве основных сырьевых материалов, с которыми в приготовленный клинкер вводится оксид кальция CaO, применяют все виды известняков и мела. Вторым компонентом является глина, с которой вводится кремнезем SiO₂, глинозем Al₂O₃ и оксид железа Fe₂O₃. Практически, в совокупности, CaO, а также указанные компоненты и определяют образование основных клинкерообразующих минералов.

Производство портландцемента. Производство портландцемента состоит из следующих технологических операций:

- приготовление сырьевой смеси и подготовка ее к обжигу;
- обжиг смеси заданного состава и получение клинкера;
- охлаждение клинкера и его помол.

В зависимости от вида подготовки сырьевой смеси для ее обжига существует два способа производства портландцементного клинкера: мокрый и сухой. Выбор способа определяется главным образом качеством сырья.

Схватывание и твердение портландцемента.

При затворении цемента водой начинают протекать сложные физико-химические процессы. Вначале образуется пластичная масса, которая начинает уплотняться и густеть – этот период называется началом схватывания. Затем загустевшая масса утрачивает пластическую консистенцию и постепенно переходит в твердое тело – этот период времени определяет конец схватывания цемента.

Свойства портландцемента.

Строительно-технические свойства портландцемента характеризуются оценочными показателями, относящимися к различным состояниям этого материала: в виде порошка, теста, цементного камня.

Свойства цементного порошка.

К этим свойствам относятся плотность и тонкость помола портландцемента.

Свойства цемента в тесте.

Цементным тестом называют смесь цемента с водой. Такие свойства цемента, как сроки его схватывания, равномерность изменения объема цементного теста при твердении и другие, определяют на тесте унифицированной консистенции, т.е. на тесте нормальной густоты.

Нормальную густоту цементного теста определяют при помощи прибора Вика (рисунок 8). Для этого приготавливают цементное тесто с некоторым количеством воды. Тесто закладывают в кольцо прибора. В конец подвижного стержня вставляют пестик и дают возможность стержню с пестиком свободно погружаться в тесто.



Рисунок 8 - Прибор Вика

Нормальной густотой теста считается такая густота, при которой пестик не доходит до пластинки, на которой установлено кольцо, на 5...7 мм. Для портландцемента нормальная густота находится в пределах 25...30 % воды от массы цемента (так называемая водопотребность).

Начало и конец схватывания теста нормальной густоты также определяют на приборе Вика, но по глубине проникания иглы. Начало схватывания должно наступать не ранее, чем через 45 мин, конец – не позднее 10 ч от начала затворения.

Свойства цемента в камне.

Равномерность изменения объема при твердении

Это одно из главных свойств цемента. В основном все цементы при твердении незначительно изменяют свой объем. При значительном и неравномерном изменении объема затвердевшего камня цемент считают непригодным для строительных целей, особенно при изготовлении бетонных и железобетонных изделий.

Прочность цементного камня.

Это свойство портландцемента условно определяют по показателю предела прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек размером 40×40×160 мм, приготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 (цемент : песок) стандартной консистенции при водоцементном отношении В/Ц = 0,4. Образцы вначале выдерживают на воздухе (1 сутки), а затем в воде – 27 суток. Через 28 суток балочки испытывают на изгиб, а образовавшиеся при этом половинки балочек – на сжатие.

Разрушающее напряжение или предел прочности при изгибе $R_{изг}$ при действии сосредоточенной силы в середине пролета вычисляют по формуле (МПа):

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2},$$

где P – разрушающая (максимальная) нагрузка (Н);

l – расстояние между центрами опор, см;

b и h – ширина и высота сечения образца, см.

Разрушающее напряжение или предел прочности при осевом сжатии $R_{сж}$ вычисляют по формуле (МПа):

$$R_{сж} = \frac{P}{bh}.$$

Среднее арифметическое – величина предела прочности при сжатии, определенное по четырем наибольшим значениям, называется активностью цемента.

Марку цемента устанавливают по значениям предела прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек размером 40×40×160 мм (таблица 3). Если один из них ($R_{сж}$ или $R_{изг}$) меньше указанного в табл. 14.1, то цемент относят к меньшей марке. Например, при испытании получили значение $R_{сж} = 38$ МПа, и $R_{изг} = 5,9$ МПа. Следовательно, цемент относят к марке 400 (а не 500).

Таблица 3 - Марки цемента

МАРКА	ПЦ300	ПЦ400	ПЦ500	ПЦ550	ПЦ600
R28 при сжатии кгс/см ² (МПа), не менее	300 (29,4)	400 (39,2)	500 (49,0)	550 (53,9)	600 (58,8)
R28 при изгибе кгс/см ² (МПа), не менее	45 (4,4)	55 (5,5)	60 (5,9)	62 (6,1)	65 (6,4)

Специальные виды портландцемента

Для инженерных конструкций, работающих в различных эксплуатационных условиях, требуется производство особых видов цемента, в наибольшей мере отвечающих поставленной цели. Было установлено, что достигнуть этого можно путем изменения минералогического состава цемента, тонкости помола, введения различных добавок и пр., то есть путем создания специальных видов портландцемента.

К специальным портландцементом относятся:

- быстротвердеющий (БТЦ);
- пластифицированный
- гидрофобный;
- сульфатостойкий
- дорожный
- белый и цветные

Пуццолановые портландцементы.

Пуццолановый портландцемент – гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом портландцементного клинкера, активных минеральных добавок (20...50 %) и природного гипса. Гипса должно

Пуццолановые портландцементы имеют следующие преимущества и недостатки по сравнению с обычным портландцементом.

Преимущества:

- более высокая водостойкость цементного камня;
- пониженное тепловыделение при схватывании и твердении;
- повышенная стойкость к отдельным видам коррозии (в частности, к сульфатной);
- более высокая водонепроницаемость;
- более низкая себестоимость.

Недостатки:

- повышенная водопотребность;
- замедленное нарастание прочности бетона во времени (особенно при твердении на воздухе);
- пониженная морозостойкость.

Тонкость помола и сроки схватывания пуццоланового портландцемента такие же, как у портландцемента.

Шлакопортландцемент (ШПЦ).

Шлакопортландцемент – это гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого помола портландцементного клинкера (до 40 %), доменного гранулированного шлака (30...60 %) и гипса (до 3 %). Его можно также получать тщательным перемешиванием тех же материалов, измельченных отдельно.

Этот вид цемента является разновидностью пуццоланового, тонкость помола, как у портландцемента.

Шлакопортландцемент дешевле, чем обычный портландцемент примерно на 20 %, в то время как свойства их достаточно близки.

Шлакопортландцемент применяют для бетонных и железобетонных подземных, надземных и подводных сооружений, подвергающихся действию пресных и минерализованных вод, а также для внутримассивного бетона гидротехнических сооружений. Шлакопортландцемент более низких марок может быть использован для строительных растворов, а более высоких марок – для производства бетонных и железобетонных сборных конструкций с применением тепловлажностной обработки.

Глиноземистые (алюминатные) цементы.

Глиноземистый цемент – это быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество. Оно образуется тонким измельчением клинкера, получаемого обжигом до спекания сырьевой смеси из известняка и глиноземистого сырья (например, бокситов – $Al_2O_3 \cdot nH_2O$), содержащего до 50 % Al_2O_3 , до 45 % CaO , до 15 % SiO_2 , до 15 % Fe_2O_3 и других оксидов (железа, магния и др.).

Глиноземистый цемент в 3...4 раза дороже портландцемента. Поэтому его следует применять только в следующих основных двух случаях:

- 1) когда портландцемент не обеспечивает требуемой долговечности бетонных и железобетонных сооружений;
- 2) требуется быстрый ввод сооружений в эксплуатацию (аварийные, срочные работы, зимнее бетонирование), что обеспечивает быстрый темп нарастания прочности глиноземистого цемента.

2.15. Бетоны на основе неорганических вяжущих материалов

Как отмечают ученые, в XXI веке по-прежнему бетон остается одним из наиболее перспективных строительных материалов. Например, во многих странах мира применение бетона в 10 раз превосходит использование строительных сталей.

Почему бетон стал популярен, так широко применяется в промышленном, жилищно-коммунальном, дорожном, гидротехническом и аэродромном строительстве?

Для объяснения этого можно выделить следующие главные причины:

- 1) бетон – универсальный строительный материал;
- 2) существует возможность рационального объединения в одном

конструктивном решении бетона и стали, взаимно дополняющих друг друга (такой композитный материал традиционно обозначают термином «железобетон»);

3) применение бетона позволяет создавать самые различные архитектурно-строительные конструкции и формы;

4) применение бетона позволяет круглогодично возводить инженерные сооружения в сборном или монолитном виде при относительно невысокой стоимости;

5) бетон по сравнению с деревом и большинством сталей обладает стойкостью по отношению к воздействию воды.

Бетон (на известковом вяжущем) известен с глубокой древности. Наиболее раннее его применение, обнаруженное археологами, относится к 5600 году до н. э. Однако бетон тех времен мало походил на современный. В современном виде бетон начали применять лишь в XIX веке, когда был изобретен цемент.

Широкое применение бетона в строительстве объясняется исключительной простотой его состава – сюда входит: цемент, вода, мелкий (песок) и крупный заполнитель (щебень или гравий). Вода химически взаимодействует с цементом, в результате чего вязкопластичная вначале их смесь постепенно твердеет с образованием прочного цементного камня. Он и связывает в единую систему (монолит) заполнители. При необходимости в состав бетона вводят добавки различного назначения.

2.16 Определение, классификация, применение. Структура

Бетон – искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания правильно подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси неорганического вяжущего вещества, воды, заполнителей и, в некоторых случаях, специальных добавок.

До затвердевания эта смесь называется бетонной смесью.

Экономичность состава бетона, на объем которого приходится до 80-90 % заполнителей из местных материалов, достигается возможностью использования крупнотоннажных отходов промышленности.

Классификация бетонов

Классифицируют бетоны по следующим основным признакам

- 1) назначению;
- 2) средней плотности;
- 3) виду вяжущего;
- 4) виду заполнителей;
- 5) по крупности зерен заполнителей;
- 6) структуре;
- 7) условиям твердения.

По назначению различают бетоны конструкционные и специальные.

Конструкционные бетоны – это бетоны несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений. Требования к таким бетонам сформулированы в виде ряда физико-механических характеристик.

Конструкционные бетоны делят на обычные, гидротехнические, дорожные и др.

Обычным (или общестроительным) называют бетон, к которому не предъявляются особые требования, связанные со спецификой его работы в конструкциях или изделиях.

К гидротехническим относят бетоны, применяемые для возведения гидротехнических сооружений (плотин, шлюзов, каналов, водорегулирующих сооружений).

Дорожным называют бетон, применяемый в покрытиях и основаниях автомобильных дорог и аэродромов.

К специальным бетонам относятся:

- жаростойкие;
- конструкционно-теплоизоляционные;
- коррозионно-стойкие.

Жаростойкие бетоны применяют для изготовления конструкций, которые в условиях эксплуатации подвергаются постоянному или периодическому воздействию температур от 200 до 1800 °С.

Конструкционно-теплоизоляционные предназначены для железобетонных конструкций, к которым предъявляются требования, как по несущей способности, так и по теплоизоляционным свойствам.

Коррозионно-стойкими называют бетоны, способные в условиях эксплуатации противостоять действию агрессивных сред.

По признаку средней плотности различают бетоны:

- особо тяжелые;
- тяжелые;
- легкие и особо легкие.

Осо́бо тяжелые бетоны – бетоны со средней плотностью более 2500 кг/м³. Их изготавливают на особо тяжелых заполнителях (магнетит, лимонит, барит, чугу́нная дробь, обрезки стали). Такие бетоны применяют для специальных конструкций, например, при сооружении атомных электростанций или защиты от радиоактивного излучения.

Тяжелые бетоны – бетоны со средней плотностью от 2000 до 2500 кг/м³. Их изготавливают на песке и крупном заполнителе из плотных горных пород. Такой бетон широко применяют во всех несущих конструкциях.

Легкие бетоны – бетоны со средней плотностью от 500 до 2000 кг/м³. Изготавливают на пористом крупном заполнителе и пористом или плотном мелком песке. Используют в основном для производства ограждающих конструкций.

Осо́бо легкие бетоны (ячеистые) со средней плотностью менее 500 кг/м³. Изготавливают с применением порообразователей. Применяются в качестве теплоизоляционного материала в виде плит, скорлуп, стеновых изделий (мелких блоков и панелей).

По виду вяжущего бетоны подразделяют:

- бетоны на цементных вяжущих;

- бетоны на известковых вяжущих;
- бетоны на гипсовых вяжущих;
- бетоны на жидком стекле;
- бетоны на шлако-щелочном вяжущем.

По виду заполнителей различают:

- бетоны на плотных заполнителях (с объемным водопоглощением зерен менее 6 %);
- бетоны на пористых заполнителях (с объемным водопоглощением зерен более 6 %);
- бетоны на специальных заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям, например, по жаростойкости, химической стойкости и т.д.

По крупности зерен заполнителей различают бетоны крупнозернистые и мелкозернистые. Мелкозернистым считается бетон, в котором размеры зерен крупного заполнителя менее 10 мм.

В зависимости от вида структуры бетоны делятся на плотные, крупнопористые, поризованные и ячеистые.

Плотными называют бетоны, в которых степень заполнения объема пустот между зернами заполнителей составляет не менее 95 %.

Крупнопористыми называют бетоны, у которых значительная часть объема межзерновых пустот остается не занятой мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим веществом (это беспесчаные и мелкопесчаные бетоны).

Поризованными называют бетоны, у которых пространство между зернами заполнителей занято затвердевшим веществом (цементным камнем) повышенной пористости вследствие введения в бетонную смесь пено- и газообразователей или воздухововлекающих добавок.

Ячеистыми бетонами называют высокопористые бетоны (не содержащие крупного заполнителя) с равномерно распределенными искусственно созданными порами в виде ячеек диаметром 1-2 мм.

По условиям твердения бетоны подразделяются на:

бетоны естественного твердения, твердеющие при температуре 15...20 °С и атмосферном давлении;

бетоны, подвергнутые с целью ускорения твердения тепловой обработке (70...90 °С) при атмосферном давлении;

бетоны, твердеющие в автоклавах при температуре 175...200 °С и давлении пара 0,9...1,6 МПа.

Вид бетона и требования к его свойствам регламентируются нормативными документами в зависимости от условий будущей эксплуатации изделий и конструкций.

Общими требованиями для получения качественных бетонов являются:

- правильное проектирование состава бетона;
- правильное приготовление, укладка и уплотнение бетонной смеси;
- правильный уход за уложенным бетоном в начальный период твердения.

Первым шагом к получению качественного бетона является правильный выбор исходных материалов для его приготовления (рисунок 9).



Рисунок 9 - Укладка бетона

2.17. Дорожный цементный бетон. Проектирование состава тяжелого бетона

Дорожным называют бетон, применяемый в покрытиях и основаниях автомобильных дорог и аэродромов.

Это разновидность тяжелого бетона, который обладает повышенной прочностью на растяжение при изгибе, износо- и морозостойкостью.

Такой вид специального бетона применяют для устройства цементобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов, дорог промышленных предприятий.

Бетон в указанных дорожных конструкциях работает в тяжелых условиях. Он подвергается:

- воздействию многократно повторяющихся динамических нагрузок;
- воздействию воды;
- морозных циклов замораживания-оттаивания с одновременным влиянием солей (NaCl), применяемых для борьбы с гололедом.

Под действием транспортных нагрузок бетонное покрытие работает на изгиб как плита на упругом основании. Именно поэтому основным показателем механических свойств дорожного бетона является прочность на растяжение при изгибе.

Прочность на сжатие для дорожных бетонов является косвенной характеристикой их износостойкости. Исследования показали, что при прочности на сжатие выше 30 МПа сопротивление истираемости дорожных покрытий будет достаточным (таблица 4).

Таблица 4 – Рекомендуемые классы бетона по прочности для различных конструктивных слоев дорожных покрытий

Назначение бетона	Минимальный проектный класс, МПа (марка, кгс/см ²), бетона по прочности I	
	при растяжении при изгибе	при сжатии
Однослойное или верхний слой двухслойного покрытия дорог I и II категорий	4,0 (50)	30 (400)
Нижний слой двухслойного покрытия дорог I и II категорий	3,2 (40)	22,5 (300)
Однослойное или верхний слой двухслойного покрытия дорог III категории	3,6 (45)	27,5 (350)
Нижний слой двухслойного покрытия дорог III категории	2,8 (35)	20 (250)
Однослойное или верхний слой двухслойного покрытия дорог IV категории	3,2 (40)	25 (300)
Нижний слой двухслойного покрытия дорог IV категории	2,4 (30)	15 (200)
Основание дорог I-V категорий	1,2 (15)	5 (75)

Примечание - В скобках приведены значения ближайших к данному классу марок бетона для дорожных покрытий.

Основной причиной разрушения бетона при воздействии солей и мороза является то, что на глубине 10...12 мм от поверхности происходит выкристаллизовывание льда и гидратов солей. Расширение льда, образующегося из растворов солей, составляет 1,5...3 % его первоначального объема, в то время как для пресного льда это расширение составляет не более 0,1 %. На структуру льда влияет пространство, в котором он образуется, т.е. характер пористости бетона, которую следует регулировать добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ). Повышение морозостойкости при применении ПАВ вызывается дополнительно вовлеченным воздухом. Пузырьки воздуха блокируют ходы сообщения между отдельными капиллярами, сеть которых оказывается разъединенной минерализованными пузырьками. Поры, образующиеся в бетонной смеси, не заполняются водой при увлажнении затвердевшего бетона и воспринимают давление замерзшей воды в качестве демпферного пространства.

Для снижения расхода цемента и улучшения свойств бетонной смеси и бетона дорожных и аэродромных покрытий, помимо воздухововлекающих добавок, необходимо применять пластифицирующие добавки. Более широкое применение получила комплексная добавка, состоящая из

лигносульфоната технического (ЛСТ – расход 0,15...0,25 %) и смолы нейтрализованной воздухововлекающей (СНВ – 0,001...0,025 %).

Проектирование состава бетона.

Цель проектирования состава бетона – установить такое соотношение между компонентами, которое позволяет обеспечить требуемые технологические свойства бетонной смеси и нормируемые показатели качества бетона в установленные сроки при минимальных материальных и энергетических затратах. Для обеспечения экономичности бетона, как правило, стремятся получить бетон с минимальным расходом цемента, так как последний является самым дорогостоящим компонентом.

Проектирование состава производят расчетно-экспериментальным методом, который предусматривает следующий порядок:

а) вначале выполняют предварительный расчет состава бетона с использованием формул, графиков, таблиц;

б) затем осуществляют корректировку состава на опытных замесах.

Состав бетона выражают в виде расхода материалов по массе на 1 м³ уложенной и уплотненной бетонной смеси. Например:

$$Ц = 320 \text{ кг/м}^3;$$

$$П = 680 \text{ кг/м}^3;$$

$$Щ = 1240 \text{ кг/м}^3;$$

$$В = 180 \text{ л/м}^3.$$

Иногда состав бетона выражают в виде количественного соотношения по массе между составляющими материалами относительно единицы массы цемента (например, Ц : П : Щ = 1 : 2 : 4 при В/Ц = 0,5).

Принято различать лабораторный (номинальный) состав бетона, который осуществляют для сухих материалов и производственный – на основе минеральных заполнителей с естественной влажностью.

Проектирование состава бетона выполняется в следующей последовательности:

- назначают требования к бетону на основе информации о виде конструкции, для которой он предназначен; условий ее эксплуатации и технологии изготовления;

- осуществляют выбор материалов для бетона;

- производят определение расчетного состава бетона;

- уточняют состав на пробных замесах;

- назначают производственный состав бетона.

Назначение требований к прочности бетона (одно из основных), а также к другим свойствам, исходя из условий эксплуатации бетонных изделий (морозостойкости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости и др.) обычно осуществляют в соответствии с проектно-технической документацией на конкретную конструкцию.

Удобоукладываемость бетонной смеси, если она задана, следует назначать по ТНПА.

Расчет лабораторного состава бетона производится по методу абсолютных объемов. Согласно этому методу, расход всех четырех компонентов бетонной смеси должен быть таким, чтобы сумма их абсолютных объемов составляла 1000 л (при этом не учитывается небольшой объем вовлеченного воздуха):

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1000,$$

Ориентировочный расход воды (В) принимается по действующим ТНПА в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, вида и крупности заполнителя.

Расход цемента определяется уже с учетом найденных значений Ц/В и В:

$$Ц = \left(\frac{Ц}{В} \right) В.$$

Для определения расхода крупного и мелкого заполнителей задаются двумя условиями:

а) сумма абсолютных объемов всех компонентов в уплотненном состоянии равна 1000 л (1 м³);

б) цементно-песчаный раствор должен заполнить все пустоты крупным заполнителем с учетом некоторой раздвижки зерен этим раствором.

Для обычных тяжелых бетонов расчетная плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии, определяемая как $R_{б.с.} = Ц + В + П + Щ$, находится в пределах 2350-2450 кг/м³.

Расчетный состав бетона уточняется на пробных замесах. Вначале готовится замес бетонной смеси для проверки удобоукладываемости.

Из бетонной смеси, откорректированной по удобоукладываемости, изготавливают контрольные образцы, которые после твердения в нормальных условиях в течение 28 суток испытывают на прочность при сжатии. Если прочность контрольных образцов отличается от заданной более чем на ($\pm 15\%$), то корректируют состав цемента в большую или меньшую сторону, изготавливают контрольные образцы и снова их испытывают. Результатом экспериментальной проверки расчетного состава бетона является новый уточненный состав, учитывающий свойства конкретных материалов.

2.18. Контроль качества смесей. Свойства цементобетонных смесей

Бетонная смесь – многокомпонентная полидисперсная смесь, получаемая путем тщательного смешивания в заданных пропорциях вяжущего, воды, добавок и заполнителей.

Требования к цементам и щебню.

Для бетона дорожных и аэродромных покрытий применяют бездобавочные цементы: ПЦ400 и ПЦ500, изготовленные на основе клинкера с содержанием $3CaO \cdot Al_2O_3 \leq 8\%$ по массе. В качестве минеральной добавки допускается применение гранулированного шлака в количестве не более 15%. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 2 ч.

Для однослойного и верхнего слоя двухслойных покрытий прочность щебня из изверженных пород должна быть не менее 120 МПа, а щебня из осадочных пород – не менее 80 МПа.

Для нижнего слоя двухслойных покрытий – не менее 80 МПа для щебня из изверженных пород и более 60 МПа для щебня из осадочных пород.

Активированный (свежедробленый) щебень позволяет получить бетон с более высокой прочностью на растяжение при изгибе.

Для размеров щебня установлены ограничения. Наибольший размер зерен щебня или гравия должен быть не более:

- для верхнего слоя двухслойных покрытий – 20 мм;
- для однослойных и нижнего слоя двухслойных покрытий – 40 мм;
- для оснований – 70 мм.

Морозостойкость щебня и щебня из гравия для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий в зависимости от климатических условий должна быть меньше морозостойкости бетона на 50 циклов.

Требования к удобоукладываемости и продолжительности транспортирования (в открытых автосамосвалах)

Способность бетонной смеси деформироваться и течь под действием внешних сил определяется ее реологическими свойствами, которые оцениваются технологической характеристикой – показателем ее удобоукладываемости.

На качество уплотнения бетонной смеси в покрытии, а, следовательно, и на свойства бетона оказывает влияние удобоукладываемость смеси на месте бетонирования (таблица 5).

Таблица 5 – Назначение удобоукладываемости бетонной смеси в зависимости от вида машинного уплотнения

Машины и оборудование для уплотнения бетонной смеси в покрытии (основании)	Удобоукладываемость	
	Подвижность, см, не более	Жесткость, с, не менее
Бетоноукладчик на колесно-рельсовом ходу (в рельс-формах)	2	8
Бетоноукладчик со скользящей опалубкой при скорости движения, м/мин:	2 и менее	10
	от 2 до 2,5	5
	от 2,5 до 3,0	-
Площадочный вибратор и виброрейки	4	-
Вибрационные катки и другое аналогичное оборудование	-	30

Продолжительность транспортирования бетонной смеси не должна превышать 30 мин при температуре воздуха от 20 до 30 °С и 60 мин при температуре воздуха ниже 20 °С .

К важнейшим свойствам дорожного бетона относятся его деформативные свойства, характеризующие способность бетона деформироваться под действием нагрузки и температурно-влажностных факторов внешней среды.

Деформативные свойства бетона оцениваются значениями:

- модуля упругости ($2 \cdot 10^4$ МПа);
- коэффициента линейного температурного расширения (до $10 \cdot 10^{-6}$ на 1 °С);
- коэффициента Пуассона (от 0,18 до 0,22).

Эти характеристики (наряду с прочностью бетона на растяжение при изгибе), используются при расчете бетонных покрытий и оснований.

В технологии дорожных бетонов необходимо учитывать усадку, т.е. уменьшение их объема со временем в результате контракции цементного теста и потери им влаги в процессе твердения бетона. Под влиянием усадки поверхность бетонной плиты подвергается усадочным деформациям, существенно снижающим долговечность бетона. Наибольшее развитие усадочных деформаций приходится на первые часы и дни твердения бетона и при неблагоприятных условиях твердения может достигать 5...6 мм/м. Уменьшение В/Ц и содержания цемента в единице объема бетона, правильная разработка и осуществление операций по уходу за бетоном, направленных на предотвращение испарения из него влаги в начальный период твердения, способствуют уменьшению деформаций усадки.

Долговечность дорожного бетона по современным представлениям определяется его стойкостью против суммы одновременно действующих на него агрессивных факторов и внешней нагрузки. Из агрессивных факторов наибольшее разрушающее действие на дорожный бетон оказывает циклическое замораживание и оттаивание в присутствии хлористых солей, применяемых при эксплуатации дорог для борьбы с гололедом. По действующим нормативным документам относительной оценкой долговечности дорожного бетона является марка по морозостойкости.

2.19. Физические свойства бетонов. Классы (марки бетонов) по прочности

К физико-механическим свойствам бетона относится ряд свойств, характеризующих его качество:

- прочность;
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- деформативность;
- усадка;
- теплопроводность;
- огнестойкость.

Прочность бетона

Это важнейший показатель качества конструктивных бетонов.

Под действием внешних нагрузок в бетоне возникают внутренние напряжения сжатия, растяжения, изгиба. Бетон хорошо работает на сжатие и значительно хуже на растяжение. Поэтому в конструкциях его используют, прежде всего, для восприятия сжимающих нагрузок.

Марка бетона – численная характеристика какого-либо свойства, определенного как среднее значение результатов испытаний и не учитывающая колебаний свойств во всем объеме бетонируемой конструкции.

Наиболее распространенной характеристикой бетона по прочности на сжатие является марка по прочности на сжатие.

Марку бетона определяют испытанием на осевое сжатие бетонных образцов-кубов размером 15×15×15 см в возрасте 28 суток.

Численной характеристикой марки является среднее арифметическое значение прочности при сжатии образцов, полученное по двум наибольшим значениям в серии из трех образцов. Для марок бетона прочность выражается в кг/см².

Установлены следующие марки тяжелого бетона по прочности на сжатие: М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300, М400, М500 и выше с интервалом 100 до М1000.

В обозначении используется символ «М», а справа от него цифрой указывают предел прочности при сжатии.

Поскольку марка бетона не учитывает фактическую неоднородность прочности, то это может привести к тому, что прочность бетона в некоторых конструкциях окажется намного ниже требуемой по расчету, тогда как в других будет неоправданно завышена.

В связи с этим используется другая оценка прочности бетона – класс бетона по прочности.

Класс бетона – это численная характеристика какого-либо его свойства, принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 0,95). Это означает, что свойство бетона, установленное данным классом (например, его прочность), будет обеспечено не менее чем в 95 случаях из 100.

В настоящее время установлены следующие классы тяжелого бетона по прочности на сжатие: В3,5; В5; В7,5; В10; В15; В20; В22,5; В25; В30; В35; В40; В45; В50; В60; В65; В70; В75 и В80.

Класс бетона по прочности на сжатие обозначают латинской буквой «В», а справа от нее указывают предел прочности при сжатии в МПа. Так, например, у бетона класса В35 предел прочности при сжатии должен быть не ниже 35 МПа с гарантированной обеспеченностью 0,95.

2.20. Железобетон

Железобетон – комплексный строительный материал, в котором соединены бетон и стальная арматура, работающие в конструкции как единое целое (рисунок 10) . Чем вызвана необходимость такого соединения?



Рисунок 10 - Железобетон

Гармоничная совместная работа таких различных по структуре составляющих обеспечивается прочным сцеплением бетона с арматурой и относительно близкими значениями температурных коэффициентов линейного расширения обоих материалов (в пределах от 0 до 80 °С).

Бетоном хорошо воспринимаются сжимающие усилия, а на растяжение он работает плохо. Прочность бетона на растяжение составляет 5...10 % от прочности на сжатие. Предельная деформативность (растяжение) бетона примерно в 10 раз меньше его предельной сжимаемости.

Такая особенность свойств бетона делает его применение в конструкциях, работающих на изгиб и растяжение, малоэффективным, а в большинстве случаев просто невозможным.

Стальная арматура эффективно сопротивляется растягивающим усилиям. Поэтому арматуру (стальные стержни, сетки, каркасы) располагают в бетоне так, чтобы возникающие в железобетонной конструкции растягивающие усилия воспринимались арматурой, а сжимающие усилия передавались на бетон.

Широкое применение железобетона объясняется его достоинствами:

- он обладает высокой прочностью и долговечностью;
- формообразование его изделий сравнительно простое.

Железобетон применяют в дорожном строительстве, гидротехнических сооружениях, в зданиях и сооружениях различного назначения.

Железобетонные конструкции подразделяют на монолитные и сборные.

Монолитные железобетонные конструкции бетонируют на месте строительства. Сборные железобетонные конструкции монтируют на заводах или полигонах.

В железобетонном изделии основную роль играет стальная арматура. Наиболее широко для ее изготовления применяют низколегированные стали (содержание лигирующих добавок не более 2,5 %).

Арматурная сталь должна обладать требуемой прочностью, пластическими свойствами и свариваемостью. Она имеет вид стержней, проволоки и различных сеток. Кроме этого, в конструкциях устанавливаются закладные детали для соединения их при монтаже и петли транспортировки и монтажа.

Арматура для железобетонных конструкций изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей в виде стержней и проволоки гладкого и периодического профиля. Основным нормируемым показателем механических свойств стали является класс арматуры по прочности на растяжение.

По способу использования арматуры в конструкциях они подразделяются на конструкции с обычным армированием и предварительно напряженные конструкции.

По назначению сборные железобетонные изделия можно условно разделить на группы:

- для дорожного строительства;
- для жилых и общественных зданий
- общего назначения.

2.21. Производство сборного железобетона. Технический контроль

Сборные железобетонные конструкции изготавливают на заводах сборного железобетона. Производство сборного железобетона состоит из следующих основных технологических процессов:

- приготовление бетонной смеси;
- изготовление арматурных элементов;
- формование изделий, включая армирование
- тепловая обработка отформованных изделий.

На заводе могут также производиться укомплектование и сборка деталей и конструкций.

Технология получения бетонных изделий (бортового камня, тротуарной плитки, оголовков труб и т.д.) несколько проще, так как не требуется армирование изделий.

В настоящее время сборные бетонные и железобетонные конструкции изготавливают по трем схемам, определяющим признаком которых является способ формования.

Различают следующие способы формования железобетонных изделий:

- стендовый (разновидность – кассетный);
- поточный;
- конвейерный.

При производстве бетонных и железобетонных изделий применяют различные по удобоукладываемости бетонные смеси.

Различают следующие способы формования и уплотнения смесей:

- метод литья
- формование с применением простой вибрации;
- виброформование с небольшой пригрузкой;
- принудительное уплотнение смеси прессованием, укаткой и трамбованием;
- вибропрессование;
- центрифугирование;
- вибровакуумирование.

Заключительным этапом по выпуску готовой продукции заводов бетонных и железобетонных изделий являются операции контроля их качества.

Контроль качества выпускаемых бетонных и железобетонных изделий и конструкций на заводах осуществляется лабораторией и отделом технического контроля (ОТК) завода. Лаборатория проверяет качество исходных материалов, подбирает состав бетона, определяет качество полуфабрикатов и бетона, а ОТК следит за правильностью технологических процессов и режимов тепловой обработки изделий. Контроль качества готовых изделий производят выборочно. Вначале при внешнем осмотре выявляют трещины, раковины и другие дефекты, а затем при помощи измерительных линеек и шаблонов проверяют правильность формы и размеры изделий. Если при контрольных осмотрах и замерах выявляются дефекты и отклонения в размерах, превышающие допускаемые, изделия бракуют.

Готовые бетонные и железобетонные изделия испытывают на несущую способность согласно нормативным документам. Испытание производят на специальных стендах с нагружением гидродомкратами, рычажными приспособлениями и штучными грузами. О прочности изделия судят по разрушающей нагрузке, о жесткости - по прогибам под контрольной нагрузкой, а о трещиностойкости - по нагрузке, вызывающей появление трещин.

2.22. Строительные растворы. Определение, назначение и классификация

Строительный раствор – искусственный каменный материал, получаемый после укладки и твердения правильно подобранной смеси, состоящей из неорганических вяжущих веществ, песка и воды. В необходимых случаях (для повышения пластичности смеси, замедления и

схватывания или ускорения твердения) вводят специальные добавки (рисунок 11).

Такие смеси до затвердевания называют растворными смесями («растворами»).



Рисунок 11 - Строительные растворы

По существу, затвердевшие растворы – это мелкозернистые бетоны. Поэтому общие закономерности, характерные для бетонов, применимы и к растворам. В частности, прочность растворов зависит от марки вяжущего и величины водовяжущего отношения.

Строительные растворы в зависимости от назначения бывают: кладочные, отделочные и специальные.

Кладочные растворы применяют для скрепления элементов конструкций (кладка стен из кирпича, устройство фундаментов из бетонных блоков и др.).

Отделочные растворы служат для оштукатуривания штукатуркой стен, устройства выравнивающих слоев, декоративной отделки поверхности стеновых панелей, фасадов и внутренних интерьеров зданий.

Специальные растворы – инъекционные жаростойкие, кислотостойкие, рентгенозащитные, акустические. Их применяют в случаях, когда конструкциям предъявляют особые требования.

По плотности растворы подразделяются на:

- тяжелые (средняя плотность более 1500 кг/м³);
- легкие (средняя плотность менее 1500 кг/м³).

По виду вяжущего они подразделяются на цементные, известковые и смешанные.

При значительном удалении строительного объекта от завода рекомендуется изготовлять сухие растворные смеси, которые затворяют водой и перемешивают на месте производства работ.

2.23. Проектирование состава. Специальные растворы

Вид и состав растворов зависит от расчетных напряжений и условий эксплуатации. Состав растворов обычно назначают, используя готовые таблицы, и корректируют их по результатам испытаний в строительной лаборатории. Кладку надземных конструкций, работающих при небольших напряжениях, следует выполнять из растворов, содержащих дешевые местные вяжущие вещества: известь, известково-шлаковое, известково-пуццолановое вяжущее. При кладке фундаментов в агрессивных условиях применяют сульфатостойкий портландцемент. Для монтажа блочных и крупнопанельных стен – портландцемент, шлакопортландцемент, а также портландцементы с органическими добавками. Кладку подземных конструкций обычно выполняют на цементно-песчаных растворах без добавок глины или извести.

Выбор подвижности растворных смесей зависит от вида элементов кладки, их пористости. Например, при кладке стен из крупных панелей и блоков, пустотелого кирпича, блоков из пористых горных пород подвижность должна быть в пределах 5-8 см, заливке пустот в бутовой кладке 13-14 см, и т.д. Рекомендуемая подвижность для каждого случая приводится в специальных таблицах.

При кладке растворов зимой скорость твердения сильно замедляется, поэтому используют раствор, имеющий марку на одну-две ступени выше, чем летом. Известково-гипсовые растворы применяют для оштукатуривания внутренних деревянных и каменных стен, потолков. Они быстро твердеют и имеют прочное сцепление с основанием.

Декоративные растворы используют при заводской отделке лицевых поверхностей стеновых панелей. Применяют декоративные составы – полимерцементные, цементно-перхлорвиниловые. Декоративные растворы должны в течение всего периода эксплуатации сохранить первоначальный цвет, текстуру, обладать морозо-, свето- и водостойкостью.

К специальным растворам относятся: инъекционные цементные, используемые для заполнения каналов в предварительно напряженных конструкциях (марка раствора должна быть не ниже 300 с использованием портландцемента марок 400 и 500); тампонажные, применяемые для гидроизоляции скважин, шахтных стволов и тоннелей путем закрытия трещин и пустот в горных породах и заполнения закрепленного пространства (для этих растворов применяют тампонажный и сульфатостойкий портландцементы); рентгенозащитные, приготавливаемые на портландцементе или шлакопортландцементе с использованием баритового песка ($BaSO_4$) с максимальной крупностью 1,25 мм; акустические, предназначенные для звукопоглощающей штукатурки.

Строительные растворы готовят, как правило, на автоматизированных растворных заводах и узлах и доставляют на объекты строительства в специально оборудованных автоцистернах с автоматической разгрузкой или автомобилях-самосвалах.

При значительном удалении строительного объекта от завода используют сухие растворные смеси, которые затворяют водой на месте производства работ. Сухие смеси должны иметь влажность не менее 1 % по массе и доставляться в упаковке, исключающей возможность увлажнения.

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

3. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

В электронном учебно-методическом комплексе (часть первая) приведен перечень лабораторных работ для первого семестра изучения учебной дисциплины. Примерный перечень лабораторных занятий (в первом семестре)

Номер лабораторной работы	Название лабораторной работы	Количество часов
<i>Первый семестр</i>		
<i>Испытание природных каменных материалов</i>		
1	Определение свойств песка природного (искусственного) для строительных работ	4 часа
2	Определение свойств щебня из горных пород	4 часа
<i>Испытание минеральных вяжущих</i>		
3	Определение свойств цемента	8 часов
<i>Испытание цементных бетонов</i>		
4	Проектирование состава тяжелого цементобетона	4 часа
5	Изготовление образцов из цементобетона	4 часа
6	Определение свойств цементобетона	4 часа
<i>Испытание строительных растворов</i>		
7	Определение свойств строительных растворов	4 часа
ИТОГО за семестр 36 часов		

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

4.1. Лабораторная работа. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Цель работы:

1. Ознакомиться с приборами, аппаратурой, оборудованием, методикой проведения испытаний по определению физических и механических свойств.
2. Определить основные физико-механические свойства отдельных видов строительных материалов;
3. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Какие свойства относятся к физическим?
3. Какие свойства относятся к механическим?
4. Что такое структура материала? Виды структур.

5. Какие физические свойства относятся к структурным?
6. Какие физические свойства зависят от структуры материала?
7. Какие свойства материала относятся к гидрофизическим?
8. Какие свойства материала относятся к теплофизическим?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение средней плотности (плотности материала).

Задание 2. Определение истинной плотности (плотности вещества).

Задание 3. Определение пористости строительных материалов.

Задание 4. Определение насыпной плотности и пустотности.

Задание 5. Определение водопоглощения по массе и объему и расчет закрытой пористости материала.

Задание 6. Определение предела прочности при сжатии.

Задание 7. Определение ударной прочности (сопротивления удару).

Задание 8. Определение истираемости каменных материалов.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ (ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА)

Средняя плотность – это масса единицы объема материала в естественном состоянии (с пустотами и порами). Вычисляется она путем деления массы образца на его объем. Сравнивают среднюю плотность различных материалов между собой в сухом состоянии. Средняя плотность изменяется в пределах от $5 \dots 10 \text{ кг/м}^3$ для ячеистых пластмасс (поропластов и пенопластов) до 7780 кг/м^3 (для стали).

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью измерения 1 и 0,01г.
2. Линейки измерительные или штангенциркуль.
3. Образцы 3-4 видов материалов:
 - полистирольного пенопласта – кубы с ребром 50 мм;
 - древесины – 20x20x30 мм;
 - кирпича керамического пустотелого 250x120x88 мм или сплошного (полнотелого) 250x120x65 мм;
 - гранита – 50x50x50 мм;
 - ячеистого стекла 70x70x70 мм.

Методика испытаний

Образцы материала, предварительно высушенные до постоянной массы, взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г (при массе до 500 г) и с точностью до 1 г (при массе более 500 г).

Геометрические размеры образцов *правильной формы* замеряют штангенциркулем с точностью 0,1 мм, если величина замера не превышает 100 мм, и точностью 1 мм, если величина замера свыше 100 мм. По этим линейным размерам вычисляют объем в естественном состоянии.

Объем крупных образцов *неправильной формы* определяют с помощью объемомера (состоящего из сливной трубки, цилиндра и стакана) по объему (массе) жидкости, вытесненной погруженным в объемомер образцом.

Рабочая жидкость (вода, бензин, керосин, спирт) не должна взаимодействовать с образцом. Следует создать такие условия, при которых жидкость вытесняется всем объемом образца и исключается возможность ее поглощения порами материала.

Это обеспечивается двумя способами:

- поверхность образца покрывают слоем парафина, препятствующим проникновению жидкости внутрь образца в момент проведения испытания.

- образец предварительно (в течение 48 часов) насыщают жидкостью, чтобы во время опыта поглощение образцом жидкости почти не наблюдалось.

Среднюю плотность вычисляют в кг/м³ на основании полученных данных по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_e} \cdot 1000, \quad (4.1)$$

где: m – масса образца, г;

V_e – объем в естественном состоянии, см³.

Результаты вычисления округляют до целого числа и заносят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Средняя плотность строительных материалов

Показатели	Наименование материала			
	Древесина	Кирпич	Гранит	Пенополистор
1. Масса сухого образца m , г				
1. Масса воды, вытесненной образцом неправильной формы, г				
3. Геометрические размеры образца правильной формы, см				
4. Объем образца V_e , см ³				
5. Средняя плотность ρ_0 , кг/м ³				
6. То же ρ_0 , г/см ³				

Заключение

В заключении необходимо сделать анализ полученных результатов.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ (ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА)

Истинная плотность – это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор и пустот, трещин и других полостей, и учитывается только объем, занятый веществом, из которого состоит материал. Истинная плотность есть физическая константа вещества, из которого состоит материал. Для строительных материалов она изменяется в пределах от 900 кг/м³ (для полимеров) до 7980 кг/м³ (сталь). Для материалов и изделий, которые имеют одинаковый вещественный состав,

истинная плотность одинакова (например, керамический кирпич и керамзит). В таблице 4.2 приведены численные значения истинной и средней плотности строительных материалов.

Таблица 4.2 - Средняя и истинная плотность отдельных строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	
	средняя, ρ_0	истинная, $\rho_{и}$
Древесина (сосна)	400...500	1530
Древесноволокнистая плита (ДВП)	200	1500
Полимерный материал – стеклопластик	2000	2000
Вспененный полимер – мипора	10...20	1200
Стекло оконное листовое	2550	2550
Пеностекло (ячеистое стекло)	150...300	2550
Кирпич керамический полнотелый	1600...1900	2600...2700
Кирпич керамический сверхэффективный пористо-пустотелый	900...1200	
Бетон цементный тяжелый	2400	2600
Бетон ячеистый	500	2580
Природный камень – гранит	2500...2900	2700...3000
Песок кварцевый	$\rho_{нас}=1500...1700$	2500...2600
Цемент	$\rho_{нас}=1200$	3100
Кирпич силикатный	1800...2000	2600

Истинную плотность определяют для того, чтобы вычислить пористость материала, зная его среднюю плотность, ρ_0 .

Чтобы определить истинную плотность необходимо высушить и измельчить пробу материала. Чем больше степень измельчения, тем плотнее расположены частицы в объеме и тем *меньше ошибка* эксперимента.

Приборы и материалы.

1. Весы технические с погрешностью взвешивания 0,1 г.
2. Шкаф сушильный.
3. Прибор Ле-Шателье (объемомер).
4. Стаканчик для взвешивания.
5. Эксикатор.
6. Дистиллированная вода или керосин.
7. Навески измельченных материалов (кирпича керамического и силикатного, песка кварцевого).

Методика испытаний

Подготавливают пробу измельченного материала массой 150...200 г, всыпают в бюкс¹ для взвешивания, высушивают до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной

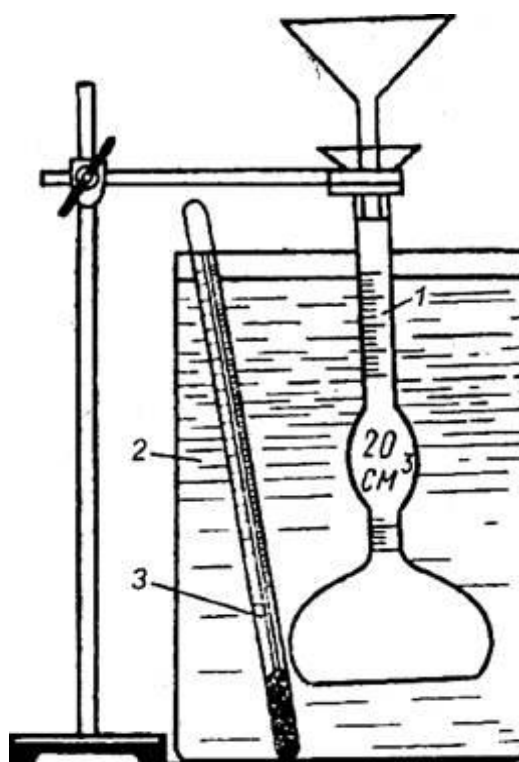
серной кислотой. Затем отвешивают с точностью до 0,01 г две навески массой по 50 г каждая.

Определение истинной плотности проводят в следующей последовательности. Объемометр (рис.4.1) заполняют водой до нижней отметки, при этом уровень воды определяют по нижнему мениску.

а)



б)



1 – объемометр, 2 – сосуд с водой, 3 – штатив, 4 – термометр

Рисунок 4.1 - Прибор Ле-Шателье (а) и вид прибора в рабочем состоянии (б)

Объемомер представляет собой стеклянную колбу вместимостью 120...150 см³ с узким высоким горлом и расширением в средней его части. На горле колбы ниже уширения нанесена метка, а выше – шала с делениями ценой 0,1 см³. Объем между нижней и верхней метками равен 20 см³. Точного заполнения можно добиться, если залить воду с небольшим избытком и затем отсосать ее фильтрованной бумагой. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтрованной бумаги. Навеску порошка через воронку прибора ложечкой всыпают небольшими порциями до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до риски с делением 20 мл или с другим делением в пределах верхней градуировочной шкалы прибора.

Прибор рекомендуется слегка встряхнуть для удаления пузырьков воздуха, попавшего вместе с порошком. Остаток порошка с бюксом взвешивают.

Истинную плотность $\rho_{и}$ в г/см³ вычисляют по формуле:

$$\rho_{и} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (4.2)$$

где m – масса высушенной навески порошка, г

m_1 – масса остатка, г

V – объем воды, вытесненной порошком, см³

Результаты испытаний заносят в таблице 4.3 и сравнивают полученные опытные данные со справочными, приведенными в таблице 4.2.

Таблица 4.3 - Результаты определения истинной плотности ускоренным методом (применяя прибор Ле-Шателье)

Определения	Кирпич		Песок кварцевый
	керамический	силикатный	
Масса, г			
– навески порошка, m			
– остатки порошка, m_1			
– порошка, высыпанного в прибор, $m - m_1$			
Объем порошка высыпанного в прибор, V см ³			
Истинная плотность, $\rho_{и}$ г/см ³			
То же, $\rho_{и}$, кг/см ³			

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Под **пористостью** материала понимают степень заполнения его объема порами. Поры в материалах бывают открытые и закрытые, мелкие и крупные. Это одна из наиболее важных характеристик материала, от которой зависят

такие эксплуатационные свойства, как теплопроводность, звукопроводность, водопоглощение и водонепроницаемость, прочность и морозостойкость.

Природные каменные материалы (гранит, габбро, диабазы, кварцит) имеют небольшую пористость. Пористость искусственных строительных материалов зависит от технологии их получения. Абсолютно плотные материалы, такие как стекло и металлы, имеют нулевую пористость, а, следовательно, обладают высокой плотностью, прочностью, морозостойкостью, тепло- и звукопроводностью.

Искусственные каменные материалы (кирпич, легкие бетоны) имеют значительную пористость, и чем эта величина больше, тем лучше их теплоизоляционные свойства.

В общем виде пористость материала – это отношение объема пор в нем ($V_{пор}$) к объему материала в естественном состоянии (V_e) и выражается в %:

$$P = \frac{V_{пор}}{V_e} \cdot 100, \quad (4.3)$$

Объем, который занимают поры в материале, можно выразить как разность между объемом материала (V_e) и объемом вещества (V_s). Тогда пористость (P в %) будет выражена формулой:

$$P = \frac{V_e - V_s}{V_e} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

Так как $V_e = \frac{m}{\rho_0}$ и $V_s = \frac{m}{\rho_u}$, то, подставив значения V_e и V_s в формулу (4.4), после преобразования получим *расчетную* формулу для определения пористости материала:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_u} \right) \cdot 100, \% \quad (4.5)$$

Пористость керамического и силикатного кирпича рассчитывают, используя данные задания 1 и 2, а пористость гранита, древесины, ячеистого бетона и пенополистирола (ППС) – используя справочные данные, приведенные в таблице 4.2 по истинной плотности.

Результаты расчетов сводят в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты вычисления пористости строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Пористость P, %
	средняя, ρ_0	истинная, ρ_u	
Кирпич керамический			
Гранит			
Древесина (сосна)			
И др.			

Заключение

Сделать анализ результатов, полученных при расчетах.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ И ПУСТОТНОСТИ

Сыпучие рыхлые материалы (щебень, гравий, песок, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью (ρ_n) и пустотностью ($V_{пуст}$).

Насыпная плотность (ρ_n) – это масса единицы объема сыпучего материала вместе с порами и межзерновыми пустотами. Ее вычисляют как частное от деления массы рыхлонасыпного материала (m) на объем (V_n), занятый материалами в неуплотненном состоянии в г/см^3 , по формуле:

$$\rho_n = \frac{m}{V_n} \quad (4.6)$$

Насыпная плотность влажного сыпучего материала будет меньше сухого по причине слипания зерен.

$$\rho_n^{вл} < \rho_n^{сух}$$

Пустотность ($V_{пуст}$) – это объем пустот и открытых пор в объеме сыпучего материала, выражается в процентах.

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z}\right) \cdot 100, \quad (4.7)$$

где: ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м^3 ;

ρ_z – средняя плотность зерен сыпучего материала, кг/м^3 ;

Под средней плотностью зерен понимают массу объема, занятого зернами рыхлого материала.

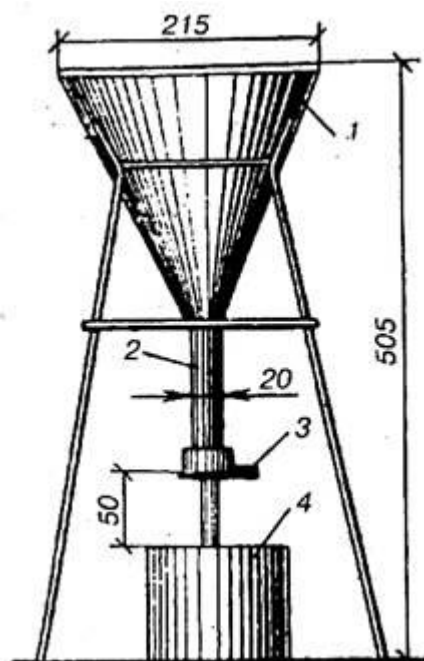
Приборы и материалы

1. Песок кварцевый.
2. Щебень гранитный, зерна размером 5-10 мм.
3. Весы настольные лабораторные.
4. Шкаф сушильный.
5. Мерные цилиндрические сосуды вместимостью 1 и 5 л.
6. Стандартная воронка для песка.

Методика испытаний

Насыпную плотность сыпучих материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 5 л. За объем материала принимают вместимость сосуда, т.е. в измеряемый объем входят пустоты между частицами материала.

Для мелкозернистых материалов (с размером зерен не менее 5 мм) используют мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 л. Мерный цилиндр предварительно взвешивают и насыпают в него с помощью стандартной воронки (рисунок 4.3) кварцевый песок.



1 – корпус в виде конуса, 2 – трубка, 3 – задвижка, 4 – мерный сосуд

Рисунок 4.3 - Стандартная воронка

Стандартная воронка представляет собой металлический усеченный конус 1, который заканчивается трубкой 2 с задвижкой 3. Под трубкой устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд 4. В воронку насыпают сухой песок, открывают задвижку, заполняют сосуд с *избытком*, а затем деревянной или металлической линейкой, держа ее наклонно и прижимая к краям сосуда, срезают излишек материала, имеющего форму конуса.

При этом следует соблюдать условие, чтобы сосуд был неподвижным, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, а, следовательно, увеличится его плотность.

Крупнозернистый материал (щебень, гравий) насыпают с избытком с высоты 10 см от края сосуда без последующего уплотнения в предварительно взвешенный сосуд вместимостью 5 л (для фракции щебня от 5 до 10 мм). Образовавшийся над верхом сосуда конус (излишек) снимают стальной линейкой вровень с краями сосуда движением к себе, от себя или влево и вправо.

Сосуд с песком или щебнем взвешивают с точностью до 1 г.

Насыпную плотность песка или щебня ρ_n , кг/м³, вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (4.8)$$

где: m – масса мерного сосуда, кг

m_1 – масса мерного сосуда с песком (щебнем), кг

V – вместимость мерного сосуда, м³

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию песка (щебня). За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний заносят в таблице 4.5 и вычисляют пустотность испытанных материалов, используя данные таблицы 4.4.

Таблица 4.5 - Результаты определения насыпной плотности и пустотности

Наименование определений	Вид материала	
	Кварцевый песок сухой	Щебень гранитный
Масса мерного сосуда m , кг		
Вместимость мерного сосуда V , м ³		
Масса сосуда с материалами m_1 , кг		
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³		
Пустотность $V_{пуст.}$ %		

Заключение

Сравнить между собой результаты испытаний по насыпной плотности, плотности зерен материалов, их пустотность и сделать вывод.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПО МАССЕ И ПО ОБЪЕМУ И РАСЧЕТ ЗАКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА

Строительные материалы в эксплуатационных условиях или при хранении могут поглощать влагу. При этом их свойства существенно изменяются. С увеличением количества влаги в материале повышается его теплопроводность (λ), увеличивается средняя плотность (ρ_0) и прочность (R), изменяется водо- и морозостойкость (F).

Влажность – это содержание влаги в материале в естественно-влажностном состоянии, отнесенное к массе материала в сухом состоянии, выраженное в процентах. Влажность W определяют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (4.9)$$

где: m_1 – масса материала в естественно-влажностном состоянии, г
 m_2 – масса материала, высушенного до постоянной массы, г

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду при непосредственном с ней прикосновении. Водопоглощение оценивают количеством воды, поглощенной образцом из материала, при выдерживании его в воде в течение заданного времени, выраженном в %. Поглощенное образцом количества воды, отнесенное к его массе в сухом состоянии – это **водопоглощение по массе** (B_m), а отнесенное к его объему – **водопоглощение по объему** (B_v).

Водопоглощение B_m и B_v вычисляют в процентах по следующим формулам:

$$B_m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (4.10)$$

$$B_v = \frac{m_1 - m_2}{V \cdot \rho_{\text{воды}}}, \quad (4.11)$$

где: m_1 – масса материала в насыщенном водой состоянии, г;

m_2 – масса сухого материала, г;

V – объем материала в сухом состоянии $\left(V = \frac{m_2}{\rho_0} \right)$;

$\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, равная 1 г/см³.

Соотношение водопоглощения по объему и по массе выражается формулой:

$$\frac{B_v}{B_m} = \frac{m_1 - m_2}{V \cdot \rho_0} \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_2} = \frac{m_2}{V \cdot \rho_{\text{воды}}} = \frac{\rho_0}{\rho_{\text{воды}}} \quad (4.12)$$

Таким образом, из формулы (1.12) следует, что если известны значения водопоглощения по массе и средняя плотность, то можно найти численное значение в % водопоглощения по объему:

$$B_v = B_m \cdot \frac{\rho_0}{\rho_0} = B_m \cdot d \quad (4.13)$$

где: d – относительная плотность

По количеству воды, поглощенной материалом, т.е. по водопоглощению по объему, можно приблизительно определить **открытую пористость материала**. Вода при насыщенном состоянии материала заполняет его мельчайшие поры и капилляры, однако часть из них остается недоступной для нее, потому что даже в порах, заполненных водой, частично остается воздух.

Отношение величины по объему (B_v) к общей пористости материала (Π) характеризует **коэффициент насыщения $K_{\text{нас}}$** .

$$K_{\text{нас}} = \frac{B_v}{\Pi} \quad (4.14)$$

Закрытая пористость определятся как разность между общей пористостью Π и водопоглощением по объему:

$$\Pi_3 = \Pi - B_v \quad (4.15)$$

Приборы и материалы

1. Весы настольные лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Сосуд для насыщения образцов водой.
4. Щетка металлическая.
5. Кирпич керамический (3 шт.)

Методика испытаний

Образцы керамических кирпичей высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105...110 °С и записывают массу сухих образцов. Образцы охлаждают до комнатной температуры и погружают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы над ними был слой воды не менее 2 см и не более 10 см, и выдерживают в течение 48 часов. После насыщения водой образцы вынимают из воды, обтирают влажной мягкой тканью и каждый немедленно взвешивают. При этом массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включают в массу образцов.

Результаты определения заносят в таблицу 4.6. Вычисляют по формулам водопоглощения по массе, зная массу сухого и насыщенного водой материала, и водопоглощение по массе и среднюю плотность (из таблицы 4.1 задания 1). Вычисляют коэффициент насыщения пор $K_{\text{нас}}$ по формуле 4.14, используя данные по пористости (таблицу 4.3, задание 3).

Таблица 4.6 - Результаты определения водопоглощения

Показатели	Образцы			Среднее арифметическое из трех
	1	2	3	
Масса сухого кирпича m_2 , г				
Масса насыщенного кирпича m_1 , г				
Водопоглощение по массе V_m , %				
Водопоглощение по объему V_v , %				
Коэффициент насыщения пор $K_{\text{нас}}$				
Закрытая пористость Π_3 , %				

Заключение

Испытанный керамический кирпич имеет водопоглощение по массе - _____%, по объему - _____%, закрытую пористость - _____% и общую пористость - _____%.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Способность материалов сопротивляться разрушению или деформированию под воздействием внешних сил характеризует механические свойства, к которым относят прочность, сопротивление удару, истираемость, твердость, упругость, пластичность и хрупкость.

Прочность – это свойство материалов сопротивляться разрушению под воздействием внутренних усилий и других факторов (температуры, влажностных деформаций, перекристаллизации). При действии различных нагрузок в зданиях и сооружениях в материалах возникают внутренние напряжения сжатия, растяжения, изгиба, среза, кручения и др. Поэтому прочность является одним из важнейших свойств большинства строительных материалов, особенно конструкционных.

Прочность строительных материалов оценивают **пределом прочности** – напряжением, соответствующим максимальному усилию в момент разрушения материала.

Предел прочности при сжатии материалов определяют путем испытания опытных образцов правильной геометрической формы (кубов, цилиндров, призм). При испытании *малых кубиков* получают величину показателя прочности более высокую, чем при испытании больших, здесь сказывается так называемый «масштабный фактор». Это объясняется тем, что при сжатии образца возникает его поперечное расширение. Силы трения, возникающие между опорными гранями образца и плитами пресса, удерживают части образца, прилегающие к плитам, от поперечного расширения, а, следовательно, и от разрушения. Экспериментально установлено, что величина коэффициента трения между опорными гранями образца и плитами пресса *возрастает с уменьшением* поперечного сечения образца и, как следствие, значение предела *прочности на малых образцах выше, чем на больших*.

Вычисляют предел прочности $R_{сж}$ по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \text{ МПа} \quad (4.16)$$

где: F – разрушающее (сжимающее) усилие, Н

A – площадь поперечного сечения образца, мм²

Предел прочности при сжатии определяют на гидравлических прессах различных систем и мощностей. Выбор пресса зависит от размеров образца и возможного максимального разрушающего усилия на образец. Одна из плит пресса должна иметь шаровую опору (рисунок 4.4).

Предел прочности при растяжении определяют для таких строительных материалов, как *металлы, древесина, пластмассы, рулонные кровельные материалы*. Образцы для испытаний изготавливают в виде стержней, лопаток, полос. Их форму и размеры определяют по соответствующим стандартам на испытываемые материалы.

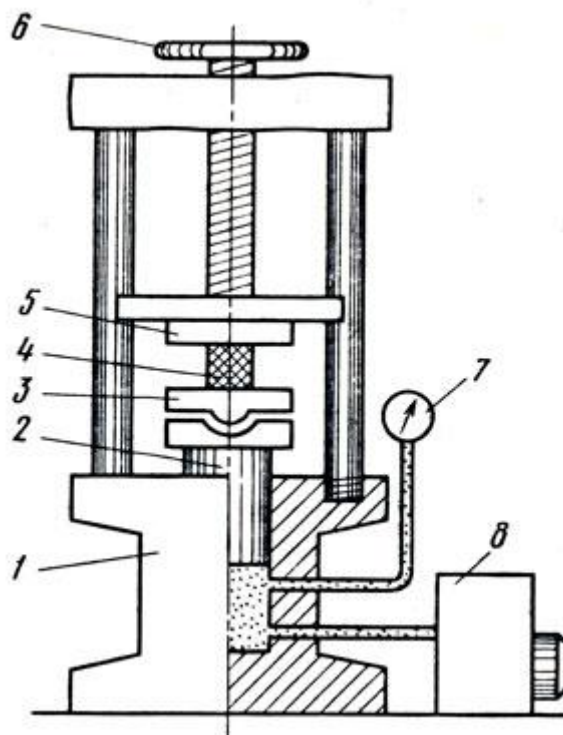
Предел прочности при растяжении в МПа вычисляют по формуле:

$$R_p = \frac{F}{A_0}, \quad (4.17)$$

где: F – растягивающее усилие, Н

A_0 – первоначальная площадь образца, мм²

Предел прочности при растяжении вычисляют как среднее арифметическое значение испытаний трех образцов.



1 – станина, 2 — траверса, 3,5 – плиты, 4 – испытуемый образец; 6 – поршень, 7 – силоизмерительное устройство, 8 – электродвигатель

Рисунок 4.4 - Схема гидравлического пресса для испытания на сжатие

Предел прочности при изгибе определяют на образцах-балочках прямоугольного сечения (природные и искусственные каменные материалы, бетон, асфальтобетон, древесина) или на готовых изделиях-образцах (кирпич). Например, при испытании цемента, гипса изготавливают образцы-балочки размером 40x40x160 мм; при испытании древесины – балочки размером 20x20x300 мм, а кирпич при испытании укладывают плашмя на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм. Усилие на образец передается в одной или двух точках по всей ширине образца. Одна из опор, на которую опирается образец при испытании, должна быть *шарнирной* (подвижной), другая – неподвижной. Схема испытаний на изгиб приведена на рисунок 4.5 (а,б).

Предел прочности при изгибе в МПа вычисляют по формулам:

при одном сосредоточенном усилии для образца-балочки прямоугольного сечения (рисунок 4.4 а)

$$R_u = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (4.18)$$

при испытании образца-балочки прямоугольного сечения по схеме (б) (рисунок 4.4 б)

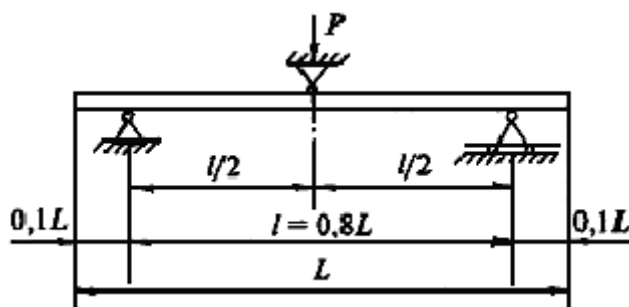
$$R_u = \frac{Fl}{bh^2} \quad (4.19)$$

где: F – разрушающее усилие, Н
 l – расстояние между опорами, мм;

b и h – ширина и высота поперечного сечения балочки, мм.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение испытаний трех образцов.

а)



б)

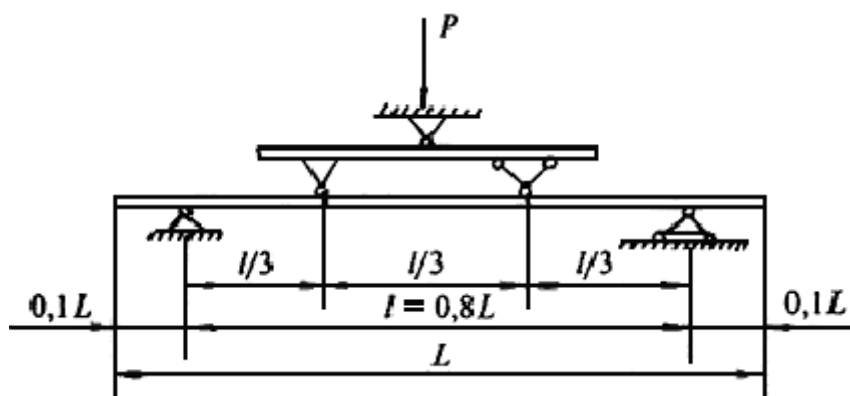


Рисунок 4.4 - Схема испытания на изгиб образцов-балочек:

а) при одной сосредоточенной нагрузке; б) при двух сосредоточенных нагрузках, расположенных симметрично на оси балочки

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ

Приборы и материалы

1. Искусственный камень – образцы-кубы из бетона.
2. Природный материал – образцы из древесины.
3. Линейка измерительная.
4. Штангенциркуль.
5. Пресс гидравлический.

Методика испытаний

Образцы-кубы из бетона с ребром 100 мм очищают мягкой щеткой или тканью и определяют геометрические размеры поверхностей, соприкасающихся с плитами пресса. *Усилие на образцы передается в направлении, перпендикулярном формованию при изготовлении образцов.*

Образцы из древесины размерами 20x20x30 мм испытывают в направлении параллельном волокнам древесины. Замеряют поперечные размеры образцов с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм.

Образцы устанавливают в центре нижней плиты пресса, затем подводят верхнюю плиту пресса. Выбирают шкалу силоизмерителя пресса так, чтобы

значение максимального разрушающего усилия находилось в интервале (20...80)% максимально допускаемой шкалы.

Убедившись в правильности установки образца, включают насос прессы и создают усилие на образец. Скорость увеличения усилия должна быть (0,1...1) МПа в секунду. При наибольшем усилии в момент разрушения образца стрелка силоизмерителя останавливается, а затем начинает двигаться обратно. Этот момент и следует зафиксировать.

Каждый материал испытывают на трех образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение прочности трех образцов. Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле 4.16.

Результаты испытаний заносят в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 - Результаты испытаний на сжатие

Наименование материалов	№ образцов	Размеры поперечного сечения, мм $a \times b$	Площадь поперечного сечения A , мм ²	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	
				частн.	средн.
Бетон (искусственный камень)	1				
	2				
	3				
Древесина	1				
	2				
	3				

Заключение:

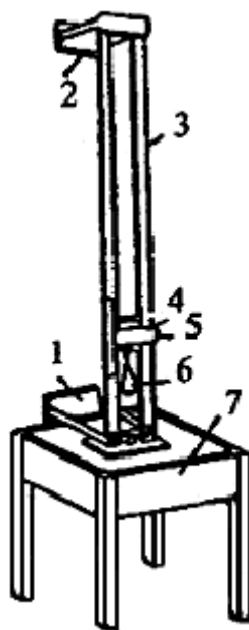
Сделать анализ полученных результатов.

Задание 7. СОПРОТИВЛЕНИЕ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ (СОПРОТИВЛЕНИЕ УДАРУ)

Ударная прочность определяется для материалов, которые в процессе эксплуатации в конструкциях подвергаются динамическим нагрузкам (полы промышленных зданий, дорожные покрытия). Испытания проводятся на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 20...30 мм и осуществляют на специальном копре Педжа (рисунок 4.6).

Прибор состоит из массивной металлической опоры, переходящей внизу в наковальню массой 50 кг. На опоре вертикально закреплены две направляющие цилиндрические штанги, по которым движется, свободно перемещаясь, стальной груз «баба» массой 2 кг. По образцу, установленному в центре наковальни, производят удар «бабой» через подбабок, который имеет внизу сферическую поверхность диаметром 10 мм.

Удары по образцу проводят вначале с высоты 10 мм, затем 20 мм и далее через 10 мм до разрушения образца. Показателем сопротивлению удару служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению, т.е. до появления первой трещины.



1 и 2 - лапки; 3 - станина; 4 - поперечная планка; 5 - зажим; 6 - боек; 7 - ящик

Рисунок 4.6 - Копер Педжа для испытания цилиндрических образцов на удар

Ударная прочность R_y (в Дж/см³) оценивается по величине удельной работы груза W (в Дж), затраченной на разрушение единицы объема (V в см³) материала. Вычисление проводят по формуле:

$$R_y = \frac{W}{V} = \frac{[(1+2+3+\dots+(n-1))]m \cdot 9,81}{V}, \quad (4.20)$$

где m – масса стального груза, кг

n – порядковый номер удара, разрушивший образец, т.е. высота падения груза в м первая трещина появилась после n -го удара

$(n-1)$ – порядковый номер удара, предшествующий разрушению

$[1+2+\dots]$ – суммарная высота падения груза в м

V – объем образца, м³

9,81 – безразмерный коэффициент перерасчета, (т.к. $1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}$, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Нм}$).

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение трех определений.

Приборы и материалы

1. Гипсовый камень (искусственный), полученный из гипсового теста нормальной густоты.
2. Образцы-цилиндры диаметром и высотой 20...30 мм.
3. Копер Педжа.
4. Штангенциркуль.

Методика испытаний

Замеряют диаметр и высоту образцов-цилиндров. Затем образец-цилиндр устанавливают в центре наковальни, прижимают подбабком и

проводят удар грузом («бабой») с высоты 10 мм (0,01) м, затем с высоты 20 мм (0,02м) и так далее, увеличивая высоту на 10 мм до тех пор, пока образец не разрушится.

Ударную прочность вычисляют по формуле (4.20). Результаты испытаний заносят в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 -Результаты испытаний на ударную прочность

Наименований материала	№ образца	Размеры образца, см		Объем образца см ³	Номер удара, разрушивший образец	Ударная прочность, Дж/см ³	
		диаметр	высота			частн.	средн.

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Истираемость – способность материала сопротивляться действию истирающих сил. Под действием этих сил происходит уменьшение материала в объеме и по массе. Материалы, подвергшиеся этому испытанию, применяют для устройства полов, лестничных ступеней, тротуаров, дорожных покрытий и др. К ним относятся бетоны, природные каменные материалы, материалы для полов на основе полимеров, керамическая плитка.

Образцы для испытания на истираемость должны иметь правильную геометрическую форму (кубы с ребром 50...70 мм).

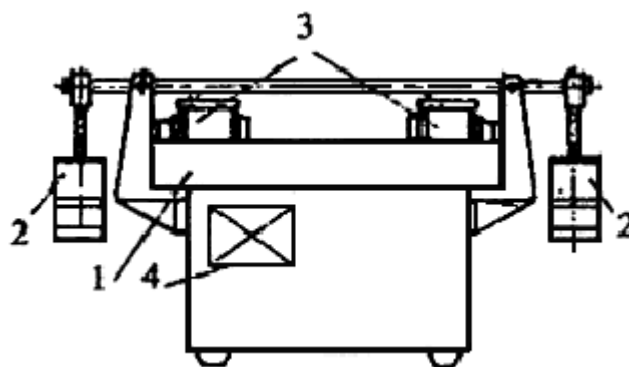
Приборы и материалы

1. Лабораторный круг истирания (машина ЛКИ).
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Образцы-кубы с ребром 70 мм.

Методика испытаний

Перед испытанием на истираемость образцы высушивают в сушильном шкафу, определяют массу m , измеряют площадь поверхности образца A , которая будет подвергаться испытанию.

Испытание на истираемость проводят на специальном оборудовании – круге истирания (рисунок 4.7) в виде чугунового диска 2, который вращается на вертикальной оси от электродвигателя со скоростью 22 об/мин. Количество оборотов фиксируется имеющимся счетчиком 1. С помощью грузов 3 и специального приспособления два образца 4 прижимаются к поверхности диска с усилием 60 кПа на площадь образца. Над диском на станине укреплены два бачка 5 для автоматической подачи шлифовального абразивного порошка (наждак или корунд крупностью около 0,5 мм или стандартный песок). Расход шлифовального порошка должен быть 20 г на 28 оборотов диска.



1 – счетчик оборотов, 2 – диск, 3 – груз, 4 – образец, 5 – шлифовальный песок
 Рисунок 4.7 - Схема машины для определения истираемости каменных материалов

После 150 м пути стирания, сделанного по диску, т.е. после одного цикла испытания, машина автоматически отключается, образцы вынимают из обоймы, очищают от пыли, взвешивают, а затем снова вставляют в захваты, повернув на 90° в горизонтальной плоскости, и продолжают испытывать.

В конце испытания (после 4-х циклов) образцы вынимают, обтирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость в г/см² вычисляют с погрешностью до 0,1 г/см² по формуле:

$$I = \frac{m - m_1}{A} \quad (4.21)$$

где m и m_1 – масса образца соответственно до и после истирания, г
 A – площадь истирания, см².

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из определений, полученных на двух образцах. Результаты испытаний заносят в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 - Результаты испытаний на истираемость

Определения	Образцы		Среднее
	1	2	
Масса образца, г			
– до испытания, m			
– после испытания, m_1			
Площадь истирания A , см ²			
Истираемость, г/см ²			

Заключение

Сравнить величину истираемости испытанного материала с показателями, приведенными в технических нормативных правовых актах или с показателем для других материалов.

4.2. Лабораторная работа. МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ (искусственные и природные пески)

Цель работы.

1. Ознакомиться на практике со свойствами и особенностями мелкого заполнителя, с требованиями государственных стандартов к его качеству.
2. Приобрести навыки проведения стандартных лабораторных испытаний, выяснения их сущности и значения.
3. Логически связывать требования стандартов к качеству мелкого заполнителя и эффективность его применения в бетонах, закрепить теоретические представления о структурообразующей роли мелкого заполнителя в бетоне.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Роль заполнителей в бетонах и растворах.
2. По какому граничному размеру зерен производится разделение заполнителей на мелкий и крупный?
3. Где и как добывают мелкий заполнитель для обычных тяжелых бетонов?
4. Из каких горных пород добывают мелкий заполнитель (природный песок)?
5. Что дает применение в бетонах фракционированного песка?
6. Как разделяют (классифицируют) природные пески в зависимости от места залегания?
7. Какие размеры отверстий имеют стандартные сита для определения зернового состава песка?
8. Почему и когда целесообразно применять дробленый песок?
9. Какие примеси в песке отрицательно влияют на качество бетона?
10. Какая примесь гравия допускается в песке?
11. Какими показателями характеризуется зерновой состав песка?
12. Какой песок лучше для бетона – однофракционный или многофракционный и почему?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение содержания в песке пылевидных и глинистых частиц.

Задание 2. Определение наличия органических примесей.

Задание 3. Определение влажности песка.

Задание 4. Определение зернового состава песка.

Задание 5. Определение насыпной плотности песка.

Задание 6. Определение истинной плотности зерен песка (плотности его зёрен).

Задание 7. Общее заключение о качестве песка

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПЕСКЕ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ

Пылевидные и глинистые частицы имеют размеры не более 0,05 мм, по крупности они соизмеримы с частицами цемента, поэтому, при разбавлении ими цемента, повышается его водопотребность, снижается прочность цементного камня. Кроме того, глинистые примеси (с размером частиц менее 0,005 мм) покрывают поверхность зерен песка, ухудшая сцепление с нею цементного камня. Если же глина содержится в песке в виде комков, то она снижает морозостойкость бетонов и растворов.

Содержание указанных примесей определяют *методом отмучивания*. Сущность определения состоит в том, что навеску сухого песка промывают, затем высушивают и определяют относительную потерю массы.

Содержание отмучиваемых пылевидных и глинистых примесей в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$P_{отм} = \frac{m - m_г}{m}, \quad (4.22)$$

где: m – масса навески сухого песка до отмучивания, г;

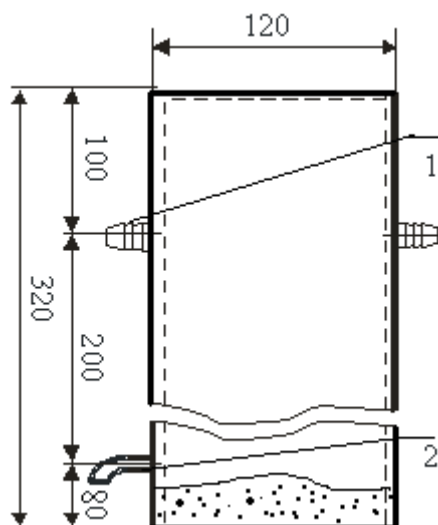
$m_г$ – масса высушенной навески песка после отмучивания, г.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные настольные.
2. Шкаф сушильный.
3. Металлический сосуд для отмучивания песка высотой 320 мм.
4. Секундомер.
5. Песок кварцевый.

Методика испытаний

Берут навеску сухого песка массой 1000 г, помещают ее в специальный стандартный сосуд (рисунок 4.8) и заливают водой до верхнего переливного отверстия 2.



1 – сливные отверстия, 2 – переливное отверстие

Рисунок 4.8 - Сосуд для отмучивания песка

В этом положении песок для размокания примесей необходимо выдержать в течение 2 ч, перемешивая его несколько раз. С целью ускорения лабораторной работы описанная операция выполняется заранее лаборантом и студенты получают возможность сразу приступить к отмучиванию.

Отмучивание состоит в энергичном перемешивании содержимого сосуда, после чего его оставляют в покое на 2 мин. Скорость падения взвешенных частиц в воде зависит от их массы и размеров: чем крупнее частицы песка, тем быстрее они оседают. Считается, что через 2 мин после перемешивания в слое воды над песком остаются только частицы мельче 0,05 мм. Их сливают вместе с водой через нижние сливные отверстия сосуда 1. При этом над песком остается слой воды не менее 30 мм.

Затем песок в сосуде снова заливают водой и описанным способом промывают песок до тех пор, пока вода над ним не будет оставаться прозрачной.

Промытую навеску песка выгружают из сосуда в противень, который помещают в сушильный электрошкаф. Пока песок высыхает, приступают к выполнению других задач лабораторной работы, а затем взвешивают высушенную навеску песка.

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц в процентах по массе вычисляют по формуле 4.22.

Результаты испытаний заносят в лабораторный журнал в следующей форме:

ГОСТ _____

Метод _____

Масса навески сухого песка до отмучивания $m =$ _____ г

Масса высушенной навески песка после отмучивания, $m_1 =$ _____ г

Содержание пылевидных и глинистых частиц: $m - m_1$ _____ г

$P_{отм} =$ _____ % по массе

Допустимое содержание пылевидных и глинистых частиц в песке для бетона по _____ %.

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний. Выбрать один из выводов – по содержанию пылевидных и глинистых примесей испытанный песок:

а) пригоден для бетона; или б) подлежит промывке.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Органические примеси (гуминовые кислоты, продукты распада растительных веществ, уголь, лигнит, горючие сланцы) могут помешать нормальному схватыванию и твердению цемента, т.е. замедлять твердение цемента и понизить его потенциальную прочность. Их наличие определяют колориметрической (цветовой) пробой (т.е. сравнением окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона).

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Цилиндры стеклянные вместимость 250 мл из прозрачного бесцветного стекла (внутренний диаметр 36...40 мм).
3. Натрия гидроксид Na(OH) – 30 %-ный раствор.
4. Танин – 2%-ный раствор в 1 %-ном этаноле (C₂H₅OH).
5. Навеска песка около 250г в состоянии естественной влажности.

Методика испытаний

Лаборант заранее (за 24 часа до испытаний) в стеклянном цилиндре 3%-ным раствором гидроксида натрия Na(OH) заливает пробу песка до уровня 200 мл. Чем больше органических примесей в песке, тем темнее окрашивается раствор над песком. Цвет жидкости, отстоявшейся над песком, сравнивают с цветом специально приготовленной эталонной жидкости. Это сравнение следует производить через 24 часа, поэтому студенты в ходе лабораторной работы изучают и **оценивают заранее приготовленные пробы**.

Песок признается пригодным для бетона, если окраска раствора в описанной пробе оказывается бесцветной или светлее *эталонного раствора*. В противном случае для определения возможности использования данного песка необходимо специальное исследование его в бетоне или растворе (испытание на прочность на этом песке).

В стандартах некоторых стран содержание органических примесей в заполнителе определяют по потере массы пробы после ее обработки перекисью водорода (H₂O₂).

Результаты определения наличия органических примесей заносят в лабораторный журнал по форме:

ГОСТ _____
Метод _____
Уровень песка в стеклянном цилиндре _____ МЛ
Уровень 3% раствора NaOH _____ МЛ
Состав эталонного раствора _____

Заключение

Сделать выводы по результатам проведённых испытаний

Результаты сравнения окраски жидкости над пробой с окраской (цветом) эталона через 24 часа _____

Вывод (о пригодности песка для бетона) _____

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПЕСКА

Песок, добываемый в карьере, всегда имеет некоторую влажность за счет грунтовых вод и атмосферных осадков. В таком состоянии его доставляют на заводы и стройки. При использовании песка в качестве заполнителя для бетона необходимо знать его влажность, чтобы учесть ее при определении расхода песка и воды в бетоне (при расчете его состава).

Влажность (испаряемая вода) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} \times 100, \quad (4.23)$$

где: m - масса навески в состоянии естественной влажности, г;

m_1 - масса навески в сухом состоянии, г;

$m - m_1$ – количество воды, удаляемой сушкой при 105...110 °С, г.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Противень.
4. Песок кварцевый влажный (песок перед лабораторной работой смачивают водой до состояния землистой влажности).

Методика испытаний

Берут навеску влажного песка массой 1000 г, насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы и снова взвешивают.

Результаты испытаний вычисляют по формуле 4.23 и заносят в лабораторный журнал по форме:

Масса навески песка в состоянии естественной влажности $m =$ _____ г

Масса навески песка после высушивания $m_1 =$ _____ г

Влажность песка $W =$ _____ % по массе

Заключение

Сделать вывод о корректировке количества воды при расчете состава бетона или строительного раствора.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПЕСКА

Зерновой (гранулометрический) состав песка – важнейший показатель его качества, от которого зависит пустотность песка и расход цемента, а следовательно, и эффективность применения данного песка в бетоне. Этот показатель отражает содержание в песке зерен разной крупности, и для его определения пробу песка просеивают через набор стандартных сит. Влажный песок плохо просеивается через сита, поэтому определение зернового состава производят после высушивания пробы песка до постоянной массы.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Набор сит с круглыми отверстиями диаметром 10; 5; 2,5 и сетками № 1; 25; 063; 0315 и 016 (0,14).
3. Шкаф сушильный.
4. Песок кварцевый для испытания.

Методика испытаний

Вначале согласно ГОСТ 8735 определяют возможное содержание в песке более крупных зерен гравия. Для этого пробу высушенного до постоянной массы песка массой 2000 г просеивают через сита с отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Остатки на указанных ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм и свыше 10 мм в % по массе по формулам:

$$Gr_{10} = \frac{M_{10}}{M} \times 100 \quad (4.24)$$

$$Gr_5 = \frac{M_5}{M} \times 100, \quad (4.25)$$

где M_{10} - остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм, г,

M_5 – то же на сите – 5 мм, г,

M – масса пробы, 2000 г.

Затем от пробы песка, прошедшего сквозь сито с отверстиями 5 мм, отбирают навеску массой 1000 г и просеивают ее через набор лабораторных контрольных сит с размерами отверстий последовательно (сверху вниз) 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Под набором сит располагается поддон, в который попадают частицы мельче 0,16 мм.

После просеивания, которое считают законченным по признакам, указанным в ГОСТ 8735, остатки песка на каждом сите и поддоне взвешивают. Эти остатки *называются частными* и обозначаются $a_{2,5}$, $a_{1,25}$ и т.д. (индекс обозначает размер отверстий сит). Затем вычисляют *полные остатки* – количество песка (в граммах и в процентах от массы навески), которое осталось бы на данном сите, если бы всю навеску песка просеивали только на нем, без других сит. Естественно, что полный остаток на данном сите можно подсчитать, суммируя частные остатки на этом сите и всех ситах с более крупными отверстиями.

Частный остаток на каждом сите (a_i) в % вычисляют по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \times 100, \quad (4.26)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г.

Полный остаток на каждом сите (A_i) в % вычисляют по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (4.27)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i – частные остатки на соответствующих ситах.

Например, полный остаток на сите 1,25 мм

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} \quad (4.28)$$

полный остаток на сите 0,63 мм

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} \quad (4.29)$$

и т.д.

Полные остатки на ситах нормируются. Если в результате испытания песка оказывается, что полный остаток на каком-либо сите выходит за пределы, установленные техническими требованиями к заполнителям, это значит, что зерновой состав данного песка *не оптимален*, и его применение может привести к перерасходу цемента и ухудшению качества бетона. Такой песок подлежит обогащению с целью улучшения зернового состава.

Характеристикой зернового состава песка является **модуль крупности**, подсчитываемый по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (4.30)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,16}$ – полные остатки на соответствующих ситах.

Модуль крупности M_k песка, применяемого в качестве мелкого заполнителя для бетона, нормирован (таблица 4.10). По величине модуля крупности и полному остатку на сите с отверстиями размером 0,63 мм *определяют принадлежность испытанного песка к той или иной группе по крупности* (таблица 4.10), а также *область его использования в бетонах определенной прочности*.

Таблица 4.10 - Группы песка по зерновому составу

Группа песка	Модуль крупности ² , M_k	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе
Очень крупный	свыше 3,5	свыше 75
Повышенной крупности	- " - 3,0 до 3,5	- " - 65 до 75
Крупный	- " - 2,5 до 3,0	- " - 45 до 65
Средний	- " - 2,0 до 2,5	- " - 30 до 45
Мелкий	- " - 1,5 до 2,0	- " - 10 до 30
Очень мелкий	- " - 1,0 до 1,5	менее 10
Тонкий	- " - 0,7 до 1,0	не нормируется
Очень тонкий	до 0,7	- " -

Результаты испытаний. Вычисляют содержание фракций гравия в песке, частные и полные остатки песка на каждом сите и модуль крупности песка по приведенным выше формулам, а результаты испытаний заносят в лабораторный журнал по форме:

Масса пробы песка _____ г

Содержание в песке зерен гравия с размером зерен крупнее 10 мм _____ г,
_____ %.

Допускается по ГОСТ _____ г, _____ %.

Содержание в песке зерен гравия с размером зерен от 5 до 10 мм _____ г,
_____ %.

Допускается по ГОСТ _____ г, _____ %.

Вывод о соответствии испытанного песка требованиям стандарта, ограничивающим содержание в песке зерен гравия _____

Результат определения зернового состава песка оформляют в форме таблицы 4.11 или графически в виде кривой просеивания.

Масса навески для определения зернового состава песка _____ г.

Таблица 4.11 - Зерновой состав песка

Размер отверстий сит, мм	Частные остатки на ситах		Полные остатки на ситах $A_{j,i}$ %	Требования ТНПА по полным остаткам $A_{j,i}$ %
	$m_{j,i}$ г	$a_{j,i}$ %		
2,5				
1,25				
0,63				
0,315				
0,16				
Меньше 0,16				
Сумма				

Результаты определения зернового состава песка изображают графически в виде кривой просеивания.

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний

1. Модуль крупности песка $M_K =$
2. Вывод о принадлежности песка к группе по крупности _____
3. Вывод о соответствии песка требованиям к зерновому составу
4. Вывод о пригодности песка для получения бетонов определенной проектной прочности _____

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА В СТАНДАРТНОМ НЕУПЛОТНЕННОМ СОСТОЯНИИ

Насыпной плотностью (ρ_n) называют отношение массы сыпучего порошкообразного материала к занимаемому им объему V , включая пустоты между частицами. Объем в данном случае определяется вместимостью мерного сосуда. Насыпную плотность вычисляют в кг/м^3 , по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (4.31)$$

где m – масса мерного цилиндрического металлического сосуда, кг;

m_1 – масса мерного цилиндрического сосуда с песком, кг;

V – вместимость сосуда, м^3 .

Насыпная плотность песка является важной его характеристикой, зависящей от зернового состава. *Пески, соответствующие требованиям стандарта по зерновому составу, как правило, тяжелее песков, не соответствующих этим требованиям.* Чем больше насыпная плотность, тем больше песка вмещается в заданный объем, следовательно, тем меньше

объем пустот между частицами песка, а значит, меньше цемента потребуется для заполнения этих пустот в бетоне.

При определении насыпной плотности песка следует знать, что она зависит и от его влажности. Чтобы увидеть и понять эту зависимость, следует определить насыпную плотность как сухого, так и влажного песка.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Сосуды мерные цилиндрические металлические вместимостью 1 и 10 л.
3. Шкаф сушильный.
4. Линейка металлическая.
5. Сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.
6. Песок сухой и влажный кварцевый.

Методика испытаний

Насыпную плотность песка определяют в стандартном неуплотненном состоянии, засыпая песок с высоты 10 см от верхнего края в предварительно взвешенный стандартный мерный сосуд. Сначала песок насыпают с избытком, до образования над верхом сосуда конуса, потом избыток срезают металлической линейкой вровень с краями сосуда, причем сосуд при этом должен стоять неподвижно во избежание уплотнения песка. После этого сосуд с песком взвешивают. Определение насыпной плотности производят 2 раза.

Результаты испытаний. Вычисляют насыпную плотность песка по формуле 2.10. с погрешностью не более 10 кг/м^3 и результаты заносят в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 - Насыпная плотность кварцевого песка

Определение	Песок сухой		Песок влажный	
	1	2	1	2
Вместимость мерного сосуда V , м^3				
Масса сосуда m , кг				
Масса сосуда с песком m_1 , кг				
Масса песка, кг				
Насыпная плотность ρ_n , кг/м^3				
Среднее арифметическое значение ρ_n .				

Насыпная плотность плотных заполнителей не менее 1200 кг/м^3 .

Заключение

Сравнить насыпную плотность сухого и влажного песка, объяснить полученные результаты, какая необходима корректировка состава бетона при дозировании по объему.

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА (ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ПЕСКА) И ПУСТОТНОСТИ

Истинная плотность песков (плотность зерен) зависит от их пористости и минералогического состава и обычно находится в пределах $2,0 \dots 2,8 \text{ г/см}^3$. Ускоренный метод определения истинной плотности песка предусматривает использование прибора Ле-Шателье. Последний представляет собой специальную колбу с рисками, между которыми заключён определённый объём.

Истинную плотность (плотность зерен песка), г/см^3 вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}, \quad (4.32)$$

где m – масса взятой для испытания навески песка, г;

m_1 – масса остатка песка после испытания, г;

V – объём воды, вытесненной песком, т.е. высушенных зерен песка, см^3 .

Пустотность песка, или объём межзерновых пустот $V_{\text{м.п.}}$ в процентах можно рассчитать, зная его насыпную плотность $\rho_{\text{н}}$, кг/м^3 и истинную плотность песка ρ , кг/м^3 , т.е. воспользовавшись данными из задания 5 (для сухого песка):

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho} \right) \times 100, \quad (4.33)$$

Как указывалось выше, чем меньше пустотность песка, тем меньший потребуется расход цемента для получения бетона плотной структуры. Непосредственно пустотность песка государственными стандартами не регламентируется, косвенно она учитывается и минимизируется требованиями к зерновому составу.

Приборы и материалы

1. Прибор Ле-Шателье.
2. Весы настольные.
3. Шкаф сушильный.
4. Песок кварцевый.
5. Сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.
6. Стаканчик для взвешивания.

Методика испытаний

Прибор Ле-Шателье заполняют водой до нижней риски, причем уровень воды определяют по нижнему мениску, затем медленно всыпают песок из предварительно взвешенной навески и массой 100 г до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до верхней риски. Определяют массу оставшегося песка. Массу песка в приборе определяют как разницу массы первоначальной навески и массы остатка.

Истинную плотность песка вычисляют по формуле и результаты заносят в журнал по форме:

Масса навески сухого песка $m =$ _____ г

Масса остатка песка $m_1 =$ _____ г

Израсходовано песка _____ г

Объем воды, вытесненной песком $V =$ _____ см³

Истинная плотность песка _____ г/см³, _____ кг/м³

Заключение

Сопоставить насыпную плотность S истинной плотностью кварцевого песка (плотностью зерен).

Задание 7. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КАЧЕСТВЕ ПЕСКА

Заключение о соответствии результатов испытания песка требованиям стандартов и его пригодности к применению в качестве мелкого заполнителя для бетона принимается по совокупности всех предусмотренных показателей. Если по какому-либо из показателей качества песок не соответствует требованиям стандартов, принимается решение о его промывке, сортировке, обогащении, а также о проведении дополнительных специальных исследований.

4.3. Лабораторная работа. КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА (щебень, гравий и др)

Цель работы

1. Практически ознакомиться со свойствами широко применяемых в строительстве природных плотных и искусственных пористых заполнителей и с их структурными особенностями.
2. Приобрести навыки проведения стандартных лабораторных испытаний, выяснение их сущности и значения.
3. Сравнить требования стандартов к качеству крупных заполнителей и эффективность их применения в бетонах.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какие заполнители называют крупными?
2. Какая роль крупных заполнителей в бетонах?
3. Какие фракции крупного заполнителя предусмотрены стандартами?
4. Какие виды крупных природных и искусственных заполнителей применяют в бетоне?
5. Чем различаются гравий и щебень?
6. Из каких горных пород и как получают плотный гравий?
7. Из каких горных пород и как получают щебень для тяжелого бетона?
8. Какие заполнители применяют для изготовления легких бетонов?
9. Из какого сырья и как получают керамзит?

10. Что является сырьем для получения аглопорита и как его получают?
11. Как определяется насыпная плотность крупных заполнителей?
12. Почему в бетоне применяют крупные заполнители разных фракций?
13. Какие требования предъявляются к крупному заполнителю?
14. Как влияет вид и качество крупного заполнителя на прочность бетона и его морозостойкость?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение насыпной плотности крупных заполнителей.

Задание 2. Определение плотности зерен заполнителей.

Задание 3. Расчет и сравнительный анализ структурных характеристик заполнителей.

Задание 4. Определение дробимости природного гравия и гранитного щебня.

Задание 5. Определение прочности пористых заполнителей.

Задание 6. Общее заключение о качестве заполнителей и области их рационального использования в бетонах.

Общие сведения о крупных заполнителях

Крупными называются заполнители, размеры зерен которых превышают 5 мм. Верхний предел крупности заполнителей ограничивается условиями применения бетона. Он не должен превышать $\frac{3}{4}$ расстояния между стержнями арматуры в железобетонной конструкции, $\frac{1}{4}$ наименьшего размера сечения балочных элементов или $\frac{1}{2}$ толщины плитных элементов. При этом понятие "балочных" и "плитных" элементов относится не к назначению конструкций, а к их положению при бетонировании. Если плита толщиной 80 мм бетонируется в горизонтальном положении, то максимальная крупность заполнителя d_g может быть определена как половина толщины, т.е. 40 мм. Если же в заводских условиях подобные плиты бетонируют в вертикальных кассетных формах, то наибольшая крупность заполнителя определяется по правилу для балочных элементов как четверть толщины, т.е. 20 мм. Таким образом, для одной и той же конструкции крупность заполнителя может быть различной в зависимости от технологии бетонирования.

Природный гравий, каменный зернистый сыпучий материал, получают рассевом природных песчано-гравийных смесей, относящихся к обломочным осадочным горным породам. После геологической разведки месторождений производят разработку карьера, затем добытую смесь подвергают рассеву по крупности зерен на промышленных ситах (грохотах) для отделения песка и деления гравия на предусмотренные стандартом фракции. Гравий промывают водой в случае чрезмерной засоренности пылевидными или глинистыми примесями.

Щебень получают дроблением различных горных пород (кварцита, мрамора, диорита, диабазы, гранита, карбонатных пород – известняка, доломита) или крупных фракций гравия и валунов в дробилках с последующим рассевом на требуемые фракции.

Гравий керамзитовый получают из глинистого сырья вспучиванием гранул при обжиге во вращающейся печи. Температура обжига – примерно 1200°C. Глина вспучивается в пиропластическом (размягченном от воздействия высокой температуры) состоянии, когда некоторые вещества в ее составе разлагаются с выделением газообразных продуктов. Сырьевые гранулы (комочки) при вспучивании увеличиваются в объеме и округляются, поэтому керамзит получается, в основном, в виде гравия. Хорошо вспучивающиеся глины, пригодные для производства керамзита, встречаются нечасто, поэтому производство керамзита организуют на базе открытых и исследованных месторождений глинистого сырья соответствующего качества. Возможно повышение вспучиваемости сырья специально вводимыми добавками.

Щебень аглопоритовый (пористый наполнитель) получают спеканием тощих (малопластичных) невспучивающихся глинистых пород с добавкой до 10 % дробленного каменного угля. Спекание (агломерацию) производят на решетчатом конвейере агломерационной машины после зажигания слоя шихты при прососе через него воздуха. Вместо глинистых пород часто используют в качестве сырья отходы углеобогащения или золы тепловых электростанций, содержащие в своем составе достаточное для *агломерации* количество топлива. После спекания слоя шихты образующийся корж охлаждают и дробят, получая щебень и одновременно некоторое количество аглопоритового песка.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ КРУПНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Насыпной плотностью наполнителя называется отношение его массы ко всему занимаемому объему, включая межзерновую пустотность.

Насыпная плотность является важной характеристикой наполнителей, особенно пористых, основная маркировка которых производится по этому показателю. Знание насыпной плотности необходимо для расчета массовой доли наполнителя, если известен его объем. При определении вместимости складских помещений, бункеров, исходя из требуемой массы наполнителя, при расчете состава бетона, дозировании наполнителей также необходимо знать эту характеристику.

Насыпную плотность определяют путем определения массы наполнителя данной фракции, высушенного до постоянной массы, в мерном сосуде.

Следует иметь в виду, что результат определения насыпной плотности наполнителя зависит от вместимости и формы мерного сосуда, от соотношения размеров сосуда и зерен наполнителя. При данной крупности зерен, чем меньше размеры сосуда, тем относительно меньшей будет степень

заполнения его объема зернистым материалом. Поэтому действующие нормы предусматривают использование стандартных мерных цилиндрических сосудов различной вместимости для заполнителей разной крупности. При определении насыпной плотности природного гравия или щебня с наибольшей крупностью зерен 10 мм используют мерный сосуд вместимостью 5 л, с наибольшей крупностью 20 мм – 10 л, 40 мм – 20 л. Для пористых заполнителей крупностью до 10 мм вместимость сосуда составляет 2 л, 20 мм – 5 л, 40 мм – 10 л. Во всех случаях мерные цилиндры имеют высоту, равную диаметру.

Приборы и материалы

1. Весы настольные циферблатные.
2. Шкаф сушильный.
3. Крупный заполнитель: щебень из горных пород (гранитный) и аглопоритовый, гравий природный и керамзитовый.
4. Цилиндры мерные вместимостью 5, 10, 20, 50 л.

Методика испытаний

Насыпную плотность определяют следующим образом. Высушенный до постоянной массы заполнитель насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр до образования над верхом сосуда конуса. Затем, не сдвигая цилиндр (во избежание уплотнения заполнителя), стальной линейкой движением к себе и от себя или от середины влево и вправо срезают конус и определяют массу цилиндра с заполнителем.

Насыпную плотность заполнителя в кг/м³ вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (4.34)$$

где: m_2 – масса мерного цилиндра с заполнителем, г(кг);

m_1 – масса мерного цилиндра, г(кг);

V – вместимость мерного цилиндра, л (м³).

Насыпную плотность определяют два раза, при этом берут каждый раз новую порцию заполнителя.

За результат принимают среднее арифметическое значение двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний крупных заполнителей заносят в таблицу 4.13 и сравнивают между собой по насыпной плотности. Для керамзитового гравия и аглопоритового щебня устанавливают их марки по плотности, пользуясь действующими ТНПА.

Таблица 4.13 - Результаты определения насыпной плотности крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
1	2	3	4	5
Фракция, мм				
Вместимость мерного цилиндра V , л				
Масса мерного цилиндра m_1 , кг				
Масса мерного цилиндра с заполнителем m_2 , кг				
Насыпная плотность заполнителя ρ_n , кг/м ³				
Марка по насыпной плотности (для пористых заполнителей)	—	—		

Заключение

Сравнить насыпную плотность испытанных заполнителей и дать объяснение полученных результатов.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Средняя плотность зерен заполнителя представляет собой отношение массы пробы сухого щебня или гравия к суммарному объему его зерен. Среднюю плотность зерен заполнителя определяют методом гидростатического взвешивания.

Метод гидростатического взвешивания основан на использовании закона Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная массе вытесненной им жидкости. Чтобы определить выталкивающую силу, определяют массу зерен на воздухе m_1 и в жидкости m_2 ; разность этих масс дает значение выталкивающего усилия. Зная плотность жидкости, по выталкивающему усилию можно вычислить объем, вытесненной образцом жидкости, т.е. объем зерен заполнителя. Так как плотность воды равна 1 г/см³, при определении массы в воде значение выталкивающей силы в г численно равно значению объема зерен в см³.

Так как взвешивание в воде сопряжено с возможностью ее проникания в поры зерен заполнителя, последний заранее насыщают водой в течение не менее 2-х часов.

Среднюю плотность зерен заполнителя в г/см³ или кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho_3 = \frac{m \times \rho_B}{m_1 - m_2}, \quad (4.35)$$

где: m – масса пробы заполнителя в сухом состоянии, г (кг)

m_1 – масса пробы заполнителя в водонасыщенном состоянии (результат взвешивания на воздухе, г (кг);

m_2 – результат взвешивания той же пробы в воде, т.е. масса гирь, уравновешивающих массу зерен в воде г (кг);

$\frac{m_1 - m_2}{\rho_в}$ – объем зерен заполнителя, см³;

$\rho_в$ – плотность воды, принимая равной 1 г/см³ (1000 кг/м³).

Приборы и материалы

1. Весы настольные циферблатные.
2. Весы с приспособлением для гидростатического взвешивания.
3. Шкаф сушильный.
4. Сосуд для насыщения заполнителя.
5. Сита из стандартного набора.
6. Щетка металлическая.

Методика испытаний

Пробы крупного заполнителя массой в 1000 г высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу.

Затем пробы заполнителей насыщают водой, опуская их в воду комнатной температуры на 2 ч для того, чтобы в процессе гидростатического взвешивания исключить проникание воды в поры заполнителей. Поскольку этот процесс длительный, для ускорения лабораторной работы студентам предлагаются *заранее приготовленные пробы заполнителей*, со значением массы в сухом состоянии и затем насыщенные водой. Насыщенные водой заполнители вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью, определяют массу на технических весах, а затем на гидростатических (рисунок 4., помещая заполнители в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду, и определяют массу гирь, уравновешивающих зерна в воде. При гидростатическом взвешивании пористых заполнителей, если они даже и в насыщенном водой состоянии легче воды, может случиться, что результат определения массы m_2 (масса пробы в воде) окажется отрицательным, заполнитель потянет рычаг весов не вниз, а вверх. В этом случае в расчетную формулу следует подставить m_2 со знаком минус, т.е. абсолютные значения m_1 и m_2 сложить.



Рисунок 4.9 - Гидростатические весы

Результаты испытаний. Плотность зерен заполнителя вычисляют по формуле 4.35 и заносят в таблицу 4.14. Справочные данные: средняя плотность зерен плотных заполнителей от 2,0 до 3,0 г/см³.

Таблица 4.14 - Результаты определения плотности зерен заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
1	2	3	4	5
Масса пробы сухого заполнителя m , г				
То же, насыщенного водой m_1 , г				
Результат взвешивания в воде (насыщенного водой заполнителя) путём гидростатического взвешивания m_2 , г				
Суммарный объем зерен пробы заполнителя ($m_1 - m_2$), см ³				
Средняя плотность зерен заполнителя в сухом состоянии, ρ_3 г/см ³				
То же, кг/м ³				

Заключение

Сравнить численные значения средней плотности зерен испытанных заполнителей и дать объяснение.

Задание 3. РАСЧЕТ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Зная насыпную плотность ρ_n (в кг/м³) и среднюю плотность зерен ρ_z (в кг/м³), можно для каждого из испытанных заполнителей рассчитать межзерновую **пустотность** в процентах по формуле:

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z}\right) \times 100 \quad (4.36)$$

Проделав этот расчет, следует сравнить пустотность гравия и щебня. Как правило, **пустотность щебня больше**, и это связано с формой его зерен. Взаимная укладка угловатых зерен щебня оказывается менее компактной, чем округлых зерен гравия.

Повышенная пустотность щебня – фактор негативный: при прочих равных условиях он приведен к необходимости повышенного расхода цемента для получения плотного бетона. Но с другой стороны, преимущество щебня перед гравием состоит в лучшем сцеплении с ним цементного камня, а это решающий фактор при получении высококачественных бетонов.

При сравнении межзерновой пустотности пористых заполнителей следует также обратить внимание на то, что у керамзитового гравия она меньше, у аглопоритового щебня больше.

Затем проанализируем свойства зерен испытываемых заполнителей. Данные из задания № 2 можно использовать для оценки водопоглощения заполнителей за время их пребывания в воде.

Водопоглощение по массе, %:

$$B_m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100, \quad (4.37)$$

Водопоглощение по объему, %:

$$B_v = B_m \times \frac{\rho_z}{\rho_n} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_2} \times 100 \quad \text{или} \quad B_v = B_m \times \frac{\rho_z}{\rho_B} \quad (4.38)$$

(обозначения величин приведены в задании 2)

Пористые заполнители – керамзитовый гравий и аглопоритовый щебень, естественно, имеют гораздо большее водопоглощение, чем природный гравий и гранитный щебень из плотных горных пород, т.к. последние – материалы весьма плотные. При приготовлении легкобетонных смесей это следует учитывать при дозировании воды и при выборе технологических приемов. В частности, бетонные смеси на пористых заполнителях после приготовления должны быть как можно быстрее уложены, в противном случае водопоглощение заполнителей приведет к

ухудшению удобоукладываемости бетонных смесей, и, как следствие, к снижению прочности бетонов.

Пористость зерен заполнителей в процентах определяется расчётным путём по формуле:

$$P_z = \left(1 - \frac{\rho_z}{\rho_{и}}\right) \times 100 \quad (4.39)$$

где ρ_z – средняя плотность зерен заполнителей, кг/м³

$\rho_{и}$ – истинная плотность зерен заполнителей, кг/м³

Определение плотности вещества (истинной плотности) производится после истирания материала в тонкий порошок с последующим определением объема жидкости, вытесняемой навеской порошка. Поскольку студенты уже ознакомились с этой методикой в ходе других лабораторных работ, здесь можно принять значения $\rho_{и}$, сообщаемые преподавателем.

Рассчитав пористость зерен заполнителей, следует сравнить полученные результаты и оценить эффективность технологии производства пористых заполнителей, в частности керамзитового гравия. Чем больше пористость заполнителя, тем меньше его материалоемкость, меньше энергоёмкость производства, ниже себестоимость, а с другой стороны, выше эффективность применения в легких бетонах, так как бетоны получаются более легкими, теплопроводность их меньше.

Дальнейший анализ экспериментальных данных позволяет оценить пористость зерен заполнителей качественно.

Коэффициент насыщения пор K_H показывает, какая часть общей пористости зерен заполнителя открыта и в данных условиях доступна заполнению водой.

$$K_H = \frac{B_V}{P_z} \quad (4.40)$$

Очевидно, что с точки зрения эксплуатационных свойств легких бетонов предпочтительна закрытая пористость заполнителя.

Результаты определения структурных и гидрофизических характеристик заносят в таблице 4.15

Таблица 4.15 - Структурные и гидрофизические характеристики пористых заполнителей

Определения	Гравий из горных пород (природный)	Щебень из горных пород (гранитный)	Гравий керамзитовый	Щебень алопоритовый
1	2	3	4	5
Насыпная плотность ρ_n , кг/ м ³ (из задания 1)				

Окончание таблицы 4.15

1	2	3	4	5
Средняя пустотность зерен ρ_z , кг/м ³ (из задания 3)				
Пустотность (межзерновая пустотность) V_n , %				
Масса пробы заполнителя в сухом состоянии m , (из задания 2)				
То же, в водонасыщенном состоянии m_1 , г				
Водопоглощение по массе B_m , %				
То же по объему B_v , %				
Плотность вещества (истинная плотность) ρ_u , кг/м ³				
Пористость зерен P_z , %				
Коэффициент насыщения пор водой K_n , отн. ед.				

Задание 4. ОПРЕДЕЛИТЬ ДРОБИМОСТЬ ПРИРОДНОГО ГРАВИЯ И ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ

Дробимость является косвенной характеристикой средней прочности крупных заполнителей. Прочность заполнителя характеризуется маркой, определяемой по дробимости заполнителей (по степени разрушения зерен), при сдавливании (сжатии) в стандартном цилиндре. Марка заполнителя по дробимости соответствует допустимой величине потери массы при просеивании на контрольном сите.

Дробимость (показатель дробимости) в процентах вычисляют по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \times 100, \quad (4.41)$$

где m – масса пробы заполнителя, г;

m_1 – масса остатка на контрольном сите после отсеивания раздробленных в цилиндре частиц заполнителей, г.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальным усилием 500 кН (50 тс).
2. Цилиндры стальные с внутренним диаметром 75 и 150 мм со съёмным дном и плунжером (рис. 3.2).
3. Весы настольные лабораторные.
4. Сита из стандартного набора.
5. Сито с сеткой № 2,25.
6. Шкаф сушильный.
7. Сосуд для насыщения щебня (гравия) водой.

Методика испытаний

В стальной цилиндр с внутренним диаметром и высотой 150 мм с высоты 50 мм засыпают пробу заполнителя так, чтобы верхний его уровень примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер (пуансон) и на гидравлическом прессе передают на заполнитель через плунжер (пуансон) сжимающее усилие 200 кН (20 тс). Скорость возрастания усилия нажатия пресса должна составлять 1...2 кН в секунду.

После сжатия пробы заполнителя указанным усилием пресс выключают, пробу высыпают из цилиндра в предварительно взвешенный сосуд и взвешивают. Затем ее просеивают через сито с размером отверстий, в четыре раза меньшим, чем наименьший номинальный размер испытываемой фракции заполнителя. Для фракции 10-20 мм предусмотрено сито с размером отверстий 2,5 мм.

После просеивания определяют массу остатка заполнителя на сите.

Дробимость D_p в % вычисляют с точностью до 1 % по формуле 4.41.

Результаты испытаний заносят в таблицу 4.16.

Таблица 4.16 - Результаты испытаний на дробимость крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень
Фракция, мм		
Размер отверстий контрольного сита, мм		
Усилие на плунжер, кН		
Масса пробы, г		
Масса остатка на контрольном сите m_1 , г		
Масса отсеянных зерен, г		
Показатель дробимости, D_p %		
Марка гравия (щебня)		
Соответствующая марке прочность при сжатии заполнителей из горных пород, МПа		

По вышеприведенным данным устанавливают марку по дробимости гравия и ориентировочную прочность горных пород, слагающих его зерна, и марку щебня по прочности.

При этом следует обратить внимание на то, что соотношение между прочностью горной породы и показателем дробимости для гравия и щебня различно. Например, при прочности породы 80...100 МПа показатель дробимости гравия 8...12 %, а щебня 20...25 %. Почему? Очевидно, потому, что показатель дробимости зависит не только от прочности испытываемого материала, но и от формы его зерен (для шаровидных зерен при той же нагрузке дробимость меньше, для угловатых – больше). Если обратиться к бетонам, то аналогичные условия работы заполнителя имеют место только в

крупнопористом бетоне, а в плотных бетонах при расположении зерен крупного заполнителя в сплошной среде растворной составляющей работа заполнителя иная, и усилие передается равномерно распределенным, а не сосредоточенным в точках контакта, как при испытании на дробимость. Поэтому заполнитель, показавший при стандартном испытании большую дробимость, не обязательно будет хуже в бетоне с точки зрения участия в формировании его прочности.

Заключение

Сравнить показатели дробимости гравия из плотных пород и щебня гранитного и объяснить результаты.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Прочность пористого заполнителя является величиной условной, характеризует его марку по прочности и определяется при испытании на сдвливание в цилиндре по стандартной методике.

Предел прочности при сдвливании в цилиндре, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сд} = \frac{F}{S}, \quad (4.42)$$

где: F – усилие при погружении пуансона до верхней риски, Н
 S – площадь поперечного сечения цилиндра, равная 17700 мм².

Результаты испытания зависят не только от прочности заполнителя, но и от формы его зерен. Здесь в полной мере справедливо сказанное выше (задание 4) по поводу аналогичной методики испытания плотных заполнителей для тяжелого бетона. Разделив усилие, согласно вышеприведенной формуле, не на действительную площадь сжатия зерен в контактах, а на всю площадь цилиндра, включая пустоты между зернами, мы сильно занижаем действительную прочность заполнителя и получаем лишь ее относительную характеристику. Исследования показали, что прочность керамзитового гравия в бетоне в среднем в 4,5 раза превышает показатель прочности при сдвливании в цилиндре, а прочность аглопоритового щебня – в 30 раз. Этими данными можно пользоваться для ориентировочной расчетной оценки прочности $R_{расч}$ названных пористых заполнителей по результатам стандартных испытаний в цилиндре:

$$R_{расч} \approx K \times R_{сд}, \quad (4.43)$$

где: K – коэффициент пропорциональности, принимаемый равным 4,5 для керамзитового гравия и 30 для аглопоритового щебня.

Еще одна возможность для предварительной ориентировочной оценки прочности керамических пористых заполнителей (к которым относится керамзит и аглопорит) состоит в использовании эмпирической зависимости прочности от плотности:

$$R \approx 15 \rho_3^2, \quad (4.44)$$

где ρ_3 – плотность зерен, г/см³

Приборы и материалы.

1. Пресс гидравлический с максимальным усилием 500 кН (50 тс).
2. Цилиндры стальные с внутренним диаметром 150 мм со съёмным дном и плунжером.
3. Щебень аглопоритовый и гравий керамзитовый.

Методика испытаний

В стальной цилиндр диаметром 150 мм засыпают заполнитель на высоту 100 мм, разравнивают его и затем вставляют в цилиндр пуансон с рисками, фиксирующими положение пуансона по отношению к цилиндру. До испытания нижняя риска должна находиться на уровне верхнего края цилиндра. Затем на гидравлическом прессе пробу заполнителя сдавливают через пуансон сжимающим усилием и фиксируют усилие в тот момент, когда верхняя риска погружающегося в цилиндр пуансона окажется на уровне верхнего края цилиндра. Расстояние между рисками пуансона – 20 мм, таким образом, испытание предусматривает сдавливание заполнителя на 1/5 его высоты (или 1/5 первоначального объема).

Полученные результаты испытания керамзитового гравия следует сравнить со стандартными требованиями (задание 1), установить, соответствует ли данный керамзитовый гравий требованиям стандарта и по какой категории качества.

Результаты испытаний. Прочность испытанных заполнителей вычисляют по формуле 4.42 и результаты заносят в таблицу 4.17.

Таблица 4.17 - Прочность пористых заполнителей

Определения	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Усилие при сдавливании заполнителя на 1/5 объема, Н		
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа		
Марка по насыпной плотности		
Требования стандартов по прочности		
Марка по прочности заполнителя: исходя из результатов испытания на сдавливание в цилиндре		
Марка по насыпной плотности		

Заключение

Сравнить прочность при сдавливании в цилиндре гравия керамзитового и щебня аглопоритового и дать объяснение.

Задание 6. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ОБЛАСТИ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕТОНАХ

На основании результатов выполненной работы и их анализа принимается заключение о достоинствах и недостатках каждого из испытанных заполнителей перед другими по насыпной плотности, пустотности, средней плотности и пористости зерен, соотношению открытой и закрытой пористости, прочности.

В соответствии с требованиями ТНПА определяется область применения природного гравия и щебня из горных пород в тяжелых бетонах соответствующих марок (классов) по прочности. В соответствии со свойствами испытанных пористых заполнителей делается заключение о преимущественном применении керамзитового гравия и аглопоритового щебня в тех или иных легких бетонах по назначению (теплоизоляционных, конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных) и проектной марке по прочности.

4.4. Лабораторная работа. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Цель работы

1. Практически ознакомиться со стандартными методами определения основных технических свойств портландцемента;
2. Закрепить полученные теоретические знания о гидравлических вяжущих веществах.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что представляют собой минеральные вяжущие вещества?
2. Какими общими свойствами обладают минеральные вяжущие вещества?
3. К какому классу вяжущих по условиям твердения и эксплуатации относится портландцемент?
4. основные стадии производства портландцемента.
5. Чем мокрый способ получения портландцемента отличается от сухого?
6. Какие минералы входят в состав портландцемента?
7. Что обеспечивает портландцементу гидравлические свойства?
8. По каким показателям оценивают качество портландцемента (в виде порошка; цементного теста; цементного камня)?
9. С какой целью определяют равномерность изменения объема цементного теста при твердении?
10. Какие виды портландцемента Вы знаете?
11. Чем свойства пуццоланового портландцемента отличаются от свойств портландцемента?
12. Чем свойства шлакопортландцемента отличаются от свойств портландцемента?

13. Чем технология шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента отличается от технологии получения портландцемента?

14. С какой целью при помоле клинкера вводят двуводный гипсовый камень?

15. Чем клинкер отличается от портландцемента?

16. Где применяют в строительстве портландцемент, шлако- и пуццолановый портландцемент?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение нормальной плотности цементного теста.

Задание 2. Определение сроков схватывания цементного теста.

Задание 3. Определение равномерность изменения объема цементного теста при твердении.

Задание 4. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности.

Задание 5. Определение марки (активности) цемента по ГОСТ 310.4.

Задание 6. Определение марки (активности) цемента.

Задание 7. Определение удельной поверхности цемента.

Пользуясь полученными основными показателями качества можно правильно выбрать рациональную область применения цемента.

Общие сведения о цементах

Портландцемент (ПЦ) – гидравлическое вяжущее вещество, способное после затворения³ водой твердеть и набирать прочность как на воздухе, так и в воде, получаемое совместным тонким измельчением портландцементного клинкера с необходимым количеством двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *замедляющего сроки схватывания* портландцемента.

Измельченный клинкер после затворения водой схватывается в течение нескольких минут, что затрудняет изготовление изделий. Для замедления сроков схватывания (до 3...5 час) 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.).

Портландцементный клинкер – продукт, получаемый путем обжига сырьевой смеси, состоящей из кальциево-карбонатных (известняк, мел, мрамор) и алюмосиликатных горных пород (глина) или из природных смесей известняка и глин (мергели) при соотношении 3:1 по массе, до спекания, т.е. частичного плавления сырьевой смеси при температуре 1450°C.

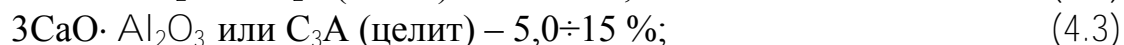
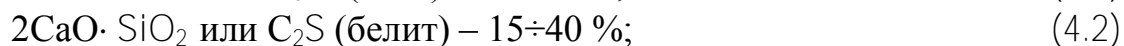
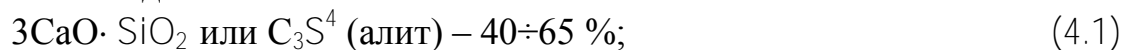
Внешне клинкер представляет собой спекшуюся сырьевую массу в виде зерен размером 10...60 мм.

Качество клинкера определяет все свойства ПЦ. Вводимые же в цемент добавки лишь регулируют его свойства. Качество клинкера зависит от его химического и минералогического состава.

Химический состав портландцемента (в %): CaO – 60...67; SiO₂ – 19...24; Al₂O₃ – 4...8; Fe₂O₃ – 2...6; MgO – не более 5; SO₃ – 1...4, свободный CaO – не более 1.

В портландцементе вышеуказанные оксиды находятся не в свободном состоянии, а в виде сложных соединений – клинкерных минералов.

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



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.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Цементным тестом называется однородная пластичная подвижная смесь цемента с водой. Пластичность цементного теста характеризуют его "нормальной густотой". **Нормальной густотой** цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика с полированной поверхностью, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5...7мм до пластинки, на которой установлено конической формы кольцо. Нормальная густота цементного теста *характеризуется количеством воды затворения*, выраженным в процентах от массы цемента и определяют с точностью до 0,25 %. Для цементов разных заводов нормальная густота колеблется от 20 до 35 %. Знание нормальной густоты цементного теста необходимо для дальнейших испытаний цемента (определения сроков схватывания цемента, определения равномерности изменения объема цемента). Чем меньше значение нормальной густоты цементного теста, тем более плотный бетон можно изготовить на таком цементе (большая подвижность бетонных и растворных смесей при меньшем содержании воды).

Термин "нормальная густота" относится исключительно к цементному тесту и является характеристикой водопотребности цемента, хотя термин "водопотребность цемента" обычно связывают с характеристикой консистенции стандартной растворной смеси (см. задание 5).

От величины нормальной густоты зависит расход воды при изготовлении бетонных и растворных смесей заданной пластичности, а,

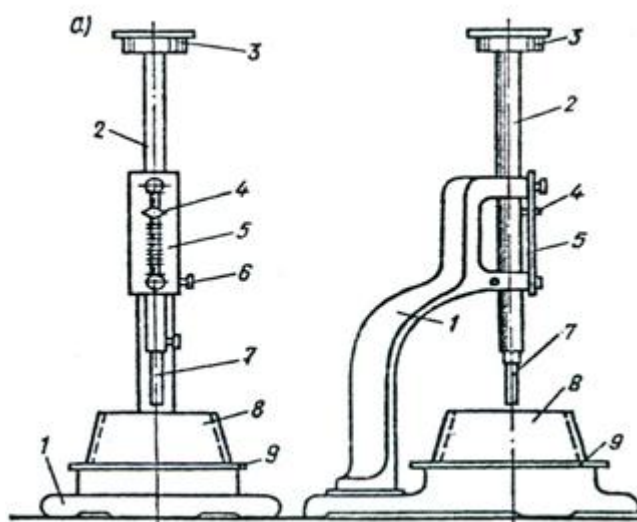
следовательно, плотность, прочность, морозостойкость готовых материалов и изделий.

Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком из нержавеющей стали.
2. Коническое кольцо к прибору Вика.
3. Мешалка для приготовления теста или чаша сферической формы, изготовленная из нержавеющей стали.
4. Лопатка для перемешивания цементного теста из упругой нержавеющей стали.
5. Весы с разновесами.
6. Цилиндр для отмеривания воды.
7. Нож.

Методика испытаний

Определение плотности цементного теста проводят на приборе Вика (рисунок 4.10).



1 – станина; 2 – стержень; 3 – шкала; 4 – игла; 5 – пестик; 6 – указатель; 7 – винт; 8 – кольцо; 9 – стеклянная пластина

Рисунок 4.10 - Прибор Вика

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

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г просеянного цемента, высыпают его в чашу сферической формы, предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием отмеренное количество воды (ориентировочно $110...112 \text{ см}^3$). В момент вливания воды включают секундомер. После

заливки воды через 30 с осторожно перемешивают цемент с водой, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания цемента с водой – 5 мин с момента приливания воды.

Сразу после окончания перемешивания кольцо наполняют цементным тестом в один прием и 5-6 раз встряхивают его, постукивая пластинкой с кольцом о стол. Затем поверхность теста выравнивают с краями кольца, срезая избыток теста ножом, протертым влажной тканью. Немедленно после этого приводят пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным (стопорным) винтом, затем, быстро отвинчивая его, освобождают стержень и предоставляют пестик свободно погружаться в тесто. Через 30 с от момента освобождения стержня производят отсчет погружения по шкале в миллиметрах.

При несоответствующей консистенции цементного теста опыт повторяют, соответственно изменяя количество воды и добиваясь погружения пестика на глубину, указанную ранее.

Результаты испытаний заносят в таблицу 4.18.

Определение "нормальной густоты" цементного теста

по ТНПА _____

Прибор _____

Таблица 4.18 - Результаты испытаний цемента на определение нормальной густоты

Определения	№ опыта		
	1	2	3
Масса цемента, г			
Количество воды затворения от массы цемента, %			
Объем воды, мл			
Показание прибора, т.е. пестик не доходит до пластинки, мм			

Заключение

Сделать выводы по результатам испытания.

Нормальная густота цементного теста (НГ) _____%

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Схватывание цемента – процесс загустевания цементного теста вследствие взаимодействия цемента с водой.

Процесс схватывания цемента заключается в необратимой потере подвижности цементного теста в результате гидратации и практически определяется на цементном тесте нормальной густоты, но уже по погружению иглы (вместо пестика) в приборе Вика с нагрузкой (300±2) г.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения (момента приливания воды) до того момента, когда игла не доходит до пластинки, на которой установлено кольцо с тестом на

1...2 мм; **концом схватывания** – время от начал затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения водой.

Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком.
2. Кольцо и пластинка к прибору Вика.
3. Механизированная мешалка для приготовления теста или чаша сферической формы, изготовленная из нержавеющей стали.
4. Лопатка для перемешивания цементного теста из упругой нержавеющей стали.
5. Весы с разновесами.
6. Стекланный цилиндр для отмеривания воды.
7. Металлический нож.

Методика испытаний

Испытание начинают с того, что в прибор Вика вместо пестика вставляют и закрепляют иглу $\varnothing 1,1$ мм и длиной 50 мм, а также 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 и в этом положении закрепляют стержень зажимным винтом, затем освобождают стержень, 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.

Как только тесто загустеет настолько, что опасность быстрого погружения иглы будет исключена, игле 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.

Однако определение схватывания цемента требует много времени и, как правило, до конца данное испытание учащимися не выполняется.

Аналогично определяют сроки схватывания цемента при добавке 2-5 % CaCl_2 , которая вводится *вместе* с водой затворения и способна ускорить сроки схватывания цемента.

Результаты испытаний заносятся в таблицы 4.19., 4.20.

Таблица 4.19 - Определение сроков схватывания цементного теста нормальной густоты

Определения	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	час	мин	час	мин
Затворение цемента водой				
Начало схватывания				
Конец схватывания				

Температура помещения _____ °С _____ К
 Относительная влажность воздуха помещения _____ %

Таблица 4.20 - Определение сроков схватывания цементного теста при введении химической добавки CaCl_2 (ускорителя твердения)

Показатели	1		2	
Добавка CaCl_2 к массе цемента, %				
Количество воды, соответствующее нормальной густоте, мл.				
Показания прибора (пестик прибора Вика не дошел до пластинки), мм				
Действие добавки CaCl_2				
Определения	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	ч	мин	ч	мин
Затворение цемента раствором CaCl_2				
Начало схватывания				
Конец схватывания				

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний и проанализировать, как добавка химического вещества изменяет сроки схватывания цементного теста.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЦЕМЕНТА ПРИ ТВЕРДЕНИИ

Равномерность изменения объема цемента (расширение в мм) – свойство цемента в процессе твердения образовывать цементный камень, деформация которого не превышает допустимых значений, установленных нормативным документом. Этот показатель является важным свойством цементного камня, связанный с его твердением.

При нарушении технологии производства цемента и отклонениях в составе сырьевой смеси могут быть получены цементы, со значительным изменением объема при твердении. Чаще всего причиной самопроизвольного разрушения цементного камня бывает наличие в цементном клинкере избыточного количества свободного (несвязанного) оксида кальция CaO , которое возникает из-за недостаточной температуры обжига. Такое же явление возможно и при повышенном содержании в цементном клинкере оксида магния MgO или при избыточном добавлении к цементу сульфата кальция, например, гипсового камня. Свободные оксиды CaO и MgO при температуре обжига 1450°C пассивируются⁵ за счет спекания мелких

кристаллов и поэтому процесс их гашения настолько замедлен, что в момент затворения цемента они не гасятся, а вступают в реакцию с водой только через несколько лет службы изделия, что ведет к разрушению строительных изделий. В лабораторных условиях у цемента определяется "равномерность изменения объема". Если цемент выдерживает испытание на равномерность изменения объема, то содержание в нем свободных СаО и MgO не превышает допусковых ГОСТом значений. В этом случае деформация цементного камня не ухудшает такие эксплуатационные свойства изделий на основе цементов как прочность, водонепроницаемость, морозостойкость.

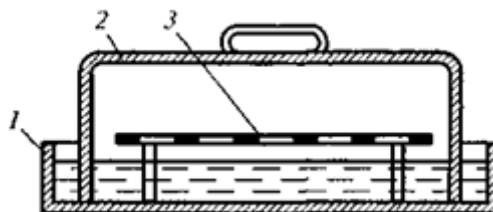
Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком.
2. Кольцо к прибору Вика.
3. Мешалка для приготовления теста.
4. Бачок для испытания кипячением.
5. Ванна с гидравлическим затвором из оцинкованной стали для хранения изготовленных образцов.
6. Весы технические с разновесами.
7. Цилиндр для отмеривания воды.
8. Чашка и лопатка для приготовления цементного теста.
9. Электроплитка.

Методика испытаний

Для испытания на равномерность изменения объема твердеющей системы из цемента и воды приготавливают тесто нормальной плотности согласно методике, приведенной в задании №1. Затем на технических весах отвешивают 4 навески теста по 75 г. Каждую навеску теста скатывают руками в виде шарика и помещают на стеклянную или металлическую пластинку, предварительно смазанную машинным маслом.

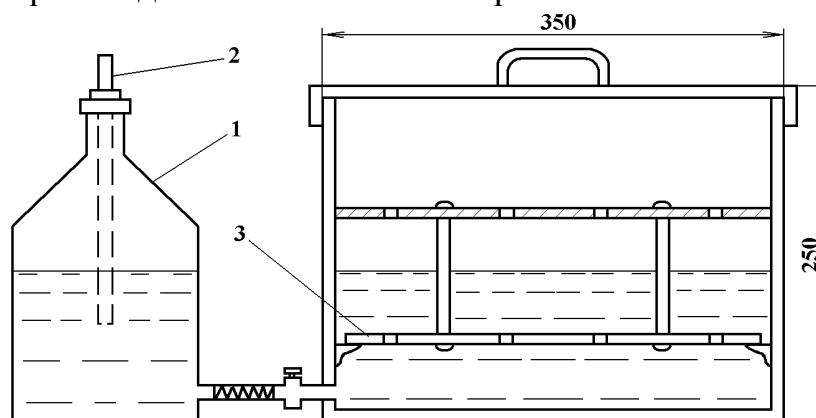
Пластинки с шариками легко встряхивают до момента расплыва шариков в лепешки диаметром 7...8 см, толщиной в середине их около 1 см. Для получения острых краев и гладкой закругленной поверхности лепешки заглаживают от наружных краев к центру смоченным водой ножом. Приготовленные таким образом лепешки на пластинках хранят в течение (24 ± 2) ч с момента приготовления в ванне с гидравлическим затвором (рис. 4.11), а затем подвергают испытанию кипячением.



1 – ванна, 2 – герметичная крышка, 3 – столик

Рисунок 4.11 - Ванна с гидравлическим затвором

Для *испытания кипячением* две цементные лепешки через (24 ± 2) ч после затворения снимают с пластинок, помещают в бачок с водой на решетку (рисунок 4.11). Затем воду в бачке доводят до кипения за 30...45 мин и кипение воды поддерживают в течение 3 ч. После охлаждения лепешек в бачке с водой производят их внешний осмотр.



1 – регулятор уровня воды, 2 – трубка, 3 – крышка, 4 – бачок, 5 – решетка, 6 – лепешки из цементного теста, 7 – шланг

Рисунок 4.11 - Бачок для испытания кипячением

О пригодности цемента судят по внешнему виду образцов, прошедших испытание. Цемент **не считается доброкачественным**, если на лицевой поверхности лепешек, подвергнутых испытанию, обнаружатся:

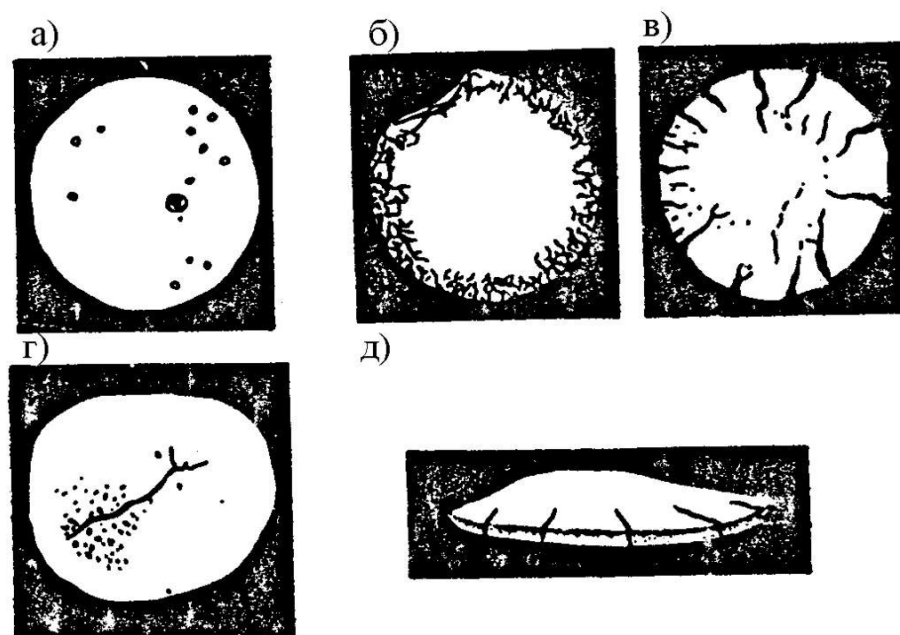
- радиальные, доходящие до краев и трещины или сетка мелких трещин, видимая невооруженным глазом или в лупу, а также
- какие-либо искривления и увеличения объема лепешек. Наличие искривлений устанавливается при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки.

Иногда в первые сутки после изготовления лепешек появляются трещины, не доходящие до краев лепешек (рисунок 4.12). Если на обратной стороне лепешек отсутствуют радиальные трещины и лепешки при постукивании одна о другую издадут звонкий звук, то появление трещин усыхания не являются признаком недоброкачественности цемента, а связано с внутренними усадочными напряжениями, возникающими при высыхании лепешек

Результаты определения записывают в таблицу 4.21.

Таблица 4.21 - Определение равномерности изменения объема цемента

Показатели	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 часов	
Заключение об испытании цемента на равномерность изменения объема	



a, б – выдержавшие испытания (*a* – дефектов нет, *б* – трещины усадки), *в...д* – не выдержавшие испытания (*в* – разрушение, *г* – радиальные трещины, *д* – искривление)

Рисунок 4.12 - Лепешки, испытанные на равномерность изменения объема цемента

Заключение

Проанализировать полученные результаты и сделать заключение о соответствии цемента требованиям ТНПА.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ И МЕЖЗЕРНОВОЙ ПУСТОТНОСТИ ЦЕМЕНТА

Насыпная плотность цемента зависит от степени его уплотнения и пустотности.

Насыпную плотность цемента необходимо знать для расчета состава бетонов и растворов, кроме того, ее значения учитывают при выборе емкостей для хранения цементов на складах и в бетоносмесительных отделениях заводов по производству железобетонных изделий.

Методика испытаний

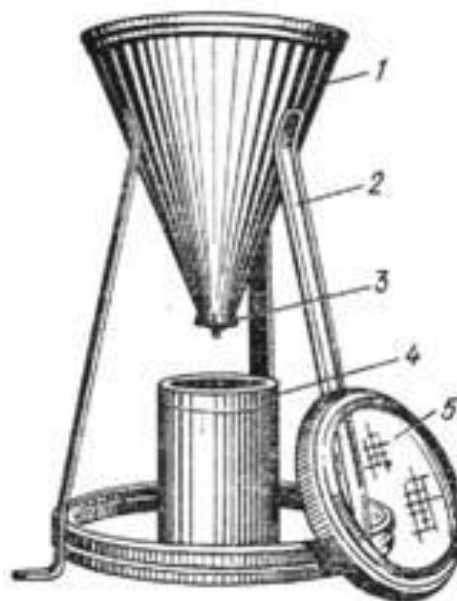
Определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии производится с помощью мерного цилиндрического сосуда вместимостью 1 л и стандартной воронки (рисунок 4.13). Цемент насыпают в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см от края сосуда до образования избыточного конуса. Излишек осторожно снимают вровень с краями сосуда линейкой, избегая уплотнения, после чего определяют массу сосуда с цементом.

Насыпную плотность цемента в кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho_H = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 100, \quad (4.45)$$

где m_1 - масса мерного сосуда, г;

m_2 - масса мерного сосуда с цементом, г;
 V - вместимость мерного сосуда, л.



1 – воронка, 2 – подставка, 3 – задвижки, 4 – мерный сосуд, 5 – сосуд

Рисунок 4.13 - Прибор для определения насыпной плотности цемента

Для сравнения можно определить насыпную плотность цемента и в уплотненном состоянии.

Расчет межзерновой пустотности (%) производится по формуле

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_H}{\rho_u} \right) \times 100 \quad (4.46)$$

где ρ_u – «истинная» плотность зерен цемента (3050...3150 кг/м³)

Результаты испытаний записывают в таблицу 4.22.

Таблица 4.22 - Определение насыпной плотности цемента

Показатели	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, $\rho_{нас}$, кг/м ³		
Плотность зерен цемента, ρ_u , кг/м ³		
Межзерновая пустотность, $V_{пуст}$, %		

Заключение

По результатам испытаний сделать выводы, проанализировать полученные результаты. Проанализировать влияние механического уплотнения и уплотнения от длительного хранения на насыпную плотность.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ ЦЕМЕНТА

Основным показателем качества цемента является его **активность**, численно выражающая **гарантированный предел прочности на растяжение при изгибе и при испытании на осевое сжатие** образцов-балочек, изготовленных в стандартных условиях. Активность цемента характеризует фактическую прочность при испытании образцов из стандартного цементного раствора.

Маркой цемента называется величина его *активности*, округленная в низшую сторону до целого стандартного значения. По механической прочности портландцементы подразделяются на марки 300, 400, 500, 550, 600, каждой из которых соответствует предел прочности при изгибе и при сжатии образцов в возрасте 28 суток приведенные в таблице 4.23.

Для быстротвердеющих портландцементов (БТЦ) и шлакопортландцементов (ШПЦ), кроме того, нормируется предел прочности в данные сроки твердения.

Таблица 4.23 – Марки цемента

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

Марку цемента устанавливают по показателям предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек в возрасте 28 суток.

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливаются образцы-балочки (призмы) размерами 40x40x160 мм из замеса цементно-песчаного раствора, пластичной консистенции, состоящей из одной части цемента и трех частей стандартного полифракционного песка для испытания цемента с размером зерен от 2,00 до 0,08 (состава 1:3 по массе) при водоцементном отношении 0,50.

Приборы и материалы

1. Мешалка лопастная или бегунковая для перемешивания цементного раствора.
2. Чаша и лопатка для перемешивания цементного раствора.
3. Встряхивающий столик и форма-конус.
4. Штыковка металлическая диаметром 26 мм.
5. Формы разъемные для изготовления образцов-балочек и насадка к ним.
6. Вибрационная площадка для уплотнения цементного раствора в формах балочек.
7. Прибор для испытания на изгиб образцов-балочек.

8. Пресс с предельным усилием до 500 кН для определения предела прочности при сжатии половинок балочек (призм).
9. Пластинки для передачи усилия сжатия на половинки образцов-балочек.
10. Средняя проба цемента.
11. Вода.
12. Стандартный песок.
13. Машинное масло.
14. Секундомер.
15. Весы технические с разновесами.
16. Цилиндр для отмеривания воды.
17. Нож.
18. Сосуд (ванна) с гидравлическим затвором для хранения изготовленных образцов.
19. Ванна с гидравлическим затвором для хранения образцов-балочек в воде.

Методика испытаний

Приготовление растворной смеси и определение ее консистенции

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливают образцы из цементного раствора на стандартном нормальном песке в соотношений 1:3 (Ц:П) по массе. Водоцементное отношение при этом должно быть не менее 0,40 ($V/C = 0,40$), а консистенция растворной смеси, определяемая на специальном приборе по расплыву конуса, должна быть 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 применяют стандартный полифракционный песок для испытания цемента (кварцевый природный песок с размером зерен от 0,08 до 2,0 мм и постоянным зерновым составом). Применение других песков, чтобы исключить их влияние на прочность образцов, не допускается.

Для определения консистенции цементного раствора отвешивают 500 г цемента и 1500 г стандартного песка, всыпают их в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашу, а затем перемешивают цемент с песком лопаткой в течение 1 мин. В центре сухой смеси делают лунку и вливают в нее воду в количестве 200 г ($V/C=0,40$). Через 0,5 мин после приливания воды еще раз перемешивают смесь в течение 1 мин, затем раствор переносят в предварительно протертую мокрой тканью чашу лабораторной бегунковой растворомешалки (рисунок 4.14) и перемешивают в ней в течение 2,5 мин (20 оборотов чаши-мешалки).

По окончании перемешивания форму-конус, установленную в центре стеклянного диска встряхивающего столика (рисунок 4.15), 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: нижний слой – 15 штыкованиями, верхний – 10.



Рисунок 4.14 - Мешалка для цементного раствора



Рисунок 4.15 - Встряхивающий столик

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 и производят встряхивание раствора на столике 30 ударами в течение 30 с и измеряют расплыв конуса по нижнему основанию штангенциркулем в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение. Консистенция раствора считается нормальной при расплыве конуса в интервале 106...115 мм. Если расплыв получается большим или меньшим, то делают новые замесы, с соответственно меньшим или большим количеством воды.

Количество повторных затворений и водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106...115 мм, заносится в таблицу 4.24.

Таблица 4.24 - Результаты определения консистенции раствора

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

Изготовление и хранение образцов-балочек

Образцы балочек готовят в трехсекционных формах (рисунок 4.16).

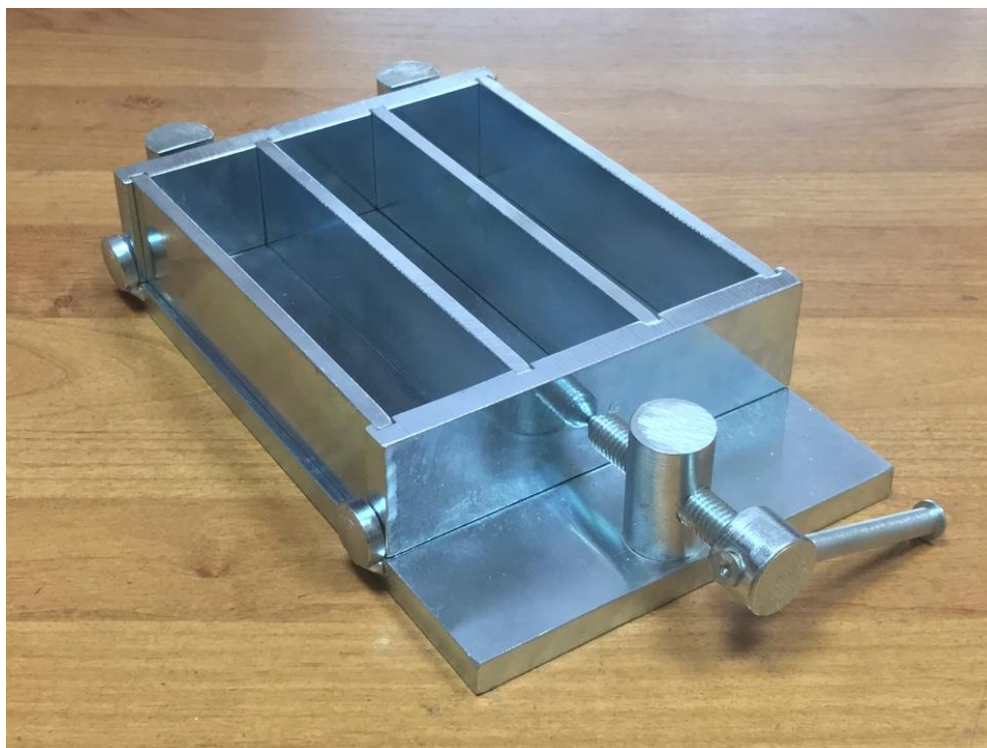


Рисунок 4.16 - Форма для образцов-балочек

Перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок форм и поддона слегка смазывают машинным маслом. Стыки наружных стенок друг с другом и поддоном формы необходимо промазывать тонким слоем солидола или другой густой смазки. На собранную форму устанавливают насадку.

Подготовленную форму закрепляют на виброплощадке, имеющей амплитуду вертикальных колебаний 0,35 мм, и частоту 2800...3000 кол. в минуту. Форму по высоте 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. По истечении 3 мин от начала вибрации образцов ее заканчивают. Форму снимают с виброплощадки, срезают смоченным водой ножом излишек раствора, зачищают поверхность образцов вровень с краями формы и маркируют их.

Образцы в формах хранят 24 ± 2 ч во влажных условиях в ванне с гидравлическим затвором. По истечении времени хранения образцы осторожно извлекают из формы и укладывают 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 емкости для хранения 20 ± 2 °С. Воду, в которой хранятся образцы, меняют через каждые 14 суток.

Испытание образцов производят через 28 суток нормального твердения, вначале на изгиб на установке для определения предела прочности (например, МИИ-100) (рисунок 4.17), а половинки – на сжатие на гидравлическом прессе.

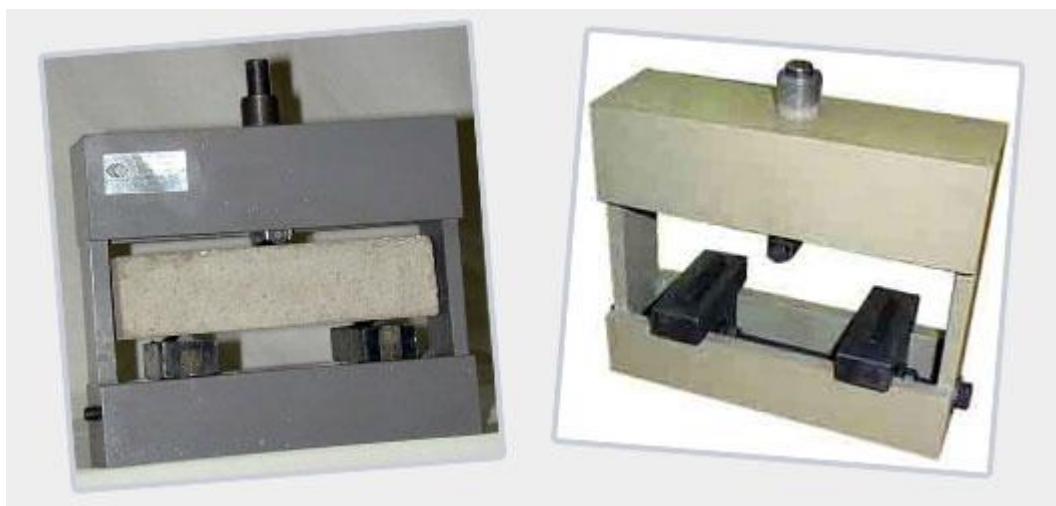


Рисунок 4.17 - Схема испытаний балочек на изгиб

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 должны быть вытерты насухо.

Испытание образцов-балочек производят на приборе МИИ-100, который автоматически вычисляет величину $R_{изг}$ для стандартных образцов.

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

Предел прочности при изгибе вычисляют, как среднее арифметическое значение из *двух наибольших* результатов испытания трех образцов. Результаты испытания заносятся в таблицу 4.25.

Испытание образцов на сжатие

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

Каждую половинку балочки помещают между двумя специальными нажимными пластинками так, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, заглаженная поверхность с маркировкой была обращена к испытателю, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца. Пластинки применяют для того, чтобы знать площадь поперечного сечения половинки образца-балочки, которая подвергается нагружению. Требуемая скорость увеличения нагрузки $(2,0 \pm 0,5)$ МПа в секунду устанавливается опытным путем.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ отдельного образца в МПа вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \quad (4.47)$$

где F – разрушающая нагрузка в (Н)

A – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, равная 2500 мм^2 .

Предел прочности портландцемента при сжатии вычисляют как среднее арифметическое *четырёх наибольших результатов испытаний* из шести. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа. Полученное таким образом фактическое значение прочности *называют активностью цемента*.

Результаты определения прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек заносят в таблицу 4.25.

Таблица 4.25 - Результаты испытаний для определения марки цемента

Предел прочности, МПа		Марка портландцемента по ТНПА
при изгибе $R_{изг}$	при сжатии $R_{сж}$	
1	1 4	М
2	2 5	
3	3 6	
Среднее из двух <i>наибольших</i> результатов $R_{изг} =$	Среднее из четырех <i>наибольших</i> результатов $R_{сж} =$	

Ориентировочно марку портландцемента можно определить в более раннем возрасте, *но не менее 3 суток*, по логарифмической зависимости прочности цементного раствора от времени его твердения.

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n} \quad (4.48)$$

где R_{28} – предел прочности цементного раствора при изгибе или сжатии в возрасте 28 суток твердения, МПа;

R_n – предел прочности раствора при изгибе или сжатии в возрасте n суток твердения, МПа;

n – возраст образцов к моменту испытания, сут. (не менее 3-х суток).

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ (АКТИВНОСТИ) ЦЕМЕНТА

Цель работы

На практике ознакомиться с методом определения активности цемента.

Приборы и материалы

1. Прибор ИАЦ-03.
2. Весы технические для отмеривания воды.
3. Секундомер.
4. Термометр.
5. Цемент.
6. Вода.

Методика определения активности (марки) цемента с помощью прибора типа ИАЦ

1. Назначение и применение прибора ИАЦ

Индикатор активности цемента ИАЦ (далее по тексту – прибор) предназначен для определения основного показателя качества цемента – его **активности**. Прибор обеспечивает определение активности портландцемента с минеральными добавками.

Устройство и принцип работы

Прибор состоит из двух функционально связанных частей (рисунок 4.18) блока электронного 1 и сосуда мерного 2 в сборе с датчиком 3. Датчик соединен с электронным блоком кабелем 4 и разъемом 5.

Сосуд мерный 2 предназначен для приготовления водно-цементного раствора контролируемой пробы цемента и установки в нем датчика 3 при проведении контроля ее качества.

Датчик 3 предназначен для преобразования физических параметров водно-цементного раствора в электрический сигнал, необходимый для работы электронного блока. Датчик установлен на крышке 9 мерного сосуда 2.

Электронный блок 1 предназначен для преобразования электрического сигнала, поступающего от датчика, в цифровые данные, соответствующие активности контролируемой пробы цемента и отображаемые на дисплее 8. На лицевой стороне блока 1 размещены: дисплей 8, на котором индицируются цифровые данные, а также символ «Е», появление которого означает необходимость подзарядки встроенного источника питания; кнопка

6, обеспечивающая индикацию на дисплее значений поправочного коэффициента, изменение его величины и запись в память активности цемента. На верхней стенке блока размещены два разъема для подключения датчика и блока питания.



Рисунок 4.18 - Индикатор активности цемента ИАЦ-04

Принцип работы прибора состоит в измерении удельной проводимости водно-цементного раствора контролируемой пробы цемента, ее преобразовании в данные соответствующие активности контролируемой пробы цемента и их индикации в цифровой форме на дисплее электронного блока.

Подготовка к работе

1. Производят отбор пробы контролируемого цемента массой $12 \pm 0,1$ г.
2. Готовят необходимое для проведения контроля количество воды с температурой 20 ± 2 °С из расчета расхода 400 мл для контроля одной навески цемента.

Порядок работы

1. Заливают в мерный сосуд приготовленную воду до уровня нижнего среза установленной на нем крышки с датчиком.
2. Устанавливают значение поправочного коэффициента, определенного при калибровке прибора по цементу, поставленному тем же производителем ранее. Для этого однократно нажимают и отпускают кнопку 6. Поочередным нажатием кнопок 6 или 7 устанавливают требуемое значение коэффициента. Одновременно нажимают и отпускают эти кнопки, после чего дисплей погаснет, и коэффициент будет введен в память прибора. Если в изменении коэффициента нет необходимости, выполняют только последнюю операцию.

При появлении на дисплее символа «Е» производят подзарядку системы питания. Для подзарядки встроенного источника питания электронного блока необходимо подключить к разъему АС/DC разъем

входящего в состав прибора блока питания, а его сетевую вилку – в электросеть; продолжительность подзарядки – не менее четырех часов.

3. Засыпают приготовленную навеску пробы цемента в мерный сосуд с водой, включают секундомер и перемешивают в течении 40 секунд кистью, входящей в состав прибора. По окончании перемешивания устанавливают датчик на мерный сосуд и нажимают кнопку 7; через 10 секунд фиксируют показания прибора и выключают его, нажав и отпустив кнопку 6.

4. Снимают крышку с датчиком с мерного сосуда и трубку с датчика, промывают и протирают полость сосуда, внутреннюю стенку трубки, часть датчика, погружаемого в раствор.

5. Повторяют приведенные выше операции для всех навесок взятых проб цемента и вычисляют среднеарифметический результат.

Методы и средства калибровки

1. Калибровка прибора производится при его вводе в эксплуатацию, а после этого периодически (не реже одного раза в месяц) по цементу каждого из производителей, поставляющих цемент данной организации.

2. Прялок проведения калибровки:

2.1. Выполнить операции, предусмотренные п.5, предварительно установив значение коэффициента равное 100. Вычислить и зафиксировать среднеарифметический результат.

2.2. Произвести испытания того же цемента в соответствии с методикой, приведенной в действующем ТНПА, зафиксировать результат.

2.3 Вычислить поправочный коэффициент для цемента, поставляемого данным производителем, по формуле:

$$K = 100 \frac{M}{N} \quad (4.49)$$

где: M - предел прочности при сжатии, полученный в результате испытаний по ГОСТ 310.4, МПа

N – результат полученный согласно п. 2.1.

2.4. При невозможности выполнения испытаний по ТНПА прибор может быть использован для предварительной оценки активности цемента. В этом случае при калибровке значение M должно быть равно пределу прочности при сжатии, указанному в сопроводительной документации на цемент. При этом погрешность, указанная в п. 2.2. *не гарантируется*.

Результаты определения активности цемента заносят в таблицу 4.26.

Таблица 4.26 - Результаты активности цемента

Показатели	1	2	3
Масса цемента, г			
Масса воды, г			
Время перемешивания, с			
Активность цемента, МПа			

Среднее значение активности цемента _____ МПа.

Полученное среднее значение активности цемента сравнивают с требуемым по ТНПА _____

Заключение

Сделать выводы о соответствии полученных значений нормативным документам.

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦЕМЕНТА НА ПРИБОРЕ ПСХ

Цель работы

Ознакомиться со стандартным методом определения удельной поверхности порошкообразных материалов на приборе ПСХ.

Приборы и материалы

1. Прибор ПСХ.
2. Сушильный шкаф.
3. Термометр.
4. Технические весы.
5. Емкость для отборов проб.
6. Секундомер.
7. Цемент.
8. Кружки из фильтрованной бумаги.

Общие сведения об оценке удельной поверхности дисперсных (порошкообразных) материалов

Удельная поверхность — отношение суммарной поверхности частиц дисперсного материала к единице объема или массы. Удельная поверхность связана с размером частиц обратно пропорциональной зависимостью. Для самых грубых оценок удельной поверхности используют ситовый анализ с рассевом на фракции и расчетом поверхности частиц всех фракций, принимая их форму шарообразной. Для более точного определения удельной поверхности применяют методы, основанные на определении воздухопроницаемости слоя уплотненного порошка, с последующим расчетом. Наиболее точным считается метод адсорбции азота или другого инертного газа, который учитывает не только адсорбцию открытой поверхности частиц, но и адсорбцию в их микропорах, которая не учитывается при геометрических методах оценки. Удельная поверхность рассчитывается по формуле:

$$S_{уд} = \left(\frac{a \times N}{M} \right) \times m, \quad (4.50)$$

где: ***a*** — удельная поверхность, покрываемая одной адсорбируемой молекулой;

N — постоянная Авогадро;

M — молекулярная масса адсорбированного газа;

m — масса адсорбированного газа, необходимого для полного покрытия мономолекулярным слоем всей внутренней поверхности пор 1 г сухого вещества. Для практических целей удельная поверхность дисперсных

материалов, рассчитывается по воздухопроницаемости. Это является вполне достаточным для оперативного и относительно несложного контроля процесса измельчения и качества готовой тонкодисперсной продукции.

Назначение прибора. Прибор ПСХ предназначен для определения тонкости помола порошкообразных материалов по величине удельной поверхности, которая связана со средним соотношением частиц (мкм):

$$D = \frac{60000}{S \times \rho} \quad (4.51)$$

где: S – удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$;

D – средний размер частиц, мкм;

ρ – истинная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$

Принцип действия прибора основан на соотношении Козени-Кармана, устанавливающим зависимость между дисперсностью частиц, пористостью слоя и его проницаемостью.

Устройство прибора ПСХ. Схема прибора изображена на рисунке 4.19.

Состав прибора. В комплект прибора ПСХ входят:

- 1) Измерительный блок.
- 2) Кювета с плунжером для размещения в ней исследуемого порошка.
- 3) Дополнительно для ПСХ-12(SP) кювета для пористого образца.
- 4) Пробойник для изготовления фильтров-вкладышей.
- 5) Встроенный в прибор контрольный эталон для периодического оперативного контроля и проверки прибора.
- 6) NOTEBOOK с блоком питания.
- 7) Оптическая мышь.
- 8) CD-диск с программным обеспечением ПСХ.
- 9) Соединительные кабели.



Рисунок 4.19 - Схема прибора ПСХ-10 для определения удельной поверхности вяжущих

Автоматически по заданной программе и команде пользователя:

1. Производит настройку прибора: калибрует кювету по высоте; проверяет герметичность; контролирует свою работоспособность по удельной поверхности встроенного контрольного эталона.
2. Устанавливает число повторных измерений, производит измерения, подсчитывает их среднюю величину и погрешность.
3. В режиме реального времени отображает на дисплее NOTEBOOK измеряемые параметры: высоту слоя порошка, вязкость и температуру воздуха, установленное оператором число повторных измерений и др.
4. Представляет, дополняет и корректирует таблицу плотностей исследуемых материалов, данные которой автоматически используются в расчетах.
5. Представляет результаты измерений в виде протокола, включающего исходные данные исследуемого порошка (или пористого образца), его удельную поверхность, размер частиц, коэффициент газопроницаемости, среднее из повторных измерений, погрешность этих измерений и сводную таблицу серии измерений.
6. Сохраняет в памяти и готовит для распечатки на принтере сводные данные о серии измерений с указанием даты и времени их выполнения.
7. Совмещается с фотоседиментометром ФСХ-5 в одном NB.

Методика испытаний

Для определения величины удельной поверхности необходимо:

1. Высушить материал до воздушносухого состояния при температуре 105...110 °С (известь-кипелку и цемент высушивать не следует);
2. Охладить до комнатной температуры и взвесить с точностью до 0,01 г пробу массой $m = 3,33 p$ (величина навески для ряда материалов приведена в таблице 4.27); p – плотность вещества материала.
3. Навеску установить в прибор и автоматически определить результат.

Таблица 4.27 - Перечень материалов и величина навесок для определения удельной поверхности на приборе ПСХ

Наименование материала	Истинная плотность	Навеска материала
Песок	2,65	8,83
Известь негашеная «кипелка»	2,80	9,32
Шлак	2,80	9,32
Известняк CaCO ₃	2,80	9,32
Доломит CaCO ₃ ·MgCO ₃	2,90	9,73
Цемент	3,00	10,00
Зола	3,00	10,00
Клинкер портландцементный	3,00	10,00
Известь гидратная «пушонка»	2,20	7,32

Результаты определения удельной поверхности на приборе ПСХ заносят в таблицу 4.28.

Таблица 4.28 - Результаты определения удельной поверхности

Определение	Единицы измерений	Количество испытаний		
		1	2	3
Навеска портландцемента, m	г			
Вычисление удельной поверхности S_{ya}	см ² /г			
Среднее арифметическое значение	см ² /г			

Заключение

Сделать вывод по результатам испытаний тонкости помола порошкообразных материалов по величине удельной поверхности.

4.5. Лабораторная работа. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Цель работы

1. Освоить методику проектирования рационального состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом;
2. Ознакомиться с методом и приборами для определения показателей, характеризующих удобоукладываемость бетонной смеси;
3. Определить фактический расход составляющих бетонной смеси на 1 м³ бетона после изготовления пробных замесов;
4. Изготовить опытные образцы из бетонной смеси для определения прочности бетона при сжатии.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что представляет собой бетон и бетонная смесь?
2. Провести классификацию бетона по средней плотности.
3. Какие компоненты входят в состав тяжелого цементного бетона?
4. Что является крупным заполнителем в тяжелых бетонах?
5. Какие значения имеет вода в бетонной смеси?
6. Какую роль в бетоне выполняют крупные заполнители?
7. Какими показателями характеризуют удобоукладываемость бетонной смеси?
8. От каких факторов зависит удобоукладываемость бетонной смеси?
9. Какие исходные показатели необходимо знать для проектирования состава тяжелого бетона?
10. Какие способы применяют для уплотнения бетонной смеси?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого бетона для пробного замеса.

Задание 2. Изготовление пробных замесов и определение удобоукладываемости бетонной смеси.

Задание 3. Определение плотности бетонной смеси. Изготовление контрольных бетонных образцов и расчет фактического расхода составляющих бетона.

Общие сведения о бетоне и бетонных смесях. Бетон и бетонные смеси

Бетон – это искусственный камень. Получают его в результате самоотвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной бетонной смеси, состоящей из минерального вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей и, при необходимости, различных добавок. Минеральные вяжущие вещества и вода – *активные составляющие в бетоне*, мелкий и крупный заполнитель – *пассивные* (при отсутствии методов специальной их активации).

Бетонная смесь – это рационально составленная смесь составляющих бетона до начала затвердевания. Смесь сухих компонентов (без 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, образующееся при затворении цемента определенным количеством воды, обволакивает зерна песка (мелкого заполнителя), щебня или гравия (крупных заполнителей) и играет роль своеобразной смазки, придающей бетонной смеси необходимую подвижность.

Зерна заполнителей, надежно связанные цементным камнем, образуют *жесткий скелет бетона*, уменьшая усадку бетона, возникающую в результате усадочных деформаций цементного камня при твердении.

Подбор состава тяжелого (обычного) бетона состоит из определения наиболее рационального соотношения между материалами, составляющими бетон – цементом, водой, песком, щебнем или гравием. Соотношение указанных материалов должно при наименьшем расходе цемента обеспечивать получение бетонной смеси требуемой подвижности (жесткости), а также бетона заданной марки М (класса С) по прочности в установленные сроки.

Технологические свойства бетонной смеси оценивают подвижностью в см или *жесткостью* в сек. По подвижности и жесткости различают бетонные смеси: сверхжесткие (СЖ), жесткие (Ж), низкопластичные (П1), пластичные (П2, П3) и литые (РК). Контрольными характеристиками качества бетона по прочности являются *классы и марки*. Основной характеристикой бетона является класс бетона по прочности на сжатие и, при необходимости, при осевом растяжении или растяжении при изгибе.

Марка бетона по прочности на сжатие (М) характеризуется средним значением предела прочности бетона *без учета коэффициента вариации (изменчивости)*.

Бетон – материал неоднородный. Его прочность колеблется от замеса к замесу, и даже образцы, взятые из одного замеса, заметно отличаются по прочности. Это объясняется изменчивостью в качестве сырья, неточностью его дозировки, неоднородностью перемешивания и уплотнения, различием в режиме твердения. Поэтому средняя кубиковая прочность бетона на осевое сжатие f_{cm} и определяемая на ее основе марка бетона, не дает гарантии получения именно этой прочности бетона (прочность может оказаться как больше, так и меньше заданной). Поэтому было введено понятие *класс бетона по прочности на сжатие*.

Класс бетона по прочности на сжатие – количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемое буквой «С»⁶ и числами перед чертой, выражающими значение нормативного сопротивления (f_{ck} , МПа), устанавливаемого при испытании цилиндрических или призматических образцов (EN 206-1 Бетон. Технические условия, эксплуатационные характеристики, производство и критерии соответствия), после черты – значение гарантированной прочности бетона ($f_{c,cube}^G$, МПа), определяемой при испытании кубов с размером ребра 15 мм с учетом статистической изменчивости прочности с гарантированной обеспеченностью 0,95.

Установление требований к бетону и бетонной смеси

Класс бетона, отпускная прочность и другие специальные требования (морозостойкость, химическая стойкость, истираемость и т.д.) определяется условиями эксплуатации конструкции и указываются в рабочих чертежах и технической нормативной документации на данный вид изделий.

В 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, а также достаточную прочность при сжатии и морозостойкость. Марки дорожного бетона по прочности устанавливают в зависимости от назначения бетона.

Удобоукладываемость бетонной смеси, если она не задана, выбирается в зависимости от размеров и сложности конфигурации изделия, плотности армирования, способов укладки и уплотнения бетонной смеси (таблица 4.29).

Для качественного уплотнения бетонная смесь должна иметь показатели подвижности или жесткости, приведенные в таблице 4.29, определяемые непосредственно перед укладкой в покрытие или основание.

Таблица 4.28 - Требования к прочности бетона для дорожных покрытий

Назначение	Марка 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	250, 300, 350
Бетон для оснований усовершенствованных капитальных покрытий	20, 25, 30, 36	100, 150, 200, 250

Таблица 4.29 - Рекомендуемая удобоукладываемость бетонной смеси для различных конструкций

Вид конструкций, изделий и метод их изготовления	Подвижность, см	Показатель жесткости, с
<u>Монолитные конструкции</u> Подготовка под фундаменты и уплотнения основания дорог; уплотнение покрытий бетоноукладочными машинами	1...2	30...60
Полы, покрытия дорог и аэродромов, массивные неармированные конструкции, уплотнение покрытий площадными вибраторами	2...3	25...30
Массивные армированные конструкции Тонкостенные конструкции, сильно насыщенные арматурой	2...4 6...8	15...25 6...10
<u>Сборные конструкции</u> Изделия, формуемые с немедленной распалубкой	0	80...160
Стеновые панели, формуемые в горизонтальном положении с виброгрузом	0	60...80
Изделия, формуемые вибропрокатом	0	50...60

Выбор материалов для бетона осуществляется исходя из требований, предъявляемых к бетону, условий эксплуатации конструкции, особенностей технологии изготовления и экономических соображений.

Цемент. Согласно ТНПА марку цемента выбирают в зависимости от требуемой прочности бетона при сжатии. Для экономного расходования цемента необходимо, чтобы его марка превышала заданную прочность бетона примерно в 1,5 раза.

Между маркой цемента и прочностью бетона при сжатии существует зависимость, которая выражается формулой

$$R_{ц} \approx 2 R_{б} \quad (4.52)$$

Для бетонов высоких марок ($C^{50/60} \dots C^{80/95}$), когда $R_6 \geq R_{ц}$, соотношение $R_6/R_{ц}$ близко к 1.

Рекомендуемые и допускаемые марки цемента в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие следует принимать в соответствии с таблицей 4.30.

Таблица 4.30 - Рекомендуемая и допускаемая марки цемента

Класс бетона по прочности на сжатие	Марки цемента для бетона, $R_{ц}$	
	рекомендуемые	допускаемые
$C^{8/10} \dots C^{20/25}$	400	500
$C^{25/30}$	500	550, 600
$C^{30/37}$	550	500, 600
$C^{35/45} \dots C^{90/105}$	600	550, 550

Вид цемента следует выбирать в соответствии с назначением конструкций и условий эксплуатации, требуемого класса бетона, на основании указаний стандартов, технических условий или документации на изделия, конструкции и сооружения с учетом ТНПА.

Для бетона однослойных и двухслойных дорожных покрытий следует принимать портландцемент не ниже М400 с содержанием трехкальциевого алюмината (C_3A) менее 10 %, а для оснований бетонных дорог желательно использовать дорожные пластифицированные или гидрофобные цементы.

ТНПА устанавливает минимальный и максимальный расход цемента в бетоне (таблица 4.31).

Таблица 4.31 - Минимальный расход цемента C_{\min} для получения нерасслаиваемой плотной бетонной смеси ($\text{кг}/\text{м}^3$)

Вид смеси	Наибольшая крупность заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая ($Ж > 20$ с)	160	150	140	130
Жесткая ($Ж = 10-20$ с)	180	16	150	140
Малоподвижная ($Ж = 5-10$ с)	200	180	160	150
Подвижная ($ОК = 1-10$ см)	240	220	200	180
Очень подвижная ($ОК = 10-16$ см)	250	230	210	190
Литая ($ОК > 16$ см)	250	230	210	190

Для неармированных бетонных сборных изделий минимальные типовые нормы расхода цемента должны быть не менее $200 \text{ кг}/\text{м}^3$ бетона, а для армированных (железобетонных) изделий – не менее $220 \text{ кг}/\text{м}^3$ бетона. Типовая норма расхода цемента не должна превышать 600 кг на 1 м^3 бетона.

Заполнители. Заполнители для бетона должны удовлетворять требованиям стандартов в отношении прочности, зернового состава, наличия вредных примесей, морозостойкости.

В качестве крупных и мелких заполнителей для бетона следует применять щебень из природного камня, гравий, щебень из гравия и песок, удовлетворяющие требованиям ТНПА. Допускается применение в качестве заполнителя щебня из доменного шлака, щебня и песка из шлаков тепловых электростанций (ТЭС), песка из отсевов дробления горных пород, а также дробленого бетона из некондиционных бетонных и железобетонных изделий.

При выборе вида крупного заполнителя **предпочтение следует отдать щебню**. Применение гравия возможно только при соответствующем технико-экономическом обосновании. **Для высокопрочных бетонов следует применять только щебень**, прочность которого должна превышать среднюю прочность бетона не менее чем в 2 раза для бетона класса С20/25 и выше. Максимальная крупность зерен щебня (гравия) должна быть не более 1/3 минимального размера конструкции и не более 3/4 наименьшего расстояния между стержнями арматуры.

Щебень необходимо изготавливать из прочных горных пород: для однослойного покрытия и верхнего слоя двухслойных покрытий – щебень из изверженных пород должен иметь прочность не менее 120 МПа, а для нижнего слоя двухслойных покрытий прочность щебня должна быть более 40 МПа.

Вода. Согласно СТБ 1114 для изготовления бетонных смесей и поливки уложенного бетона применяют питьевую воду или любую пригодную воду, не содержащую вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению бетона. К **вредным примесям** относят сульфаты, минеральные и органические кислоты, жиры, сахар и др.

В зависимости от типа бетонируемых конструкций и вида армирования (с напрягаемой или ненапрягаемой арматурой) в воде, применяемой для затворения бетонной смеси, максимальное содержание растворимых солей допускается от 3 000 до 10 000 мг/л, сульфатов – от 2 000 до 5 000 мг/л, хлоридов – от 650 до 4 500 мг/л, взвешенных частиц – от 200 до 500 мг/л. Водородный показатель воды рН не должен быть меньше 4 и более 12,5.

В воде для промывки заполнителей, поливки рабочих швов, законченных наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций, максимально допускаемое содержание растворимых солей, сульфатов, хлоридов и взвешенных частиц отличается от допускаемого в воде для затворения бетонной смеси. Допускаемые пределы содержания их в воде приведены в СТБ 1114.

Пластификаторы. Пластифицирующие добавки применяют для увеличения подвижности и снижения водопотребности бетонной смеси, что наряду с экономией цемента сокращает усадочные явления в бетонах. Кроме того, пластифицирующие добавки способствуют повышению морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Химические добавки должны удовлетворять требованиям СТБ 1112.

Наиболее распространенным суперпластификатором является суперразжижитель С-3 на основе сульфированных

нафталинформальдегидных соединений. Он является обязательным компонентом смесей для получения литых высокопрочных бетонов гидроизоляционного назначения с высокой водонепроницаемостью.

Другие виды пластифицирующих добавок: ЛСТ – лигносульфонаты технические; ЛСТМ-2 – лигносульфонаты технические модифицированные; ГКЖ-10 – этилсиликонат натрия; ГКЖ-11 – метилсиликонат натрия.

Задание 1. РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО (ОРИЕНТИРОВОЧНОГО) СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ДЛЯ ПРОБНОГО ЗАМЕСА

Состав бетона выражают расходом всех его составляющих материалов по массе на 1 м³ 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 : X : Y (цемент : песок : щебень (гравий)) при требуемом количестве воды (В/Ц=a).

Различают *лабораторный состав бетона*, рассчитанный для составляющих материалов (песок, щебень (гравий)) в сухом состоянии, и *производственный состав* – для материалов с естественной влажностью.

Из существующих нескольких методов расчета составов тяжелого бетона наиболее простым является метод расчета по "абсолютным объемам", в основу которого положено условие, что бетонная смесь после укладки в форму и уплотнения не будет иметь пустот. Состав бетона по методу "абсолютных объемов" подбирают в два этапа. На *первом* этапе рассчитывают ориентировочный состав бетона. На *втором* этапе по результатам пробных замесов расчет проверяют и уточняют с учетом испытаний контрольных образцов.

Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого бетона

Для расчета состава тяжелого бетона необходимо знать следующие исходные данные:

1. Требуемую прочность бетона на осевое сжатие при испытании кубов (марку), $f_{с.пр}$ или класс бетона «С». Требуемую среднюю прочность бетона на осевое сжатие определяют исходя из заданного класса по прочности на осевое сжатие по формуле:

$$f_{с.пр} = 1,1 \frac{C}{K_{\sigma}} \quad (4.53)$$

где: C – класс бетона по прочности на сжатие;

K_{σ} – коэффициент, зависящий от вида бетона (для тяжелого бетона $K_{\sigma}=0,778$).

Если в задании указана только марка бетона, то требуемую прочность бетона в МПа рассчитывают по формуле:

$$f_{с.пр} = 1,1M \quad (4.54)$$

где: M – заданная марка бетона.

В нормативной и технической литературе встречается и старый термин – *марка бетона по прочности на сжатие*, которая обозначается

буквой M , после которой ставится число, обозначающее предел прочности бетона на сжатие в кГс/см^2 .

2. Требуемую удобоукладываемость (подвижность OK , см или жесткость $Ж$, с) бетонной смеси.

3. Вид и активность (марка) цемента, R_u .

4. Насыпную плотность цемента, $\rho_{н.ц.}$

5. Насыпную плотность мелкого заполнителя, $\rho_{н.м.з.}$

6. Насыпную плотность крупного заполнителя, $\rho_{н.к.з.}$

7. Истинную плотность цемента, ρ_u .

8. Плотность зерен мелкого заполнителя, $\rho_{м.з.}$

9. Плотность зерен крупного заполнителя, $\rho_{к.з.}$

10. Пустотность крупного заполнителя, $V_{п.к.з.}$

11. Наибольшая крупность зерен щебня или гравия d_g

12. Влажность мелкого и крупного заполнителей, $W_{м.з.}$, $W_{к.з.}$.

Исходные данные для подбора состава бетона приведены в таблице 4.32. Студенты, выполняющие вариант расчета № 1, используют физические характеристики заполнителей и цемента, полученные в предыдущих лабораторных работах.

Таблица 4.32 - Исходные данные для подбора состава бетона

№ вариант	Средняя прочность, МПа $f_{с,гр}$	Подвижность (жесткость) бетонной смеси, см/(сек)	Минимально допустимый расход цемента, кг/м^3	Насыпная плотность составляющих бетона, кг/м^3			Плотность зерен заполнителей, кг/м^3		Истинная плотность цемента, кг/м^3
				заполнители		цемент	мелкого	крупного	
				мелкий	крупный				
1	7,5	3	220	Фактические характеристики заполнителей и цемента					3050
2	10	5	250	1540	1540	1050	2560	2600	3060
3	15	4	300	1550	1580	1100	2580	2700	3070
4	20	3	325	1560	1400	1150	2600	2620	3080
5	25	2	350	1570	1420	1200	2620	2640	3090
6	30	/100/	350	1580	1440	1250	2640	2660	3100
7	40	/180/	350	1520	1410	1020	2520	2450	3060
8	50	/150/	350	1590	1460	1300	2680	2680	3110
9	60	/200/	350	1600	1480	1280	2700	2700	3120
10	7,5	4	300	1530	1550	1060	2540	2550	3070
11	12,5	3	325	1540	1590	1100	2560	2650	3080
12	45	2	350	1550	1410	1140	2580	2630	3090
13	55	1	325	1560	1430	1160	2600	2650	3100

Примечание: максимальная крупность заполнителя $d_g = 20$ мм.

Состав бетона для пробных замесов рассчитывают в следующей последовательности:

вычисляют водоцементное отношение бетонной смеси В/Ц;

определяют расход воды, расход цемента,

определяют расходы крупного и мелкого заполнителей на 1 м^3 бетонной смеси.

Вычисление водоцементного отношения (В/Ц)

Водоцементное отношение В/Ц вычисляют, исходя из требуемой прочности бетона, активности цемента и с учетом вида и качества составляющих по следующим формулам:

для пластичных бетонных смесей с водоцементным отношением $В/Ц \geq 0,40$ (т.е. для обычных бетонов)

$$R_b = A \times R_{ц} (Ц/В - 0,5) \quad (4.55)$$

для особо жестких бетонных смесей с водоцементным отношением $В/Ц < 0,4$ (для высокопрочных бетонов)

$$R_b = A_1 \times R_{ц} (Ц/В + 0,5) \quad (4.56)$$

где R_b – прочность бетона при сжатии, МПа;

$R_{ц}$ – активность цемента, МПа;

A и A_1 – коэффициенты, учитывающие качество материалов (таблица 4.33).

Таблица 4.33 - Значение коэффициентов A и A_1

Качество заполнителей и цемента	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

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 должны быть чистые, промытые и фракционированные, с оптимальным зерновым составом.

К *рядовым* относятся материалы 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) и мелкие пески, цементы низкой активности.

После преобразования относительно В/Ц формулы (4.55) и (4.56) соответственно имеют следующий вид:

$$B/C = \frac{A \cdot R_u}{R_b + 0,5A \cdot R_u} \quad (4.57)$$

$$B/C = \frac{A_1 \cdot R_u}{R_b - 0,5A_1 \cdot R_b} \quad (4.58)$$

Для дорожного бетона можно принять

$$B/C = \frac{0,36 R_u}{R_b + 0,36 \cdot 0,2 R_u}$$

Где R_u – активность цемента;

R_b – прочность бетона.

Для обеспечения требуемой морозостойкости бетона и его стойкости против совместного действия хлористых солей, применяемых для борьбы с гололедом, и замораживания бетона при отрицательных температурах, водоцементное отношение следует принимать для однослойных и верхнего слоя двухслойных дорожных покрытий не более 0,5. Марки бетона по морозостойкости назначают в соответствии с климатическими условиями района строительства (таблица 4.34).

Таблица 4.34 - Выбор марки дорожного бетона по морозостойкости

Среднемесячная температура воздуха наиболее холодного месяца	Марка по морозостойкости, F	
	Бетон однослойный верхнего слоя двухслойных покрытий	Бетон нижнего слоя двухслойных покрытий и оснований усовершенствованных дорог
От 0 до 10 °С	100	Не нормируется
От – 10 до – 20 °С	150	50
Ниже – 20 °С	200	50

Определение расхода воды

Расход воды в л на 1 м³ смеси (*водопотребность*) определяют ориентировочно исходя из требуемой удобоукладываемости бетонной смеси (таблица 4.35), а так же с учетом вида и наибольшей крупности зерен щебня или гравия (d_g). При определении количества воды учитывается также «нормальная густота» цементного теста и модуль крупности песка (примечание к табл. 4.35).

Определение расхода цемента

Расход цемента C на 1 м³ бетона, зная расход воды B , вычисляют по формуле

$$C = B : (B/C) \quad (4.59)$$

где C – расход цемента, кг;

B – расход воды в л (кг);

(B/C) - водоцементное отношение.

Таблица 4.35 - Водопотребность бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды в л (кг) на 1 м ³ бетонной смеси при наибольшей крупности заполнителя d _g , мм					
Подвижность ОК, см	Жесткость, с	Гравий			Щебень		
		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

Примечание:

1. Расход приведен для смеси на портландцементе с нормальной густотой цементного теста (НГЦТ) 26...28 % и на песке с модулем крупности $M_{кр}=2$.
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.

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется меньше **минимально допустимого ПО тпа** (например, 200 или 220 кг/м³), то из условия получения плотной структуры бетона, расход цемента увеличивают до требуемой нормы, соответственно увеличивая расход воды, чтобы сохранить рассчитанное В/Ц, или вводят тонкомолотую добавку.

Расчет расхода заполнителей (песка и крупного заполнителя)

Расход крупного и мелкого заполнителей вычисляют, исходя из двух условий:

- 1) Сумма абсолютных (без воздушных пустот) объемов всех компонентов бетона равна 1 м³ уплотненной бетонной смеси, следовательно,

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{М.З.}{\rho_{М.З.}} + \frac{К.З.}{\rho_{К.З.}} = 1 \quad (4.60)$$

где **Ц**, **В**, **М.З.**, **К.З.** – расход цемента, воды мелкого и крупного заполнителей (кг);

$\rho_{ц}, \rho_{в}$ – истинная плотность цемента и воды, кг/м³;

$\rho_{М.З.}, \rho_{К.З.}$ – плотность зерен заполнителей, кг/м³.

тогда $\frac{Ц}{\rho_{ц}}; \frac{В}{\rho_{в}}; \frac{М.З.}{\rho_{М.З.}}; \frac{К.З.}{\rho_{К.З.}}$ – абсолютные объемы материалов, м³.

2) Объем цементно-песчаного раствора должен быть равен объему пустот между зернами крупного заполнителя с учетом некоторой раздвижки зерен, величина которой определяется коэффициентом раздвижки зерен ($K_{разд}$).

$$\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} + \frac{М.З.}{\rho_{М.З.}} = V_{п.к.з.} \times \frac{К.З.}{\rho_{К.З.}} \times K_{разд} \quad (4.61)$$

где $V_{п.к.з.}$ – относительный объем пустот (пустотность) крупного заполнителя в насыпном состоянии, доли ед.;

$\rho_{п.к.з.}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³;

$K_{разд}$ – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором.

Для пластичных смесей $K_{разд}$ принимается по таблица 4.36, а для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м³ $K_{разд} = 1,05 \dots 1,2$.

Таблица 4.36 - Значение коэффициента $K_{разд}$ для пластичных бетонных смесей в зависимости от расхода цемента и В/Ц

Расход цемента, в кг на 1 м ³ бетона	Оптимальные значения $K_{разд}$ при 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	-	-	-	-

Примечание: При других значениях Ц и В/Ц коэффициент $K_{разд}$ находится интерполяцией.

Например:

Требуется определить значение $K_{разд}$ при В/Ц=0,6 и Ц=275 кг/м³

Решение в общем виде:

Если $A \Rightarrow a$ и $C \Rightarrow c$, то искомое значение x для B находится из соотношения:

$\frac{A-C}{B-C} = \frac{a-c}{x-c}$, то есть из табл.6.7 определяем, что для расхода Ц=250 кг/м³ значение $K_{разд}=1,26$, а для расхода Ц=300 кг/м³, $K_{разд}=1,36$.

Тогда, для расхода Ц=275 кг/м³ значение $K_{разд}$ определяется из соотношения:

$$\frac{250-300}{x-300} = \frac{1,26-1,36}{x-1,36}$$

отсюда $x = K_{разд} = 1,31$.

Тогда

$$\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} + \frac{М.З.}{\rho_{М.З.}} = 1 - \frac{К.З.}{\rho_{К.З.}}$$

Приравняв левую часть полученного выражения и левую часть уравнения, получим:

$$\begin{aligned} 1 - \frac{КЗ}{\rho_{КЗ}} &= V_{КЗ} \cdot \frac{КЗ}{\rho_{НКЗ}} \cdot K_{разд} \\ 1 &= V_{КЗ} \cdot \frac{КЗ}{\rho_{НКЗ}} \cdot K_{разд} + \frac{КЗ}{\rho_{КЗ}} \\ 1 &= КЗ \left(\frac{K_{разд} \cdot V_{КЗ}}{\rho_{НКЗ}} + \frac{1}{\rho_{КЗ}} \right) \\ К.З. &= \frac{1}{\frac{V_{н.к.з.} \times K_{разд}}{\rho_{н.к.з.}} + \frac{1}{\rho_{к.з.}}}, \text{ кг} \end{aligned} \quad (4.62)$$

Определение расхода мелкого заполнителя

Расход мелкого заполнителя (песка) в кг на 1 м³ бетона вычисляют как разность между проектным объемом бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии и суммой абсолютных объемов цемента, воды и крупного заполнителя:

$$М.З. = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} + \frac{К.З.}{\rho_{К.З.}} \right) \right] \times \rho_{М.З.}, \text{ кг} \quad (4.63)$$

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.

Определение расчетной (теоретической) средней плотности бетонной смеси

Определив расходы всех компонентов (воды, цемента, крупного и мелкого заполнителей) на 1 м³ бетонной смеси, вычисляем ее расчетную среднюю плотность по формуле

$$\rho_{б.см}^{расч} = Ц + В + М.З. + К.З., \text{ кг/м}^3 \quad (4.64)$$

Определение коэффициента выхода бетона

При перемешивании компонентов бетона песок занимает пустоты между крупным заполнителем, а цементное тесто – пустоты между

частицами песка. Поэтому объем получающейся бетонной смеси всегда меньше суммы объемов сухих компонентов.

Коэффициент выхода бетона β равен объему бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление. Степень уменьшения объема бетонной смеси по сравнению с объемом исходных материалов, называемую коэффициентом выхода бетона β , вычисляют по формуле:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц.} + V_{м.з.} + V_{к.з.}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц.}} + \frac{М.З.}{\rho_{н.м.з.}} + \frac{К.З.}{\rho_{н.к.з.}}}, \quad (4.65)$$

где 1 – объем бетонной смеси, равный 1 м³;

$V_{ц.}$, $V_{м.з.}$, $V_{к.з.}$ – объемы сухих составляющих (цемента, мелкого и крупного заполнителей), затраченных на приготовление 1 м³ бетонной смеси, м³;

$Ц$, $М.З.$, $К.З.$ – расход сухих материалов на 1 м³ бетона, кг;

$\rho_{н.ц.}$, $\rho_{н.м.з.}$, $\rho_{н.к.з.}$ – насыпная плотность сухих материалов (цемента, мелкого и крупного заполнителей), кг/м³.

Численное значение коэффициента выхода бетона находится обычно в пределах 0,55...0,75.

Задание 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ ЗАМЕСОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Пробные замесы бетонной смеси готовят после выполнения расчета состава бетона и расчета расхода составляющих на пробный замес. Объем бетонной смеси пробного замеса $V_з$ 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).

Изменять (регулировать) подвижность бетонной смеси можно за счет увеличения расхода цемента и воды, *сохраняя водоцементное отношение*, а также, увеличивая количество мелкого и крупного заполнителя (в том же отношении). Наиболее эффективным способом повышения подвижности бетонной смеси является применение пластифицирующих добавок (разжижителей).

Приборы и материалы

1. Портландцемент.
2. Вода.
3. Песок кварцевый.
4. Щебень из горных пород (гранитный) фракций 5...20 мм или гравий природный фр. 5...20 мм
5. Металлическая форма – боек (поддон).
6. Весы лабораторные.
7. Стандартная форма – усеченный конус Абрамса.
8. Металлическая линейка

9. Линейка с делениями
10. Металлический стержень диаметром 16 мм и длиной 600 мм.

Методика испытаний

1. Определение расхода материалов на замес (V_3)

Расход воды в л

$$B_1 = B \cdot V_3, \quad (4.66)$$

где B – расход воды на 1 м^3 бетонной смеси, л;

V_3 – объем замеса, м^3 .

Расход цемента в кг

$$Ц_1 = Ц \cdot V_3, \quad (4.67)$$

где $Ц$ – расход цемента на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

Расход крупного заполнителя в кг

$$К.З_1 = К.З. \cdot V_3, \quad (4.68)$$

где $К.З.$ – расход крупного заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

Расход мелкого заполнителя в кг

$$М.З_1 = М.З. \cdot V_3 \quad (4.69)$$

где $М.З.$ – 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 $80 \dots 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 энергично перемешивают бетонную смесь до достижения ее однородности. Продолжительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять 5 минут.

В случае механического перемешивания в бетоносмеситель сначала загружают песок, затем цемент, крупный заполнитель и воду.

Продолжительность перемешивания должна составлять около 5 минут 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) в см. Бетонный конус изготавливают из бетонной смеси с помощью стандартной металлической формы (рисунок 4.20) без дна в виде усеченного конуса высотой 300, диаметром верхнего и нижнего оснований соответственно 100 и 200 мм. Согласно EN 206 – это конус Абрамса.



Рисунок 4.20 - Определение подвижности бетонной смеси по осадке бетонного конуса

Форму предварительно очищают, протирают изнутри влажной тканью и устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность, которая не впитывает воду (металлический противень 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 измеряют осадку бетонной смеси с точностью до 0,5 см (рисунок 4.20). 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 минут.

Осадку конуса бетонной смеси определяют два раза, и за результат принимают среднее арифметическое двух определений.

Если при определении подвижности бетонной смеси осадка стандартного конуса равна нулю, то смесь не обладает подвижностью, ее удобоукладываемость характеризуется жесткостью, оценивается по времени вибрации в секундах и определяется с помощью прибора для определения жесткости.

4. Определение жесткости бетонной смеси

Схема прибора для определения жесткости бетонной смеси приведена на рисунке 4.21.



Рисунок 4.21 - Прибор для определения жесткости бетонной смеси

На стандартную лабораторную виброплощадку (частотой 2800...3000 кол/мин и амплитудой 0,5 мм) устанавливают кольцо и закрепляют его. В кольцо вставляют конус и закрепляют его нажимным кольцом с ручками,

заходящими в специальные пазы. На конус устанавливают воронку. Конус заполняют бетонной смесью так же, как и при определении подвижности. Затем снимают конус, вращают вокруг вертикальной оси штатив и на отформованный бетонный "конус" опускают диск вместе со штангой, масса которого (2750 ± 50) г. Штатив в требуемом положении закрепляют зажимным винтом и фиксирующей втулкой. Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер, наблюдая, как выравнивается и уплотняется бетонная смесь от действия вибрации. Вибрирование продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного молока из отверстий диска. В этот момент выключают секундомер и виброплощадку. Зафиксированное время в секундах и характеризует жесткость бетонной смеси.

Вычисляют показатель жесткости с точностью до 1 с как среднее арифметическое из двух результатов определений из одной пробы смеси. Отличие результатов между собой должно быть не более 20 %.

Результаты определения подвижности бетонной смеси заносят в таблицу 4.36.

Таблица 4.36 – Расходы материалов

Наименование составов	Расход материалов на замес, кг				ОК, см
	Ц	В	К.З.	М.З.	
1. Первоначальный состав					
2. Измененный					
3. – " –					
4. – " –					

Заключение

Сделать выводы на основании результатов испытаний.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ И РАСЧЕТ ФАКТИЧЕСКОГО РАСХОДА СОСТАВЛЯЮЩИХ БЕТОНА

Приборы и материалы

1. Мерный сосуд или формы металлические для образцов-кубов.
2. Виброплощадка.
3. Весы лабораторные.
4. Бетонная смесь пробных замесов.

Методика испытаний

1. Определение средней плотности бетонной смеси

Средняя плотность бетонной смеси характеризуется отношением массы уплотненной смеси к ее объему. Определяют ее для тяжелого бетона с целью расчета фактического расхода материалов на 1 м^3 бетона.

Вычисляют среднюю плотность бетонной смеси в кг/м^3 по формуле

$$\rho_{б.см.} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 1000, \quad (4.70)$$

где: m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, г;
 m_1 – масса мерного сосуда без бетонной смеси, г;
 V – объем 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 или формы взвешивают, заполняют бетонной смесью с избытком, устанавливают на лабораторную виброплощадку, закрепляют зажимами. Затем включают виброплощадку и секундомером фиксируют время вибрирования. Вибрирование должно продолжаться до полного уплотнения, когда прекращается оседание бетонной смеси, выравнивается ее поверхность и появляется на ней 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 по формуле (6.17).

Среднюю плотность бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 10 кг/м³ как среднее арифметическое значение результатов двух определений. Результаты испытаний заносят в таблицу 4.37.

Таблица 4.37 - Средняя плотность бетонной смеси

Показатели	Формы	
	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 формы (вместимость) V , см ³		
Средняя плотность бетонной смеси $\rho_{б.см.}$, кг/м ³		

2. Изготовление контрольных образцов.

Для определения среднего предела бетона (марки) 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 суток в стандартных нормальных условиях.

Образцы изготавливают в разборных чугунных или стальных формах со строганной или шлифованной внутренней поверхностью. Размеры собранных форм не должны допускать отклонений по длине ребер более 1 %, а углы между гранями прямоугольных форм должны быть прямыми.

Формы, перед укладкой в них бетонной смеси, очищают от остатков бетона, а 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 см^2 верхней поверхности образца. После окончания уплотнения штыкованием избыток бетона в верхнем слое срезают металлической линейкой вровень с краями формы, а поверхность образца заглаживают.

Жесткие бетонные смеси, а также смеси с подвижностью менее 12 см по осадке конуса, уплотняют вибрированием. 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, которое характеризуется прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней цементного молока. Затем форму снимают, срезают излишки бетона и заглаживают поверхность образца.

При жесткости бетонной смеси более 20 с контрольные образцы изготавливают в формах с насадкой в следующей последовательности. На форме закрепляют насадку высотой, равной высоте формы. Затем форму с насадкой жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке, заполняют бетонной смесью до половины высоты насадки, устанавливают сверху на поверхность бетонной смеси пригруз (не менее 10 г на 1 см^2 поверхности) и вибрируют в течение 30...60 с до прекращения оседания пригруза. Затем снимают пригруз и насадку, срезают избыток смеси и заглаживают поверхность образца.

Образцы в формах покрывают влажной тканью и хранят в помещении при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 суток, затем формы раскрывают, вынимают образцы из форм и маркируют. До момента испытания образцы хранят во влажных условиях в камере нормального твердения при температуре $(20 \pm 20)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 95 %.

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 м^3 бетона.

Фактический расход материалов (цемент, вода, крупный и мелкий заполнитель) определяют после изготовления пробных замесов, получения бетонной смеси с требуемой удобоукладываемостью и определения ее плотности. Фактический расход материалов на 1 м^3 бетона рассчитывается по формулам

$$Ц_2 = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{ц} \quad (4.71)$$

$$В_2 = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{в} \quad (4.72)$$

$$М.З_2 = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{м.з.} \quad (4.73)$$

$$К.З_2 = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{к.з.} \quad (4.74)$$

где $Ц_2, В_2, М.З_2, К.З_2$ – фактический расход соответственно цемента, воды, мелкого и крупного заполнителей на 1 м^3 бетона, кг;

$q_{ц}, q_{в}, q_{м.з.}, q_{к.з.}$ – масса соответственно цемента, воды, мелкого и крупного заполнителей в замесе, кг;

$\rho_{б.см}$ – фактическая плотность бетонной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\sum q$ – суммарная масса всех материалов в опытном замесе, кг.

При использовании влажных заполнителей пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный. При таком пересчете количество влажных заполнителей увеличивается настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшают на величину, равную количеству воды в заполнителях.

$$Ц_3 = Ц_2, \quad (4.75)$$

$$(М.З)_3 = (М.З)_2 + \frac{(М.З)_2 \cdot W_{м.з.}}{100}, \quad (4.76)$$

$$(К.З)_3 = (К.З)_1 + \frac{(К.З)_2 \cdot W_{к.з.}}{100}, \quad (4.77)$$

$$В_3 = В_2 - \frac{(М.З)_2 \cdot W_{м.з.}}{100} - \frac{(К.З)_1 \cdot W_{к.з.}}{100}, \quad (4.78)$$

где $Ц_2, (М.З)_2, (К.З)_2, В_2$ – фактический расход соответственно цемента, мелкого и крупного заполнителей, воды, кг на 1 м^3 бетона;

$W_{м.з.}$ и $W_{к.з.}$ – соответственно влажность мелкого и крупного заполнителей.

Производственный состав бетона по массе вычисляют путем деления расхода каждого компонента бетонной смеси на расход цемента:

$$1 : \frac{(М.З)_3}{Ц_3} : \frac{(К.З)_3}{Ц_3} \quad \text{при } (В/Ц)_6 = Z \quad (4.79)$$

Результаты расчетов составов (ориентировочного, фактического и производственного) заносят в таблицу 4.38.

Таблица 4.38 - Расходы материалов на 1 м³ бетона

Составы	Расход материалов в кг на 1 м ³ бетона				В/Ц
	цемент	вода	заполнители		
			крупный	мелкий	
Ориентировочный					
Фактический					
Производственный					

Сравнить ориентировочный, фактический (уточненный) и производственный составы по расходу компонентов

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 составления дозировки материалов на один замес необходимо состав бетона, рассчитанный на 1 м³ бетона, пересчитать в соответствии с емкостью бетоносмесителя. Если емкость барабана бетоносмесителя (новые модели) указывается в литрах готового замеса бетонной смеси ($V_{зам}$), то необходимо количество каждого компонента из производственного состава пересчитать по формулам:

$$Ц' = Ц_3 \cdot \frac{V_{зам}}{1000} \quad (4.80)$$

$$(К.З)' = (К.З)_3 \cdot \frac{V_{зам}}{1000} \quad (4.81)$$

$$(М.З)' = (М.З)_3 \cdot \frac{V_{зам}}{1000} \quad (4.82)$$

$$В' = В_3 \cdot \frac{V_{зам}}{1000} \quad (4.83)$$

Если емкость бетоносмесителей (старые модели) указывается по суммарному объему загрузки сухих компонентов бетона (заполнителей и цемента), тогда следует определить по лабораторному составу коэффициент выхода бетона β , равный объему бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии, деленный на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц.} + V_{М.З.} + V_{К.З.}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц.}} + \frac{М.З.}{\rho_{н.м.з.}} + \frac{К.З.}{\rho_{н.к.з.}}} \quad (4.84)$$

где $V_{ц.}$, $V_{М.З.}$, $V_{К.З.}$ – объем сухих составляющих, затраченных на приготовление 1 м³ бетонной смеси, м³;

$Ц$, $М.З.$, $К.З.$ – расход сухих материалов на 1 м³ бетона, кг;

$\rho_{н.ц.}$, $\rho_{н.м.з.}$, $\rho_{н.к.з.}$ – насыпная плотность сухих материалов, кг/м³.

Значение коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах $\beta=0,55...0,75$.

Зная коэффициент выхода β , определяют объем бетона одного замеса

$$V_{зам.} = V_m \cdot \beta \quad (4.85)$$

где: $V_{зам.}$ – объем бетона одного замеса, м³;

V_m – емкость бетоносмесителя, м³;

β – коэффициент выхода бетона.

Умножая массу каждого компонента лабораторного состава на объем бетона одного замеса, получим дозировку материала на замес бетоносмесителя.

$$Ц = Ц_1 \cdot V_{зам} \quad (4.86)$$

$$B_3 = B_1 \cdot V_{зам} \quad (4.87)$$

$$(K.3)_3 = V_{зам.} \cdot (K.3)_1 \quad (4.88)$$

$$(M.3)_3 = (M.3)_1 \cdot V_{зам} \quad (4.89)$$

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

4.6. Лабораторная работа. ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Цель работы

1. Освоить методику определения предела прочности бетона при сжатии разрушающим и неразрушающим методами.
2. Ознакомиться с приборами и оборудованием для определения прочности бетона при сжатии разрушающим и неразрушающим методами.
3. Определить предел прочности тяжелого бетона разрушающим и неразрушающим методами.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. На каких образцах определяют предел прочности бетона на сжатие?
2. В каком возрасте бетона определяют его марку М и класс по прочности на сжатие С?
3. Что означает показатель марка М и класс бетона по прочности С?
4. Чем отличается разрушающий метод испытаний от неразрушающего?
5. Какие имеются неразрушающие методы определения (оценки) прочности бетона?
6. На каком принципе основаны неразрушающие методы определения прочности бетона?
7. Что является косвенной характеристикой при определении прочности бетона эталонным молотком?
8. В чем сущность ультразвукового метода определения прочности бетона?

9. Что является косвенной характеристикой при определении прочности бетона ультразвуковым методом?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение предела прочности тяжелого бетона разрушающим методом.

Задание 2. Определение прочности бетона неразрушающим механическим методом (эталонным молотком К.П.Кашкарова).

Задание 3. Определение прочности бетона неразрушающим ультразвуковым методом.

Общие сведения о тяжелом бетоне

Бетон — *материал неоднородный*: его прочность колеблется от замеса к замесу, и даже образцы, взятые из одного замеса, могут заметно отличаться по прочности. Это объясняется изменчивостью в качестве сырья, неточностью его дозировки, неоднородностью при перемешивании и уплотнении, различием в режиме твердения. Поэтому средняя кубиковая прочность (средняя прочность бетона на осевое сжатие) f_{cm} и определяемая на ее основе марка бетона М не дает гарантии получения именно этой прочности бетона (прочность может оказаться как больше, так и меньше).

Поэтому было введено понятие **класс бетона по прочности** – прочность бетона в проектном возрасте с гарантированной обеспеченностью 0,95. Это значит, что установленная классом прочность обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100.

Прочностные характеристики бетона

Прочность на сжатие является важнейшим *классификационным* показателем, характеризующим технические свойства бетона, как строительного материала. Технические нормативные документы определяют прочность бетона на сжатие f_c , как максимальное сжимающее напряжение в бетоне при одноосном напряженном состоянии. *Среднее значение прочности* бетона на осевое сжатие, получаемое по результатам испытаний серии опытных образцов, обозначают f_{cm} (ранее обозначаемая $R_{сж}$). Следующими величинами, непосредственно вытекающими из таким образом определенной средней прочности бетона на сжатие являются:

– **гарантированная прочность бетона (класс)**, определяемая как прочность бетона на осевое сжатие, установленная с учетом статистической изменчивости в соответствии с требованиями действующих стандартов на кубах со стороной 15 см, гарантируемая предприятием-производителем и обозначаемая $f_{c,cube}^G$ (ранее обозначаемая как класс В);

– **класс бетона по прочности на сжатие** — количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной

прочности на осевое сжатие, обозначаемая буквой “С”⁷ и числами: перед чертой – выражающими значение нормативного сопротивления (f_{ck} , МПа), после черты – гарантированной прочности бетона ($f_{c,cube}^G$, МПа), определяемой по стандартной методике при испытании кубов с размером ребра 150 мм с учетом статистической изменчивости прочности с обеспеченностью 0,95. $\left[C \frac{f_{ck}}{f_{c,cube}^G} \right]$;

– **нормативное сопротивление бетона осевому сжатию** (f_{ck}) – контролируемая прочностная характеристика бетона, определяемая с учетом статистической изменчивости. Обеспеченность нормативных значений прочностных характеристик бетона устанавливаются 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;

– расчетная прочность бетона или его **расчетное сопротивление**, f_{cd} которое определяют как величину, получаемую в результате деления нормативного сопротивления бетона f_{ck} на нормируемый коэффициент безопасности для бетона γ_c .

Принятое **обозначение класса бетона по прочности на сжатие** удобно при выполнении расчетов, т.к. несет необходимую исходную информацию. Так, например, при заданном классе бетона $C^{30/37}$ нормативное сопротивление бетона, выраженное числом над чертой равно $f_{ck} = 30$ МПа. При нормируемом коэффициенте безопасности по бетону $\gamma_c = 1,5$ расчетное сопротивление бетона сжатию составит $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1,5 = 20$ МПа.

Нормативное сопротивление бетона f_{ck} определяют на бетонных цилиндрах высотой 300 мм, которые дают достаточно объективную оценку прочности бетона в условиях одноосного сжатия.

Однако испытание кубов остается, в ближайшем будущем, основным способом контроля прочности бетона на производстве. Поэтому гарантированная прочность (класс) $f_{c,cube}^G$ определяется на альтернативном образце (куб – 150 x 150 x 150 мм)

Но **гарантированная прочность бетона** $f_{c,cube}^G$, установленная при испытании стандартных кубов, характеризующая его качество, и необходимая для производственного контроля, *не применяется* при проектировании бетонных и железобетонных конструкций. В этом случае применяется нормативное сопротивление f_{ck} .

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и характеристиками бетона приведено в справочной таблице 4.39.

Таблица 4.39 - Соотношение между классами и характеристиками бетона по прочности на сжатие

Класс бетона				Среднее значение прочности бетона на осевое сжатие f_{cm} , МПа	Требуемая прочность бетона при подборе состава, МПа
По ТНПА	По ТНПА				
	Обозначение	Характеристики прочности бетона, МПа			на сжатие при испытании кубов $f_{c,пр}$
Нормативное сопротивление f_{ck}		Гарантированная прочность (класс) $f_{c,cube}^G$			
1	2	3	4	5	6
B10	C8/10	8	10	16	12,9
B12,5	C10/12,5	10	12,5	-	16,1
B15	C12/15	12	15	20	19,3
B20	C16/20	16	20	24	25,7
B22,5	C18/22,5	18	22,5	-	28,9
B25	C20/25	20	25	28	32,2
B27,5	C22/27,5	22	27,5	-	35,4
B30	C25/30	25	30	33	38,6
B35	C28/35	28	35	-	45,0
-	C30/37	30	37	38	47,0
B40	C32/40	32	40	-	51,4
B45	C35/45	35	45	43	57,8
B50	C40/50	40	50	48	64,3
B55	C45/55	45	55	53	70,7
B60	C50/60	50	60	58	77,1
-	C55/67	55	67	63	83,8
B75	C60/75	60	75	68	90,0
-	C70/85	70	85	78	102,5
-	C80/95	80	95	88	115,5
-	C90/105	90	105	98	127,5

Требуемая прочность бетона на сжатие при испытании кубов $f_{c,TP}$ (ранее называемая **марка бетона по прочности M**) – 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 150x150x150 мм в 28-суточном возрасте.

Определяют **требуемую марку бетона M** (среднее значение прочности) по результатам испытаний серии стандартных кубов с ребром 150 мм (опытных образцов), изготовленных из рабочей бетонной смеси, твердеющих в нормальных влажностных условиях и испытанных в возрасте 28 суток. При испытании контрольных образцов-кубов на осевое сжатие других размеров для приведения к прочности стандартных кубов с ребром 150 мм вводятся поправочные коэффициенты, приведенные в таблице 4.40.

Таблица 4.40 - Значение масштабных коэффициентов для тяжелого бетона

Кубы с ребром, мм	70	100	150	200	300
Значение масштабного коэффициента	0,85	0,95	1,0	1,05	1,1

Средняя прочность бетона каждого класса B определена при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 % (0,135) по формуле:

$$\bar{R}_m = \frac{B}{0,980665(1 - 1,64 \times 0,135)} = \frac{B}{0,764} \quad (4.90)$$

где B – численное значение класса бетона по ГОСТ 26663, МПа;
0,980665 – переходный коэффициент от МПа к кгс/м².

В общем виде зависимость между классом бетона по прочности B и его средней прочностью в контролируемой партии бетона R_m имеет вид:

$$B = R_m(1 - tK_g) \quad (4.91)$$

где: R_m – средняя прочность бетона, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа;

B – класс бетона по прочности, МПа;

K_g – коэффициент вариации прочности бетона;

t – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона (доверительную вероятность). При обеспеченности класса бетона 95 % $t=1,64$.

Если бетонные образцы испытаны не в возрасте 28 суток, то предел прочности при сжатии вычисляется по формуле (по логарифмической зависимости).

$$f_{c,28} = f_{c,n} \left(\frac{\lg 28}{\lg n} \right), \quad (4.92)$$

где $f_{c,28}$ – прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток, МПа;
 $f_{c,n}$ – то же в возрасте «n» суток, МПа;
 n – число суток твердения бетона

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА РАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ

Предел прочности бетона при сжатии определяют разрушающим методом на образцах-кубах или неразрушающим методом в бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях.

При *разрушающем методе* испытаний контрольные образцы испытывают на осевое сжатие до разрушения на гидравлическом прессе и прочность бетона на осевое сжатие f_c вычисляют по формуле:

$$f_c = \frac{F}{A} \alpha_1 \quad (4.93)$$

где: f_c – максимальное сжимающее напряжение в бетоне при одноосном напряженном состоянии, МПа;

F – разрушающая усилие, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм²;

α_1 – масштабный коэффициент, учитывающий переход к прочности базовых образцов размером 150x150x150 мм.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический.
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Металлическая линейка.
5. Образцы-кубы с ребром 100 мм.

Методика испытаний

Образцы извлекают из камеры нормально-влажностного хранения, визуально осматривают их, 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 грани выбирают так, чтобы сжимающее усилие при нагружении образца было направлено параллельно слоям укладки бетонной смеси в форму (перпендикулярно направлению уплотнения). Линейные размеры образцов-кубов измеряют металлической линейкой с точностью до 1 мм, а затем определяют массу на технических весах. Рабочую площадь сечения образца в мм² определяют как среднее арифметическое площадей обеих опорных граней.

После извлечения из камеры нормально-влажностного твердения образцы перед испытанием выдерживают в течение 4 ч в помещении

лаборатории при температуре воздуха в пределах $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха в пределах $(60 \pm 5)\%$.

Образец устанавливают одной из рабочих граней в центре нижней опорной плиты гидравлического пресса. Шкалу силоизмерителя пресса выбирают из условия, что ожидаемое разрушающее усилие должно быть в пределах $(20 \dots 80)\%$ максимальной нагрузки F_{max} выбранной шкалы пресса. Затем совмещают верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью 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 .

Предел прочности при сжатии бетона в МПа вычисляют по формуле (7.6) как отношение разрушающего усилия F (в Н) к первоначальной площади поперечного сечения образца A (в мм^2).⁸

Значение предела прочности на сжатие бетона f_{cm} вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение в серии опытных образцов:

1. из двух образцов – по двум образцам;
2. из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам;
3. из четырех образцов – по трем наибольшим по прочности образцам;
4. из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

Результаты определения средней плотности бетона и прочности бетона на сжатие заносят в таблице 4.41.

Среднюю прочность бетона на сжатие, полученную на альтернативных опытных образцах-кубах с ребром 100 мм, приводят к прочности стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм путем умножения на масштабный коэффициент.

Таблица 4.41 - Физико-механические характеристики испытанного бетона

Показатели	Единицы измерения	№ образцов		
		1	2	3
Масса образца, m	г			
Средняя рабочая площадь образца, A	мм^2			
Высота образца, h	мм			
Объем образца, V	см^3			
Средняя плотность, ρ_o	кг/м^3			
Величина разрушающего усилия, F	кН			
Предел прочности образца на сжатие, f_c	МПа			
Средний предел прочности бетона на осевое сжатие f_{cm}	МПа			

По результатам испытаний бетонных образцов-кубов вычисляют коэффициент вариации (изменчивости)

$$v = \frac{S}{f_{cm}} \quad (4.94)$$

где S – среднее квадратичное отклонение результатов испытаний на сжатие.

$$S = \frac{f_{cmax} - f_{cmin}}{d} = \frac{\omega_m}{d} \quad (4.95)$$

где f_{cmax} и f_{cmin} – соответственно максимальный и минимальный результат испытаний, МПа;

ω_m – размах (варьирование) f_{ci} ;

d – коэффициент, зависящий от числа единичных измерений значений прочности.

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 находят по формуле:

$$f_{c.cube}^G = f_{cm}(1 - 1,64) \quad (4.96)$$

По значению гарантированной $f_{c.cube}^G$, нормативной f_{ck} и полученной фактической f_{cm} прочности определяют класс бетона и его марку по прочности на сжатие.

Для сравнения вычисляем также класс бетона при коэффициенте вариации 0,135 (т.е. 13,5 %), что соответствует бетону удовлетворительного качества и принято в нормативных документах при расчете конструкций из тяжелого бетона.

Нормативное сопротивление $f_{ck} = f_{cm} - 8$ (МПа) дает в обозначении класса бетона число над чертой (цилиндрическую прочность). Например, С32/40.

Заключение

По прочности на сжатие испытанный бетон в возрасте 28 суток соответствует классу бетона по прочности на сжатие С _____.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДОМ (ЭТАЛОННЫМ МОЛОТКОМ НИИ МОСТОСТРОЯ КОНСТРУКЦИИ К.П.КАШКАРОВА)

Результаты определения прочности бетона, полученные при испытании на сжатие образцов-кубов, не всегда отражают фактическую прочность бетона в бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях. Часто возникает потребность определить прочность бетона в более поздние сроки, чем 28 суток, для чего необходимо изготавливать дополнительное количество контрольных образцов. Иногда необходимо оценить прочность бетона ранее возведенных железобетонных конструкций и сооружений.

С учетом этого разработаны и стандартизированы ряд неразрушающих методов, позволяющих определить прочность бетона в различных местах конструкций без их разрушения.

Метод определения прочности бетона в изделиях и конструкциях эталонным молотком основан на наличии достаточной корреляционной связи между величиной пластической деформации бетона (ударной твердостью) и прочностью бетона на сжатие.

Применяют этот метод при определении прочности тяжелого бетона с прочностью на сжатие в пределах 5...50 МПа.

Приборы и материалы

1. Эталонный молоток К.П. Кашкарова.
2. Эталонные стержни длиной 150 мм диаметром 10-12 мм из круглой прутковой стали марки ВСтЗсп2 или ВСтЗпс2 (класс А-1) (один конец стержня должен быть заострен для облегчения установки его в молоток).
3. Инструмент для измерения диаметра отпечатка – штангенциркуль или угловой масштаб, изготавливаемый из двух стальных линейек, скрепленных под углом.
4. Бетонные образцы-кубы – 3 шт.



Рисунок 4.22 - Эталонный молоток

Методика испытаний

Работа производится в следующей последовательности:

1. Изучить устройство эталонного молотка К.П.Кашкарова.
2. Кратко записать методику проведения работы.
3. Произвести серию ударов молотком по испытываемой поверхности элемента бетонной конструкции или образцов-кубов.
4. Замерить диаметры отпечатков на бетоне и на эталоне и занести результаты в журнал испытаний.
5. Испытать бетонные образцы-кубы на сжатие.
6. Обработать полученные результаты и сделать необходимые выводы.

До начала испытания эталонный стержень вставляют заостренным концом в стакан молотка, преодолевая сопротивление пружины, находящейся в стакане. При этом под действием пружины шарик прижимается к эталонному стержню, который, в свою очередь, прижимается к внутреннему упору головки молотка.

При ударе шарик молотка образует сразу два отпечатка – на поверхности бетона d_6 и на цилиндрической поверхности эталонного стержня d_3 . Удары молотком наносят по боковым поверхностям бетонных образцов (по поверхности «из-под металла»)

Число измерений на каждом изделии должно быть не менее пяти, а расстояние между местами ударов – не менее 30 мм.

Испытания проводят на участке конструкции площадью от 100 до 600 см².

Удар наносят перпендикулярно к поверхности бетона. При этом удар может быть нанесен двумя способами: первый – эталонным молотком "с размаху", или слесарным молотком по головке эталонного молотка, установленного в заданной точке поверхности изделия. После каждого удара молотком эталонный стержень передвигается в нем так, чтобы расстояние между краями соседних отпечатков на эталоне было не менее 10 мм.

Отпечатки на бетоне нумеруют цветным карандашом. После серии ударов измеряют отпечатки угловым масштабом на бетоне и на эталоне в той же последовательности. При замере угловой масштаб надвигают на отпечаток так, чтобы внутренние линии линейки касались линии, образующей отпечаток. Диаметр определяют по одной из линеек масштаба. Отпечатки, попавшие на раковины, трещины, неровности и крупный заполнитель, не учитываются.

Миллиметровые деления отсчитывают как десятые доли миллиметра, сантиметровые – как целые миллиметры.

После проведения испытаний вычисляют отношение диаметров отпечатков d_6/d_3 , которое является косвенным показателем при определении прочности молотком Кашкарова, и результат записывают в таблицу.

За единичное значение косвенного показателя прочности при установлении градуировочной зависимости принимают среднее арифметическое значение этой величины в серии образцов (или в образце), используемых для определения единичного значения прочности.

Значения предела прочности тяжелого бетона при сжатии определяют по тарировочному графику, приведенному на рисунке 4.23.

После определения прочности бетона на образцах-кубах механическим неразрушающим методом эти образцы затем испытывают на сжатие, используя гидравлический пресс для определения фактической прочности на сжатие.

На результаты испытаний эталонным молотком оказывают влияние влажность бетона, его возраст, условия твердения и вид заполнителя.

Так, при испытании увлажненного бетона значение предела прочности бетона при сжатии в изделиях и конструкциях вычисляют по формуле:

$$f_c = K_w \cdot R_{m.k.} \quad (4.97)$$

где: K_w – поправочный коэффициент, учитывающий повышенную влажность бетона;

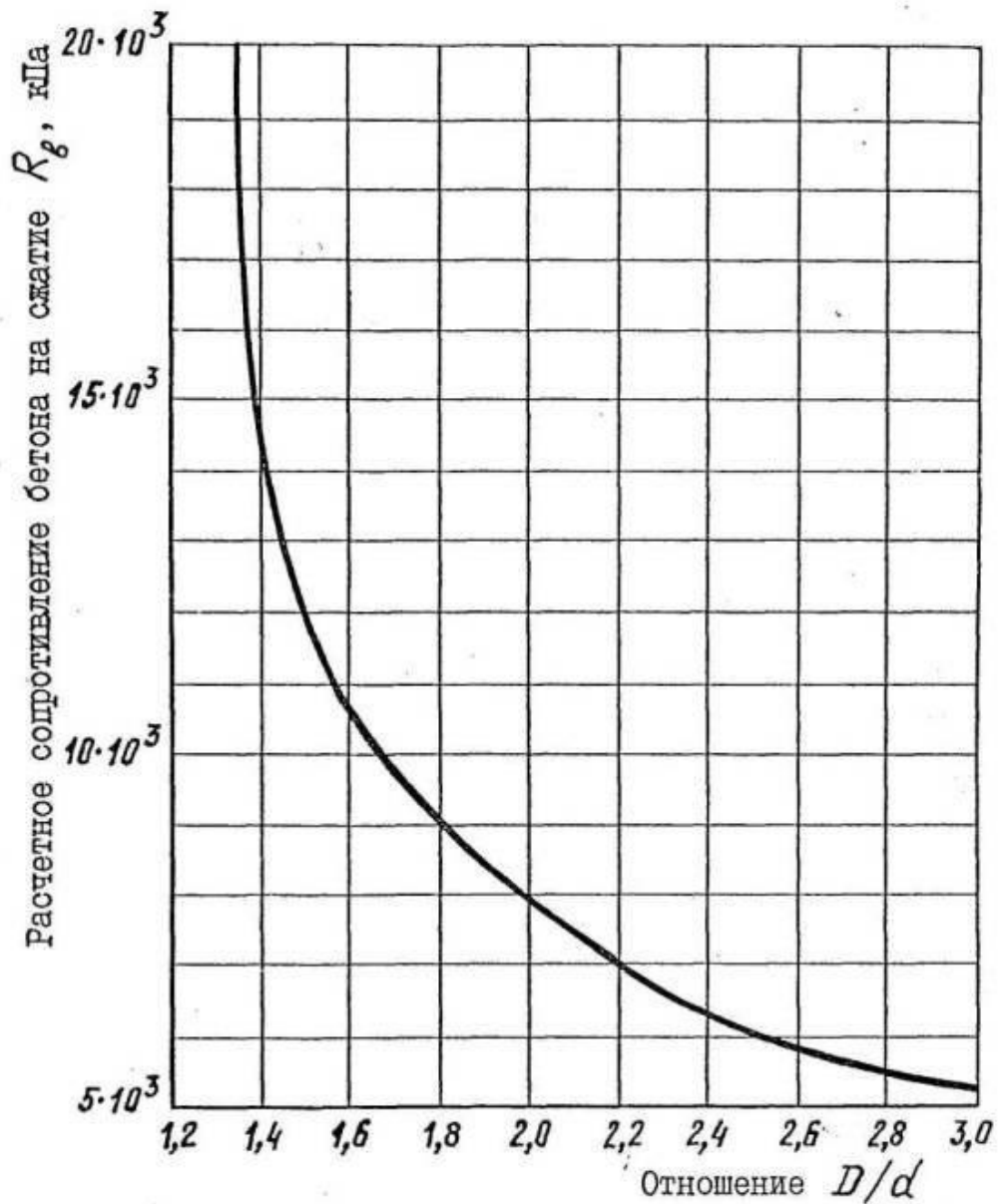


Рисунок 4.23 - Тарировочный график для определения прочности бетона эталонным молотком Кашкарова

$R_{m.k.}$ – значение предела прочности бетона при сжатии по тарировочной кривой.

Значение K_w принимают: для бетона естественной влажности – 1,1; увлажненного – 1,2; полностью насыщенного – 1,4.

Предел прочности бетона с учетом его возраста рассчитывают по формуле:

$$R = K_t \times R_{T.k.}^{28} \quad (4.98)$$

где K_t – поправочный коэффициент, учитывающий возраст бетона (принимается по табл.7.4);

$R_{T.k.}^{28}$ – предел прочности бетона 28 суток (принимают по тарировочной кривой).

Таблица 4.42 - Значение поправочного коэффициента для учета возраста бетона

Бетон после термовлажностной обработки		Бетон естественного твердения	
Возраст, сут	K_t	Возраст, сут	K_t
3	1,05	3	1,30
28	1,00	7	1,10
90	0,90	28	1,00
180	0,80	60	0,95
360	0,75	90	0,90

Результаты испытаний заносятся в таблицу 4.43.

Таблица 4.43 - Результаты определения прочности бетона при сжатии

№ пп		Размеры отпечатков		d_6/d_3	Предел прочности бетона при сжатии		$\frac{R_\phi - R_{T.k.}}{R_\phi} \times 100$
образцов	отпечатков	на бетоне d_6 , мм	на эталоне d_3 , мм		по тарировочной кривой $R_{T.k.}$, МПа	фактически, R_ϕ , МПа	
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5 и т.д.						
	среднее						

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Сущность неразрушающего ультразвукового метода заключается в определении прочности бетона по тарировочной зависимости «предел прочности – скорость ультразвукового импульса», полученной при параллельных неразрушающих и разрушающих испытаниях на специально подготовленных образцах. Для испытаний используется не менее 15 серий образцов-кубо.

Упругие колебания в материале возникают при ударе или другом импульсном воздействии, например, ультразвуковом. Ультразвуковые волны получают путем использования пьезоэлектрического эффекта.

Пьезоэлектрический эффект основан на том, что в некоторых материалах при приложении механических напряжений возникают электрические заряды (прямой пьезоэлектрический эффект), и, наоборот, при

воздействии электрического поля на материал в нем возникают механические напряжения (обратный пьезоэлектрический эффект). К числу материалов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, относятся кристаллы кварца SiO_2 , турмалина $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr}, \text{Al})_3$, $\text{Al}_6(\text{OH}_3\text{F})_4(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_8$, сегнетовой соли $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, титаната бария BaTiO_3 и др.

Широкое распространение в промышленности получили кристаллы сегнетовой соли $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Для возбуждения и приема ультразвуковых волн пластинки, вырезанные из кристаллов, монтируются в специальных металлических обоймах-щупах. Соединение щупа с прибором осуществляется с помощью коаксиального кабеля.

Измерительные приборы для ультразвуковых испытаний, изготовленные индустриально, являются переносными и позволяют измерять время прохождения ультразвуковых импульсов. Имеются приборы, например, УК-10ПМ, состоящие из одного блока, включающего в себя высокочастотный генератор и регистратор. Высокочастотный генератор 1 производит в 1с около 50 электрических импульсов длительностью около 10 мкс, которые в излучателе 5 пьезоэлектрическим способом преобразуются в ультразвуковые механические импульсы, распространяющиеся в испытываемом материале 6. Приемник 7 благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту, опять превращает их в электрические импульсы, которые усиливаются перед показом на индикаторе регистрирующей аппаратуры 2. Индикатор снабжен автоматическим устройством, передающим на экран прибора цифровую информацию. Такой способ дает возможность прозвучивать бетон толщиной до 5000 мм. Применяемые ультразвуковые частоты находятся, в основном, в пределах 40...60 кГц. Если нужно прозвучивать расстояния до 100 мм, выбирают частоты до 200 кГц. Сталь испытывают при частотах от 1 до 10 мГц.

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости "скорость – прочность" измеряют способом сквозного прозвучивания в соответствии с требованиями ГОСТ 17624 "Бетон. Ультразвуковой метод определения прочности". База прозвучивания должна быть не менее 100 мм. Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости "время – прочность" измеряют способом поверхностного прозвучивания. Минимальная база прозвучивания должна быть *не менее 120 мм*.

Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце должно быть при сквозном прозвучивании 3, при поверхностном – 4. Отклонение отдельного результата измерения времени распространения ультразвука в каждом образце от среднего арифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать 2%. Результаты измерения времени распространения ультразвука в образцах, не удовлетворяющие этому условию, не учитывают при расчете среднего арифметического значения скорости распространения ультразвука в данной

серии образцов. При наличии в серии двух образцов, не удовлетворяющих этому условию, результаты серии бракуют.

Приборы и материалы

1. Ультразвуковой импульсный прибор УК-100.
2. Пресс гидравлический.
3. Линейка металлическая.
4. Бетонные образцы-кубы.

Методика испытаний

При переходе звуковых волн от излучателя к испытываемому образцу или от образца к приемнику поверхностный контакт оказывает большое влияние на значение передаваемой энергии. На контактной поверхности не должно быть воздушного слоя, поэтому при присоединении излучателя приемника к испытываемому образцу используют консистентную жидкую смазку (солидол, технический вазелин, пластилин, меловую пасту и т.п.). Соединительный слой должен быть возможно более тонким.

В зоне контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью бетона не должно быть раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм, а также выступов более 0,5 мм. Поверхность бетона следует очистить от пыли.

Последовательность выполнения работы:

1. Проверить по паспорту данные питающей сети – величину стабильного напряжения и частоту сети.
2. Для создания постоянного теплового режима прибор прогреть в течение 15...20 мин.
3. Произвести установку нуля с помощью эталона (с заранее известным временем прохождения ультразвука).
4. Подготовить журнал записи результатов испытаний образцов.
5. Разметить на образцах точки прозвучивания.
6. Нанести для контакта смазку на поверхность ультразвуковых преобразователей (УП) и бетонных образцов.
7. Установить УП на образец и произвести измерение времени и скорости распространения ультразвука.
8. Определить геометрические размеры образцов и их массу.
9. Провести испытание на прочность при сжатии.
10. Записать в таблицу значения скорости ультразвука и прочности.
11. Произвести отбраковку аномальных результатов.
12. Определить среднее арифметическое по всем сериям.
13. Проверить, линейному или экспоненциальному виду уравнения соответствует градуировочная зависимость "скорость – прочность",
14. Определить коэффициенты уравнения. Записать его.
15. Графически выразить зависимость "скорость – прочность".
16. Найти погрешность установленной зависимости.

Методика установления градуировочных зависимостей и оценки погрешности определения прочности следующая:

Градуировочные зависимости устанавливают в виде графика (или таблицы), построенного по уравнению, которое принимают:

1) линейного вида:

$$R_H = a_0 + a_1 V \quad (4.99)$$

при $R_{\max} - R_{\min} \leq 2R_\phi(60 - R_\phi)/100$

2) экспоненциального вида

$$R_H = b_0 e^{\beta \cdot V} \quad (4.100)$$

где V – скорость (время) распространения ультразвука;

R_H – прочность, определенная по уравнению МПа;

R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное значение прочности в серии испытанных образцов, МПа;

R_ϕ – средняя прочность бетона испытанных образцов в серии, МПа;

a_0, a_1, b_1, b_0 – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$a_0 = \bar{R}_\phi - a_1 \bar{V} \quad (4.101)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{R}_\phi - R_{j\phi})(\bar{V} - V_j)}{\sum_{j=1}^n (\bar{V} - V_j)^2} \quad (4.102)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{V} - V_j)(\ln \bar{R} - \ln R_{j\phi})}{\sum_{j=1}^n (\bar{V} - V_j)^2} \quad (4.103)$$

$$b_0 = e^{\ln \bar{R}_\phi} - b_1 \bar{V} \quad (4.104)$$

где \bar{V} – средняя скорость ультразвука в серии всех образцов, м/с;

$R_{j\phi}, V_j$ – единичные значения прочности и скорости ультразвука для j -й серии образцов;

$$\bar{R}_\phi = \frac{\sum_{j=1}^n R_{j\phi}}{N} \quad (4.105)$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{j=1}^n V_j}{N} \quad (4.106)$$

$$\ln \bar{R}_\phi = \frac{\sum_{j=1}^N \ln R_{j\phi}}{N} \quad (4.107)$$

где \bar{R}_ϕ – средняя прочность бетонов, испытанных при установлении градуированной зависимости, МПа;

N – число серий образцов, испытанных при установлении градуировочной зависимости;

$R_{j\phi}, V_j$ – единичные значения прочности и скорости (времени) распространения ультразвука для j -й серии образцов;

R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное значение прочности по испытанным сериям образцов, МПа.

Результаты измерения скорости ультразвука заносим в образцах серии и определения предела прочности при сжатии бетона испытанных образцов-кубов заносят в табл.7.6. Вычисляют среднюю скорость ультразвука в серии 3-х образцов и средний предел прочности испытанных образцов.

Средние значения скорости ультразвука и предела прочности бетона испытанных 20-ти серий образцов для статистической обработки результатов испытаний, вычисления коэффициентов a_0 и a_1 зависимости «прочность бетона – скорость звука» заносят в табл. 4.44.

После вычисления коэффициентов a_0 и a_1 записывают уравнение градуировочной зависимости:

$$R_H = a_0 + a_1 V \quad (4.108)$$

Таблица 4.44 - Результаты испытаний образцов

№ образца	Ультразвуковые измерения				Результаты механических испытаний			
	Номер точки прозвучивания	Скорость ультразвука, v_i , м/с	Средняя скорость ультразвука в образце, м/с	Средняя скорость ультразвука в серии образцов, м/с	Разрушающее усилие, кН	Рабочая площадь образца, A , мм ²	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	
							частный	средний по серии

Вычисляют прочность бетона R_{jn} в каждой серии образцов по полученной градуировочной зависимости (4.108) и результаты записывают в таблицу 4.45. Проводят корректировку установленной градуировочной зависимости путем обработки единичных результатов, не удовлетворяющих условию:

$$\frac{|R_{jH} - R_{j\phi}|}{S} \leq 2 \quad (4.109)$$

где: S – среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (R_{j\phi} - R_{jn})^2}{n-2}} \quad (4.110)$$

Таблица 4.45 - Результаты испытаний бетона и показатели статистической обработки

№ серии	$V_{j\phi}$, м/с	$R_{j\phi}$, МПа	$V_{\phi-V_{j\phi}}$, МПа	$R_{\phi-R_{j\phi}}$, МПа	$(V_{\phi-V_{j\phi}})$ $(R_{\phi-R_{j\phi}})$, м/с, МПа	$(V_{\phi-V_{j\phi}})^2$ м/с	$(R_{\phi-R_{j\phi}})^2$ МПа	R_{ju} , МПа	$R_{\phi-R_{ju}}$, МПа	$(R_{\phi-R_{ju}})^2$, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
20										

где R_{ju} - прочность бетона в j-й серии образцов.

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний.

Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все единичные результаты не станут удовлетворять условию формулы 4.110.

Результаты испытаний образцов, прочность бетона по градуировочной зависимости и результаты отбраковки заносят в таблицу 4.46.

Таблица 4.46 - Результаты испытаний образцов и прочность бетона по градуировочной зависимости

№ серии	Скорость ультразвука	Прочность, МПа		$\frac{R_{ju} - R_{j\phi}}{S}$		
		по результатам испытаний на сжатие $R_{j\phi}$	по градуировочной зависимости $R_{j\phi}$		до отбраковки	после отбраковки
			до отбраковки	после отбраковки		

Погрешность определения прочности бетона по установленным градуировочным зависимостям вычисляют по формуле:

$$S_T = S^2 + q^2 S_k^2 \quad (4.111)$$

где S_k^2 – среднеквадратическое отклонение коэффициента перехода (К).

При диагональном прозвучивании $S_k=0$.

Тогда для зависимости (7.12)

$$q = R_{\phi} - a_0 \quad (4.112)$$

для зависимости (7.14)

$$q = \ln \frac{R_{\phi}}{b_0} \quad (4.113)$$

Если $\frac{S_T}{R_\phi} \times 100\% > 12$, определение прочности бетона не допускается.

Заключение

Так как отношение $\frac{S_T}{R_\phi} \times 100\%$ составляет _____%, что меньше 12%, то определение прочности бетона по установленной градуировочной зависимости $R_n =$ _____ допускается.

Преимущества и недостатки ультразвукового метода

Главное преимущество ультразвукового метода – возможность быстрого и надежного контроля прочности бетона всех изделий, выпускаемых заводом железобетонных конструкций. Можно организовать непрерывный контроль нарастания прочности в процессе термовлажностной обработки. Ультразвуковой метод в отличие от механических позволяет также определять свойства бетона не в поверхностном слое, а по всей толщине изделия, что существенно повышает надежность контроля качества.

Недостаток применения ультразвука для оценки прочности бетона в изделиях и конструкциях – сильное влияние некоторых технологических факторов на зависимость между прочностью ультразвуковых волн, что несколько обесценивает точность метода, особенно при испытании конструкций без бетона с неизвестными свойствами. Импульсным методом нельзя, например, контролировать прочность крупных массивных изделий и конструкций (толщиной 5 м и длиной свыше 10 м).

При испытании высокопрочных бетонов классов выше С40/50 и бетонов на пористых заполнителях классов ниже С8/10 ультразвуковой метод существенно уступает по прочности механическим методам. Кроме того, для ультразвуковых методов испытаний используют сложную радиотехническую аппаратуру, наладка и ремонт которой в полевых условиях затруднительны и требуют специалистов высокой квалификации. Однако ультразвуковой импульсный метод контроля прочности бетона – более технологичный, быстрый и удобный, чем существующие механические методы.

4.7. Лабораторная работа. КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР

Цель работы

1. Ознакомиться с проблемой выбора состава **растворной смеси** для возведения каменных конструкций из кирпича, естественных или искусственных камней, блоков, панелей;
2. Определить основные показатели качества растворных смесей и готового строительного раствора;
3. Ознакомиться с технологическими и техническими требованиями к растворам;
4. Научиться принципам подбора состава растворной смеси;
5. Приобрести навыки выполнения стандартных испытаний растворной смеси и затвердевшего раствора.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация строительных растворов по применяемым вяжущим.
2. Классификация строительных растворов по области их применения (назначению).
3. Чем отличаются сложные (смешанные) растворы от простых?
4. Какие заполнители применяют для изготовления строительных растворов?
5. Какими технологическими особенностями обладают строительные растворы?
6. От каких факторов зависят свойства строительных растворов?
7. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для того, чтобы установить марку строительного раствора?
8. Какое влияние на прочность при сжатии строительных растворов оказывает различное содержание воды?
9. Как можно повысить прочность на сжатие строительного раствора?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение состава и приготовление растворной смеси, готовой к употреблению.

Задание 2. Определение подвижности растворной смеси.

Задание 3. Определение средней плотности растворной смеси.

Задание 4. Определение выхода растворной смеси в опытном замесе.

Задание 5. Определение средней плотности и прочности строительного раствора при сжатии.

Общие сведения о строительных растворах

Строительным раствором называется искусственный камень, получаемый за счет самоотвердения растворной строительной смеси, содержащей в оптимальных соотношениях вяжущие вещества, заполнители (мелкие – песок), наполнители, функциональные добавки и воду затворения.

Используется в сравнительно тонких слоях, часто на пористом основании, отсасывающем из растворной смеси воду и, следовательно, изменяющим ее состав.

Применяемый заполнитель обладает большой удельной поверхностью. Отсюда особые требования и предусмотренные стандартом испытания раствора.

Согласно СТБ 1307 различают смеси: растворная смесь, растворная сухая смесь, раствор строительный.

Растворная строительная смесь готовая к применению (РСГП) – это тщательно перемешанная и готовая к употреблению пластичная смесь, включающая вяжущее, мелкий заполнитель, необходимые добавки, полностью затворенная водой.

Растворная строительная смесь сухая (РСС) – это перемешанная смесь сухих компонентов, приготовленная на заводе, затворяемая водой или водной дисперсией перед употреблением на строительной площадке.

Строительные растворы разделяют на следующие группы:

По применяемым вяжущим:

– *простые*, с использованием одного вида вяжущего (цементные, известковые, гипсовые);

– *сложные*, с использованием смешанных вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые, известково-зольные);

По средней плотности:

– *тяжелые* (со средней плотностью ρ_0 1500 кг/м³ и более);

– *легкие* (со средней плотностью менее ρ_0 1500 кг/м³);

По назначению:

– *кладочные* (для каменной кладки стен, фундаментов, столбов, сводов и др.);

– *штукатурные* (для отделки внутренних стен, потолков, фасадов зданий);

– *монтажные* (для заполнения швов между крупными элементами);

– *растворы для стяжек*;

– *облицовочные*;

– *специальные* (декоративные, теплоизоляционные, акустические, гидроизоляционные, тампонажные, инъекционные, рентгенозащитные, для полов, кислотоупорные, жаростойкие и т.д.).

Гидроизоляционные растворы для гидроизоляционных слоев и штукатурок в метростроении обычно изготавливают состава 1:2,5 или 1:3,5 (цемент: песок) по массе, применяя расширяющийся и безусадочный

цементы (ВРЦ, РПЦ, НЦ). Инъекционные цементные растворы применяют для уплотнения стыков в элементах отделки тоннелей метрополитена. Марка раствора должна быть не ниже 300, поэтому используют портландцемент марки 400, 500.

В качестве антикоррозийной защиты металлических конструкций, ремонта кирпичных и железобетонных конструкций, **заделки стыков сборной железобетонной и чугунной отделок тоннелей**, устройства в них же деформационных швов используется «Монофлекс–А». Это сухая, безусадочная смесь, изготавливаемая из цемента, песка и специальных добавок, предназначенная для гидроизоляционных работ, заделки стыков, трещин, раковин, отколов, разрушений бетонных и железобетонных водоводов, станций аэрации и очистных сооружений, портовых конструкций, при строительстве могильников для био- и радиоактивных отходов, в реставрационных работах.

Таблица 4.47 - Свойства сухой смеси «МОНОФЛЕКС-А»

Наименование показателей	Величина показателей
Прочность при сжатии, МПа	
через 1 сутки	20-25
через 7 суток	47-52
через 28 суток	76-85
Прочность при изгибе МПа	
через 7 суток	5,8-7,0
через 28 суток	9,8-14,0
Линейное расширение через 28 суток, %	до 0,05
Начало схватывания, ч/мин	от 0-20 до 2-15
Конец схватывания, ч/мин	от 0-30 до 4-30
Водонепроницаемость, атм.	12-15
Морозостойкость, циклы	400
Самонапряжение	5,5-7,0

В зависимости от назначения к ним предъявляются различные требования, используются разные материалы и технологические приемы. Объектом данной лабораторной работы являются растворы, применяемые для кладки фундаментов, стен и других конструктивных элементов зданий и сооружений из кирпича, керамических камней, бутового камня, бетонных блоков или панелей.

Материалы для приготовления кладочных растворов

В качестве вяжущего для приготовления кладочных растворов используют преимущественно портландцемент или его разновидности. Наряду с цементом в состав раствора вводят также известь строительную. При невысоких требованиях к прочности раствора возможно применение и бесцементных смесей на известковых вяжущих.

В качестве заполнителя используют природный (чаще всего кварцевый) песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736. Лишь в некоторых случаях, когда накладываются ограничения на теплопроводность растворов, применяют легкие пористые пески (перлит).

Предельная крупность зерен мелкого заполнителя (песка) D_{\max} назначается:

– для кладки из кирпича, камней или блоков правильной формы – 1,25 или 2,5 мм;

– для бутовой кладки (из камней неправильной формы) – 5 мм.

В штукатурных растворах, применяемых для подготовительного слоя штукатурки (обрызга, грунта), D_{\max} – 2,5 мм, для отделочного (накрывочного) слоя штукатурки – 1,25 мм.

В состав растворной смеси, кроме вяжущих и заполнителей, при необходимости вводят различные химические **добавки**: пластифицирующие, противоморозные, ускоряющие твердение, замедляющие схватывание. Применяют также тонкодисперсные наполнители (порошки), позволяющие сэкономить часть цемента.

Пластифицирующие добавки в цементных растворах могут быть:

– *неорганическими*: известь, глина, цементная пыль, зола-унос ТЭС (теплоэлектростанций)

– *органическими*: мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот, ЛСТ (лигносульфонат технический (прежнее название СДБ)), ГКЖ (гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости), СНВ, суперпластификатор С-3.

Органические пластификаторы – микропенообразователи, позволяют получать удобоукладываемые растворы при частичной или полной замене ими в растворе известкового теста.

Вода для приготовления растворных смесей не должна содержать веществ, которые могли бы помешать нормальному твердению вяжущих (СТБ 1114).

Свойства растворной смеси и затвердевшего раствора

Основными технологическими свойствами (показателями качества) растворной смеси являются рабочая подвижность на месте применения, средняя плотность ρ_0 , расслаиваемость, водоудерживающая способность (для смесей с подвижностью свыше 4 см).

Подвижность определяется по глубине погружения в растворную смесь стандартного конуса. Она задается в зависимости от назначения растворной смеси (вида кладки).

Например, для марки $П_{к3}$ для кладки из обыкновенного полнотелого кирпича и других полнотелых камней или блоков, а также для пустотелых, но с несквозными (невыходящими на верхнюю панель) пустотами – подвижность свыше 8 см до 12 см включительно; для марки $П_{к2}$ для кладки из пустотелого кирпича и керамических камней со сквозными пустотами – подвижность свыше 4 см до 8 см включительно.

Приведенные показатели подвижности имеют большое практическое значение. Чем они выше, тем больше способность раствора растекаться по поверхности камня тонким слоем, заполняя все его неровности и вертикальные швы кладки, что облегчает работу каменщика, снижает расход кладочного раствора за счет уменьшения толщины швов и повышает качество кладки. Однако при использовании пустотелых камней или кирпича (дырчатого, щелевого) приходится ограничивать подвижность растворной смеси во избежание его попадания в пустоты, что привело бы не только к перерасходу раствора, но и увеличило бы теплопроводность стен. Задаваемая подвижность растворной смеси зависит также от погодных условий при производстве работ: в сухой и жаркий период принимают подвижность большей, в дождливый – меньшей.

Подвижность растворной смеси зависит от вида и качества вяжущего, может регулироваться добавками, но, главным образом, определяется расходом воды.

Расслаиваемость растворной смеси характеризует ее связность, сопротивление оседанию песка (как наиболее тяжелого компонента) вниз. Чем меньше вяжущего и больше воды, тем сильнее расслаиваемость смеси, что затрудняет производство строительных работ, в частности, транспортирование растворной смеси, ведет к необходимости повторного ее перемешивания.

Водоудерживающая способность ($V \%$) растворной смеси должна обеспечить нормальное твердение содержащегося в ней вяжущего при укладке тонким слоем на отсасывающее воду основание. Водоудерживающая способность цементного раствора обычно невелика, что создает опасность его пересушивания в кладке и, как результат, задержки роста прочности. *Добавка извести способствует удержанию в растворе воды, необходимой для твердения цемента.*

Из перечисленных свойств (характеристик) растворных смесей, согласно стандарту **обязательным** является только определение **подвижности**. Другие свойства определяют лишь при необходимости, диктуемой проектом или условиями производства работ.

Свойствами (показателями качества) затвердевшего строительного раствора являются: предел прочности на сжатие $R_{сж}$ и на растяжение при изгибе $R_{тб}$, средняя плотность ρ_0 , водопоглощение W , усадка ϵ_y , морозостойкость F . Обязательным является определение **предела прочности на сжатие** $R_{сж}$.

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$ является основной конструкционной характеристикой кладочного раствора, по которой производится его маркировка. Предел прочности определяется испытанием образцов, сформованных по ГОСТ 5802 на пористом основании, чем имитируются условия твердения раствора в кирпичной кладке. Если раствор предназначен для кладки из плотных камней, образцы для испытания на прочность формируют в обычных формах с поддоном.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Методика испытаний. Назначение марки кладочного раствора

Согласно СТБ 1307 «Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия» по пределу прочности на осевое сжатие для строительных растворов установлены следующие марки: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200. Указанные числа представляют собой минимальные для соответствующих марок значения предела прочности раствора на сжатие $R_{сж}$, выраженные в кгс/см². При выражении предела прочности раствора в МПа эти значения принимаются (с округлением) в 10 раз меньшими. Например, раствор марки 50 характеризуется пределом прочности не менее 5 МПа.

Как назначается марка раствора? Сначала при расчете каменных конструкций определяют требуемую прочность кладки. Расчетное сопротивление сжатию кладки зависит от вида, размеров и прочности стенового материала (кирпич керамический и силикатный всех видов, керамические и силикатные камни, сплошные и пустотелые блоки из бетонов всех видов, блоки из природного камня и прочие), а также от прочности тяжелых растворов. Приняв для кладки тот или иной каменный материал и зная расчетное сопротивление сжатию кладки, можно определить, какая прочность раствора необходима и какой марке раствора она соответствует. Приняв для кладки тот или иной каменный материал и зная расчетное сопротивление сжатию кладки, можно определить, какая прочность раствора необходима и какой марке раствора она соответствует.

Исходные данные

Возможен ряд вариантов исходных данных, задаваемых студентам преподавателем.

Требуемая прочность кладки _____ МПа

Вид каменного материала _____

На основании этих данных и вышеприведенной методики назначения марки раствора устанавливается требуемая прочность раствора _____ МПа

На основании п.5 данной лабораторной работы назначается подвижность растворной смеси _____ см.

Принимаются следующие характеристики материалов.

Активность цемента _____ МПа, марка _____

Насыпная плотность цемента, $\rho_n =$ _____ кг/м³.

Тесто известковое (неорганический пластификатор)

Плотность известкового теста $\rho_0 =$ _____ кг/м³.

На основании п. А данной лабораторной работы предельная крупность песка D_{max} _____ мм.

Влажность песка природного кварцевого _____ %.

Насыпная плотность песка ρ_n _____ кг/м³.

Примечание. При отсутствии характеристик исходных материалов они подлежат определению.

Задание: Определить состав кладочного цементно-известкового раствора марки для _____ кладки в _____
(наземной, подземной) (летних, зимних)
условиях в здании из _____ с относительной влажностью
(кирпича, камней, бута)
воздуха помещений _____ %.
(50-60%, 90-95%)
Требуемая подвижность растворной смеси _____ см.

Последовательность выполнения работы следующая.

1) Предварительное определение состава растворной смеси

Вследствие того, что расход цемента и неорганического пластификатора определяются из расчета на 1 м^3 песка, расход песка принимается равным 1 м^3 .

2) Определение расхода цемента на 1 м^3 песка

Для предварительного определения расхода цемента можно принять, что прочность кладочного раствора прямо пропорциональна расходу цемента и его активности. Количество цемента $Q_{\text{ц}}$ в килограммах на 1 м^3 песка, необходимое для получения раствора, заданной прочности R_p вычисляют по формуле:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{830 R_p}{K_n \cdot R_{\text{ц}}} + 45 \quad (4.114)$$

где: $Q_{\text{ц}}$ – расход цемента на 1 м^3 песка естественной влажности в рыхлой засыпке, кг;

R_p – требуемая прочность (марка) раствора, МПа;

$R_{\text{ц}}$ – активность (марка) цемента, МПа;

K_n – коэффициент, учитывающий качество песка:

$K_n=1$ – для крупного песка ($M_k > 2,5$),

$K_n=0,8$ – для песка средней крупности ($M_k = 2,0 \dots 2,5$) и

$K_n=0,6 \dots 0,7$ для мелкого песка ($M_k < 2$).

Минимальный расход цемента в кладочных растворах определен: для конструкций, эксплуатируемых в нормальных влажностных условиях – 100 кг/м^3 сухого песка, для конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности – 125 кг/м^3 и 175 кг/м^3 при мокром режиме помещений. Поэтому, если в результате расчета по вышеприведенной формуле получается величина $Q_{\text{ц}}$ меньше указанной, ее следует повысить до этого значения.

Затем вычисляют число (количество) объемных частей песка ($\Pi_{\text{ч}}$), которое приходится на одну объемную часть цемента

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{\rho_{\text{н.ц.}}}{Q_{\text{ц}}} \quad (4.115)$$

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

Для вяжущих марок 300-500 принимают: $\rho_{н.ц.} = 1200 \text{ кг/м}^3$, для марок 150..200 – $\rho_{н.ц.} = 1100 \text{ кг/м}^3$.

3) Определение расхода известкового теста

Расход неорганического пластификатора (известкового теста) V_g в м^3 на 1 м^3 песка вычисляют по формуле:

$$V_g = 0,17 \left(\frac{2Q_u}{1000} \right) \quad (4.116)$$

или по массе m кг на 1 м^3 песка

$$m = V_g \cdot \rho_\delta$$

Минимальное количество объемных частей известкового теста $I_{ч.}$, приходящееся на одну объемную часть цемента и необходимое для получения удобоукладываемого раствора, определяют по формуле:

$$I_{ч.} = \left(0,17 - \frac{0,34Q_u}{1000} \right) P_{ч.} \quad (4.117)$$

Это количество неорганического пластификатора ($I_{ч.}$) является ориентировочным. Его уточняют опытной проверкой подвижности растворной смеси.

Состав раствора в частях **по объему** характеризуют отношением:

$$\text{Цемент} : \text{Известковое тесто} : \text{Песок} = 1 : I_{ч.} : P_{ч.}$$

Расход воды для получения раствора заданной подвижности зависит от состава раствора, вида вяжущего и заполнителя и устанавливается в опытных замесах.

Для цементно-известковых растворов подвижностью 9-10 см расход Q_B в литрах на 1 м^3 песка вычисляют приближено по формуле:

$$Q_B = 0,5(Q_u + Q_\delta) \quad (4.118)$$

где: $Q_\delta = V_\delta \cdot \rho_\delta$

ρ_δ – плотность известкового теста

4) Приготовление опытного замеса и уточнение состава растворной смеси

Для приготовления опытного замеса необходимо определить расход песка, цемента и известкового теста.

Мерным сосудом отмеряем 3 л песка $V_{лз.}$. Расход песка в граммах на опытный замес в кг составит:

$$Q_{нлз} = 0,003 \cdot \rho_{н.п.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг} \quad (4.119)$$

где: $\rho_{н.п.}$ – насыпная плотность песка, кг/м^3 .

Определяем расход цемента на замес:

$$Q_{цлз} = \frac{Q_u \cdot V_{лз}}{1000} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг} \quad (4.120)$$

Расход известкового теста

$$Q_{лз} = 0,003 \cdot Q_g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг} \quad (4.121)$$

Затем следует определить расход воды и подвижность растворной смеси.

Расход воды следует подобрать опытным путем, исходя из заданной подвижности в см. Начальный расход воды затворения (не считая воды, содержащейся в известковом тесте и песке) определяется по формуле.

$$Q_{вз} = Q_г \cdot 0,003 = \text{_____ кг} \quad (4.122)$$

Расход воды для первого замеса принимают равным $0,9 Q_{вз} = \text{_____ л}$.

Окончательный расход воды устанавливается опытным путем по достижении заданной подвижности.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Приборы, оборудование и материалы

1. Прибор для определения подвижности в виде эталонного стального конуса СтройЦНИЛа.
2. Стальной стержень, диаметром 12 мм, длиной 300 мм.
3. Кельма.
4. Приготовленная растворная смесь.

Методика определения

Строительные растворы имеют специфические технологические особенности:

- укладка тонким слоем на водоотсасывающее пористое основание (кирпич, бетон);
- отсутствие специальных методов выравнивания и уплотнения;
- длительный период применения приготовленного объема раствора.

Поэтому растворные смеси должны быть пластичными, подвижными.

Удобоукладываемость свежеприготовленной растворной смеси характеризуется маркой по подвижности (Π_k), определяемой по глубине погружения (в см) в эту смесь эталонного конуса под действием собственной массы.



Рисунок 4.24 - Прибор для определения подвижности растворной смеси

Основная часть прибора для определения подвижности (рисунок 4.24) – эталонный стальной конус высотой 145 мм, диаметром основания 75 мм и массой 300 ± 2 г. В центре основания конуса закреплен стержень, свободно перемещающийся во втулках штатива. Винтом конус можно закрепить на требуемой высоте. К штативу прикреплена шкала, по которой фиксируется перемещение конуса.

Среднюю пробу растворной смеси емкостью не менее 3 л перед испытанием *интенсивно перемешивают в течение 30 с* и переносят в стальной сосуд 1 (в форме усеченного конуса) высотой 180 мм, диаметром *верхнего* основания 250 мм, нижнего – 150 мм. Сосуд наполняют смесью на 1 см ниже его краев. Смесью уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 12 мм длиной 300 мм (25 раз) и встряхивают сосуд 5...6 раз легким постукиванием о стол.

Поверхность конуса очищают от загрязнений и протирают влажной тканью. Затем сосуд с растворной смесью устанавливают на площадку прибора так, чтобы острие конуса соприкасалось с центром поверхности растворной смеси.

Стержень закрепляют зажимным винтом и фиксируют положение стрелки на шкале (снимают первый отсчет по шкале). Затем быстро отпускают стопорный винт и дают конусу свободно погружаться в растворную смесь. По окончании погружения (после остановки) снимают и записывают второй отсчет по шкале. Глубину погружения эталонного конуса определяют как разность между вторым и первым отсчетами. Подвижность растворной смеси вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений глубины погружения на разных пробах растворной смеси. Разница в показаниях при этом не должна превышать 20 мм. По результатам испытаний определяют марку по подвижности P_k .

Таблица 4.47 – Марка по подвижности

Марка по подвижности	Глубина погружения конуса, см
P_{k1}	от 1 до 4 включ.
P_{k2}	Св. 4 до 8 включ.
P_{k3}	Св. 8 до 12 включ.
P_{k4}	Св. 12 до 14 включ.

Если глубина погружения стандартного конуса оказывается меньше заданного показателя подвижности, добавляют малыми порциями воду (V_d). Перемешивают растворную смесь с добавкой воды, снова определяют подвижность и таким образом постепенно доводят смесь до заданной подвижности.

Результаты опытов представляем в таблице 4.48.

Таблица 4.48 – Результаты испытаний

№ опыта	Расход материалов на замес, кг					Подвижность растворной смеси, см
	Цемент, $Q_{цпз}$	Известков ое тесто, $Q_{цпз}$	Песок, $Q_{плз}$	Вода, $Q_{влз}$	Добавка воды, V_d	
1						
2						
3						

Заключение

Если при подборе дозировки воды выполнено несколько опытов, зависимость подвижности растворной смеси от добавки воды полезно представить графически и сделать выводы из характера полученной кривой.

Задание 3. ОПРЕДЕЛИТЬ СРЕДНЮЮ ПЛОТНОСТЬ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Приборы и материалы

1. Стальной цилиндрический сосуд вместимостью 1000 мл.
2. Весы лабораторные.
3. Стальной стержень диаметром 12 мм, длиной 300 мм.
4. Стальная линейка 400 мм по ГОСТ 427.

Методика определения

Определение средней плотности растворной смеси ρ_0 определяется в литровом сосуде. Перед испытанием определяют массу пустого сосуда (m_0) с погрешностью до 2 г. Затем его наполняют с некоторым избытком растворной смесью, уплотненной штыкованием стальным стержнем 25 раз и пяти-шестикратным легким постукиванием о стол. Избыток смеси срезают стальной линейкой вровень с краями сосуда, наружные поверхности сосуда протирают, удаляя прилипшую растворную смесь, и определяют массу сосуда (m_1) с погрешностью до 2 г.

Среднюю плотность пробы растворной смеси ρ_0 (в кг/м³) определяют по формуле:

$$\rho_0 = [(m_1 - m_2) / 1000] \cdot 1000 \quad (4.123)$$

где: m_1 – масса сосуда с растворной смесью, г;

m_0 – масса пустого сосуда, г.

За среднюю плотность растворной смеси принимают среднее арифметическое значение результатов двух определений на различных пробах смеси (расхождение значение средней плотности проб не должно превышать при этом 5 % от меньшего значения).

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе растворной смеси.

Результаты опытов заносят в таблицу 4.49.

Таблица 4.49 – Результаты испытаний

№ опыта	Масса пустого сосуда m_0 , кг	Масса сосуда с растворной смесью m_1 , кг	Объем сосуда V , см ³	Средняя плотность растворной смеси, ρ_{m1} , кг/м ³
1				
2				
3				

Заключение

Полученные значения средней плотности растворной смеси сравнить с полученным в предыдущей лабораторной работе значением средней плотности бетонной смеси и пояснить, почему средняя плотность растворной смеси *отличается* от средней плотности *бетонной смеси*.

Задание 4. ОПРЕДЕЛИТЬ ВЫХОД РАСТВОРНОЙ СМЕСИ В ОПЫТНОМ ЗАМЕСЕ

Фактический выход растворной смеси при установленной дозировке материалов на 1 м³ песка

$$V_{рф} = \frac{\sum m}{\rho_0} \quad (4.124)$$

где $\sum m$ – сумма масс всех дозированных на замес материалов, кг;

$$\sum m = Q_u + Q_d + Q_g + B_d = \text{_____ кг} \quad (4.125)$$

Зная фактический объем растворной смеси, определим расход материалов на 1 м³ строительного раствора.

Состав раствора по массе

$$Q_{цф} = \frac{Q_u}{V_{рф}} = \text{_____ кг} \quad (4.126)$$

$$Q_{дф} = \frac{Q_d}{V_{рф}} = \text{_____ кг} \quad (4.127)$$

$$Q_{нф} = \frac{Q_n}{V_{рф}} = \text{_____ кг} \quad (4.128)$$

$$Q_{вф} = \frac{B_3 + B_d}{V_p} = \text{_____ кг} \quad (4.129)$$

$$\frac{Q_g}{V_{рф}} = \frac{0,9 Q_{взл} \cdot 1000}{3 \cdot V_{рф}}$$

Хл. Определяем расход материалов на замес растворомешалки емкостью

$$1 + I_u + II_u = y \quad (4.130)$$

Расход цемента на замес $V_{цз}$, л, составит:

$$V_{цз} = \frac{x}{y} \cdot 1 = \quad (4.131)$$

или по массе $Q_{ц.з.}$, кг

$$Q_{цз} = V_{цз} \cdot \rho_{н.цементa} =$$

Расход цементного теста на замес $V_{дз}$, л, составит

$$V_{дз} = \frac{x}{y} \cdot I_ч = \quad (4.132)$$

или по массе $Q_{дз}$, кг

$$Q_{дз} = V_{дз} \cdot \rho_0 =$$

Расход песка на замес $V_{пз}$, л, составит:

$$V_{пз} = \frac{x}{y} \cdot II_ч = \quad (4.133)$$

или по массе $Q_{пз}$, г

$$Q_{пз} = V \cdot \rho_{вн}$$

Расход воды (без учета воды, содержащейся в песке и в известковом тесте) на замес B_3 , л, составит:

$$B_3 = \frac{Q_6}{1000} \cdot V_{пз} = \quad (4.134)$$

Полученные значения расхода материалов сводим в таблицу 4.50.

Таблица 4.50 - Результаты определения расхода материалов

Наименование материала	Расход материалов				
	на 1м ³ песка		на 1м ³ раствора	на 1 замес растворомешалки емкостью _____ л	
	кг	л	кг	кг	л
Цемент					
Известковое тесто					
Песок					
Вода					

Заключение

Сделать выводы по полученным результатам.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА ПРИ СЖАТИИ

Методика изготовления опытных образцов и их испытание

Приборы и материалы

1. Разъемные стальные формы без поддона по ГОСТ 22685.
2. Пресс гидравлический по ГОСТ 8905
3. Штангенциркуль по ГОСТ 166
4. Стальной стержень диаметром 12 мм, длиной 300 мм
5. Весы технические по ГОСТ 24104
6. Образцы-кубы из затвердевшего цементно-известкового раствора

Методика испытаний

Несущую способность конструкции в большей степени обеспечивают свойства материалов, из которых она получена. Для стеновой конструкции, выполненной из мелкоштучных изделий или крупноразмерных блоков, ее несущая способность складывается из прочности самого стенового материала, прочности раствора и прочности сцепления раствора с поверхностью изделия.

Прочность раствора характеризуется *маркой*. Для строительного раствора установлены следующие марки по прочности на сжатие: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

Для определения прочности раствора на сжатие изготавливают три образца-куба размерами 70,7 x 70,7 x 70,7 мм. Указанный размер ребра куба выбран из соображений удобства последующего расчета предела прочности. Действительно, площадь поперечного сечения образца в этом случае $\approx 5000 \text{ мм}^2$ (50 см^2) и деление разрушающего усилия на площадь поперечного сечения не требует применения калькулятора и легко осуществляется в уме удвоением величины разрушающего усилия и переносом запятой влево на четыре знака (если площадь в см^2).

В соответствии с требованиями стандарта, если подвижность растворной смеси не менее 5 см (а при кладке из кирпича, керамических и других пористых камней она всегда больше), образцы надлежит изготавливать на пористом основании (на кирпиче) в формах без поддона. Собранную и смазанную форму устанавливают на уложенный плашмя кирпич с ровной поверхностью, предварительно покрытый смоченной водой газетной или другой непроклеенной бумагой. Кирпич применяют керамический влажностью не более 2 % и водопоглощением 10...15 % по массе. Затем каждую из трех форм заполняют растворной смесью за один прием с некоторым избытком, уплотняют ее штыкованием 25 раз стальным стержнем диаметром 12 мм. После того, как поверхность растворной смеси станет матовой (вследствие отсоса из нее части воды кирпичом), избыток смеси срезают ножом, смоченным водой, вровень с краями формы и заглаживают поверхность. Повторное использование кирпича в качестве отсасывающего воду основания не допускается.

Если образцы-кубы изготавливают из растворной смеси подвижностью менее 5 мм, берут формы с поддоном.

Формы, заполненные растворной смесью, приготовленной на гидравлических вяжущих веществах, выдерживают до распалубки в камере с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $(65 \pm 10) \%$.

Через (24 ± 2) ч после укладки растворной смеси образцы-кубы освобождают от форм и верхнюю грань нумеруют трудно стираемой краской. Образцы хранят при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ следующим образом. Образцы из растворных смесей на гидравлических вяжущих веществах в течение трех суток хранят в камере нормального хранения при относительной влажности выше 95 %, а остальное время – в воде; для растворов, твердеющих на

воздухе, образцы следует хранить в помещении при относительной влажности $(65 \pm 10) \%$. При хранении в помещении образцы защищают от сквозняков и действия нагревательных приборов.

Примечание. На изготовление трех образцов-кубов требуется немногим более 1 л растворной смеси. Поэтому из приготовленного замеса можно изготовить с исследовательской целью еще три образца, изменив какой-нибудь фактор, и затем при сравнении результатов испытания получить возможность оценить влияние этого фактора. Например, вместо бумаги, прокладываемой по стандартной методике между формой и пористым основанием, можно проложить полиэтиленовую пленку, исключив тем самым отсос воды (или использовать плотный поддон). В этом случае, сравнивая результаты испытания двух серий образцов, мы увидим влияние водопоглощения основания на прочность раствора. Другие варианты исследовательских задач: вместо предусмотренного стандартом уплотнения растворной смеси штыкованием использовать виброуплотнение; изготовить обе серии образцов одинаково, но испытать их в разном возрасте или при различных условиях хранения. Для формования трех образцов исследовательской серии можно также изменить состав растворной смеси, оставшейся после формования основных образцов по стандарту, например, добавить еще воды или добавить песка, или ввести ту или иную химическую добавку.

Маркировка раствора производится по пределу прочности на осевое сжатие в возрасте 28 суток. Если испытания на прочность осуществляются в другом возрасте, результаты испытаний можно привести к 28-суточному возрасту умножением на коэффициенты приведения по таблице 4.51.

Таблица 4.51 - Коэффициенты приведения, учитывающие возраст бетона

Возраст при испытании, сут.	3	7	14	28	60	90
Коэффициент приведения	3	1,8	1,25	1	0,8	0,77

Если раствор твердел при температуре, отличавшейся от предусмотренной стандартом, влияние возраста и температуры на прочность твердеющего раствора можно учесть приведением результатов испытания к стандартным в 28-суточном возрасте посредством умножения на коэффициенты по таблице 4.52.

Таблица 4.52 - Коэффициенты приведения, учитывающие температуру твердения раствора

Возраст при испытании, сут.		3	7	14	28
Коэффициент твердения при температуре твердения раствора, °С	10	5,5	2,7	1,7	1,2
	25	2,4	1,6	1,2	0,96

Перед испытанием на прочность каждый образец следует обмерить и измерить массу m для определения средней плотности ρ_0 затвердевшего раствора по ГОСТ 5802 п. 7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ЗАТВЕРДЕВШЕГО РАСТВОРА

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью не более 0,5г.
2. Стальная линейка по ГОСТ 427.
3. Штангенциркуль с погрешностью не более 0,1 мм.
4. Образцы-кубы затвердевшего раствора.

Методика испытаний

Определение средней плотности затвердевшего раствора производят при его естественной влажности (или при другой влажности, установленной стандартом) на трех стандартных образцах-кубах с ребром 70,7 мм.

Объем образцов вычисляют по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм. Массу образцов (m) определяют взвешиванием с погрешностью не более 0,1 г. Плотность образца затвердевшего строительного раствора ρ_0 вычисляют с погрешностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V} \cdot 1000 \quad (4.135)$$

Результаты опытов заносят в таблицу 4.53.

Таблица 4.53 - Результаты определения средней плотности раствора

Показатели	№ образцов		
	1	2	3
Масса образцов, m , г			
Размеры образца:			
ширина, см			
толщина, см			
высота, см			
Площадь поперечного сечения, A , см ²			
Объем образца, V , см ³			
Средняя плотность образца раствора ρ_0 , кг/м ³			

Среднюю плотность затвердевшего раствора вычисляют как среднее арифметическое результатов определения средней плотности трех образцов одной серии.

Заключение

Полученные результаты желательно сравнить со средней плотностью образцов из гипсового вяжущего и со средней плотностью образцов из тяжелого цементного бетона.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью не более 0,5г.
2. Стальная линейка по ГОСТ 427.
3. Штангенциркуль с погрешностью не более 0,1 мм.
4. Образцы-кубы затвердевшего раствора.

Методика испытаний

Предел прочности при сжатии определяют для каждого образца как частное от деления разрушающего усилия на рабочую площадь образца.

При испытании образец устанавливают в центр нижней плиты пресса так, чтобы к плите пресса прилегала *грань образца, бывшая при формовании боковой*.

Усилие на стандартный образец 70,7 x 70,7 x 70,7 мм должно расти со скоростью 10...50 кН (1020...5100 кгс) в секунду. Достигнутое в процессе испытания максимальное усилие принимают за разрушающее усилие. Предел прочности при сжатии для каждого образца рассчитывают по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \quad (4.136)$$

где F - разрушающее усилие, Н

A – площадь поперечного сечения образца, мм²

Предел прочности раствора при осевом сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов-кубов.

Результаты испытания и их приведение к стандартным отражают в таблице 4.54.

Таблица 4.54 - Результаты определения марки раствора

№ образца	Разрушающее усилие F , Н	Площадь сечения A , мм ²	Предел прочности $R_{сж}$, МПа		Марка раствора
			при испытании	с приведением к стандартному	
1					
2					
3					
Среднее					

Если полученная марка раствора соответствует заданной, подобранный состав растворной смеси может быть выдан к производству строительных работ. Если же она оказалась выше или ниже требуемой, состав подлежит корректировке и дополнительной проверке с изменением расхода цемента (соответственно уменьшением или увеличением) пропорционально необходимому изменению предела прочности раствора, что и отражается в заключении к лабораторной работе.

Заключение

Сделать заключение по результатам испытания.

III КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

5. Вопросы для подготовки к защите лабораторных работ

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы «ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ»

1. Какое различие между истинной, средней и насыпной плотностями?
2. Как определить истинную плотность строительного материала?
3. Почему измельчают материалы при определении истинной плотности?
4. Как определить пористость материала?
5. Как определить водопоглощение материала?
6. На какие свойства и в какой степени влияет пористость?
7. Как определить насыпную плотность сыпучих материалов?
8. Как определить пустотность сыпучих материалов?
9. Как рассчитать закрытую пористость материала?
10. Что такое прочность материала и чем она характеризуется?
11. На каких образцах и как определить предел прочности при сжатии? При растяжении? При изгибе?
12. На каких образцах и как определить ударную прочность?
13. Как определить истираемость материалов?
14. Как рассчитать водопоглощение по объему, зная водопоглощение по массе?

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы «МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ»

1. Что такое частные и полные остатки на ситах?
2. Какие остатки (частные или полные) нормируются стандартами?
3. Какое количество примесей гравия допускается в песке?
4. Сколько допускается в песке частиц, проходящих сквозь сито с размером отверстий 0,16 мм?
5. Как рассчитывают модуль крупности песка?
6. В каких пределах теоретически могут варьировать значения модуля крупности? В каких пределах он допускается для песков, используемых в бетонах?
7. Насыпная плотность какого песка больше: удовлетворяющего требованиям стандарта по зерновому составу или не удовлетворяющего? Почему?
8. Насыпная плотность какого песка больше: сухого или влажного? Почему?
9. Какие виды вредных примесей определяют в песке?

10. Почему вредно содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?

11. Как определяется содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?

12. Почему вредно чрезмерное наличие в песке органических примесей и как оно оценивается?

13. В какой цвет окрашивается водный раствор едкого натра при взаимодействии с песком? Как зависит окраска раствора от содержания в песке органических примесей?

14. На чем основан метод определения органических примесей в песке?

15. Как рассчитать пустотность песка и какое она имеет значение?

16. Какой минерал преобладает в песке? Каковы его основные свойства?

17. Каковы форма зерен песка и характер поверхности? Какое это имеет значение при использовании песка в бетоне?

18. Как определить истинную плотность (плотность зерен) песка?

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы «КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА»

1. Чем ограничивается верхний предел крупности заполнителей?

2. Как влияет расход крупного заполнителя на расход цемента в бетоне, на величину усадки?

3. Как влияет расход крупного пористого заполнителя на плотность и теплопроводность легкого бетона?

4. Что выражает обозначение марки гравия из горных пород?

5. Что выражает обозначение марки щебня из плотных горных пород?

6. Что выражает обозначение марки пористых заполнителей?

7. Как определяется объем пробы заполнителя для вычисления средней плотности зерен?

8. Какие характеристики крупного заполнителя надо знать для расчета его пустотности?

9. От чего зависит пустотность данной фракции крупного заполнителя?

10. Какие характеристики крупного заполнителя надо знать для расчета величины пористости его зерен?

11. Что показывает коэффициент насыщения?

12. Как по стандарту оценивается прочность плотных заполнителей для тяжелого бетона?

13. Как определяется дробимость крупного заполнителя?

14. Как по стандарту определяется прочность пористых заполнителей для легкого бетона?

15. Какой из испытанных заполнителей - гравий или щебень из горных пород предпочтителен для получения тяжелого бетона с прочностью при сжатии 10 МПа? Почему?

16. Какой из испытанных пористых заполнителей - керамзитовый гравий или аглопоритовый щебень предпочтителен для получения теплоизоляционного легкого бетона? Почему?

17. По каким показателям оценивают качество крупного заполнителя для бетонов?

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы «ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ»

1. Как определить среднюю (насыпную) плотность ПЦ?
2. От чего зависит насыпная плотность ПЦ?
3. Какие периоды твердения ПЦ характеризуют время начала и конца схватывания?
4. Что называется концом и началом схватывания цементного теста?
5. Какие требования предъявляет ГНПА на ПЦ по срокам схватывания?
6. Почему нельзя применять алюминиевую и оцинкованную посуду для испытания цемента?
7. Каков ход работы при определении сроков схватывания?
8. Какова роль добавки CaCl_2 ?
9. Что называется «нормальной густотой» цементного теста?
10. С какой целью определяют «нормальную густоту» цементного теста?
11. Как определить «нормальную густоту» цементного теста? На каком приборе и в каких единицах определяют «нормальную густоту» цементного теста?
12. Как определяется равномерность изменения объема цемента?
13. При каких условиях цемент не может считаться выдержавшим испытание на равномерность изменения объема цемента?
14. Каковы причины неравномерного изменения объема цемента?
15. Как определяют марку цемента?
16. Какой режим твердения используют при определении марки цемента?
17. Что такое цементный раствор?
18. Какие требования предъявляются к стандартному песку?
19. Как определяется «нормальная густота» цементных растворов заданной консистенции?
20. Как изготавливают контрольные образцы-балочки (призмы)?
21. Какие основные правила хранения образцов до испытания на прочность?
22. Что такое марка и активность ПЦ?
23. Как Вы понимаете выражение – марка ПЦ 400, 500?
24. Каким образом можно рассчитать ориентировочно марку цемента, образцы которого твердели 7 суток?
25. С какой целью при определении марки цемента предварительно подбирают консистенцию цементно-песчаного раствора?

26. От чего зависит марка цемента?
27. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета марки цемента?
28. Почему для твердения гидравлических вяжущих необходима высокая влажность?
29. Как определяется марка цемента на приборе ИАЦ?
30. Как определяется удельная поверхность цемента на приборе ПСХ?

**Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ»**

1. Классификация тяжелых бетонов.
2. Перечислить компоненты, входящие в состав бетона. Какова их роль?
3. Какие условия учитываются при выборе цементов для бетонов?
4. Перечислить и охарактеризовать основные свойства бетонной смеси.
5. Как определить подвижность и жесткость бетонной смеси? В каких единицах она выражается?
6. Для каких бетонов и как определяется жесткость?
7. Какие исходные данные надо иметь, чтобы подобрать состав бетона?
8. Описать влияние различных факторов на показатели удобоукладываемости бетонных смесей.
9. Почему подвижность бетонных смесей оценивают в сантиметрах, а жесткость – в секундах?
10. Какие используют способы уплотнения бетонной смеси? Какова их сущность?
11. В чем сущность основного закона прочности бетона?
12. Как влияет на свойства бетонной смеси и бетона излишняя вода?
13. Какие технологические и другие факторы определяют прочность бетона?
14. Какие цели и задачи преследует подбор состава бетона?
15. Изложить сущность расчетно-экспериментального метода проектирования состава бетона.
16. Как определить расход цемента на 1 м³ бетона?
17. Как рассчитать количество крупного заполнителя на 1 м³ уплотненной бетонной смеси?
18. Как определить расход песка на 1 м³ бетона?
19. Как рассчитать водоцементное отношение (В/Ц) для пластичной бетонной смеси?
20. Как определить ориентировочный расход воды на 1 м³ бетонной смеси?
21. Как обозначается состав бетонной смеси?
22. Чем отличается производственный (рабочий) состав бетона от лабораторного (номинального)?

23. Какие факторы влияют на величину коэффициента раздвижки зерен при определении расхода крупного заполнителя?

24. Как определить расход материалов на один замес бетоносмесителя?

25. Что понимают под коэффициентом выхода бетона? Как он определяется?

26. Как приготавливается бетонная смесь в лабораторных условиях на металлическом поддоне (бойке)?

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы «ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА»

1. Каковы стандартные условия твердения контрольных образцов бетона?

2. Как рассчитать предел прочности бетона, если образцы размерами 100x100x100 мм испытывали в возрасте 28 суток?

3. Как рассчитать прочность бетона в нормальном 28-суточном возрасте, если контрольные образцы – кубы с размером 150x150x150 мм испытывали в возрасте 12 суток?

4. Сопоставить понятия «класс» и «гарантированная прочность» бетона. Какова их взаимосвязь?

5. Какие частоты механических колебаний называют ультразвуком?

6. Что такое пьезоэлектрический эффект?

7. Принцип работы ультразвуковых приборов.

8. Способы прозвучивания бетонных образцов?

9. В чем сущность сквозного и поверхностного прозвучивания?

10. Как достигается надежный контакт между испытываемым материалом и рабочей поверхностью ультразвуковых преобразователей?

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы «КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР»

1. Основные виды растворов по назначению.

2. Основные виды кладочных растворов по виду вяжущего.

3. Что такое марка раствора? Исходя из чего она назначается?

4. Поясните разницу в понятиях "раствор" и "растворная смесь".

5. Что такое подвижность растворной смеси и чем она характеризуется?

6. Каковы критерии выбора той или иной подвижности растворной смеси?

7. Какой смысл имеет понятие «расслаиваемость» растворной смеси?

8. Какой смысл имеет понятие «водоудерживающая способность» растворной смеси?

9. Какие материалы используются для приготовления кладочных растворов?

10. Какая предельная крупность песка допускается в кладочных растворах?

11. Как зависит прочность раствора от расхода цемента и его активности?
12. Что дает добавление извести в цементно-песчаный раствор?
13. Как определить фактический выход растворной смеси по объему в опытном замесе?
14. Как определить фактический расход материалов на 1 м³ раствора?
15. Каковы форма, размеры и особенности изготовления образцов из растворной смеси, предназначенной для кирпичной кладки?
16. Каковы стандартные условия хранения и испытания растворных образцов?
17. Как скорректировать состав раствора, если результаты испытаний не соответствуют заданной марке?
18. Какие минеральные пластификаторы используются в строительных растворах?
19. Как определить плотности растворной смеси и строительного раствора?
20. От чего зависит прочность строительных растворов?
21. Как определить предел прочности при осевом сжатии?
22. От чего зависит водоудерживающая способность растворной смеси?
23. В чем заключаются стандартные условия твердения образцов из растворных смесей, изготовленных на гидравлических и водоудерживающих веществах?
24. От чего зависит выбор вяжущего в строительных растворах?
25. Как определить подвижность растворной смеси? В чем отличие этого испытания от определения подвижности бетонной смеси?
26. Почему при определении прочности строительного раствора при сжатии для изготовления образцов в одних случаях используют формы без дна, а в других обычные формы?
27. Каковы сроки и режим твердения образцов из растворов на гидравлических вяжущих?

6. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ И ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Классификация строительных материалов. Система нормативных документов на строительные материалы.
2. Оценка показателей свойств материалов методом математической статистики.
3. Физические свойства материалов (плотность и пористость). Пустотность (для зернистых материалов).
4. Физические свойства материалов (пористость и пустотность).
5. Физические свойства материалов (водопоглощаемость по массе и объему).

6. Физические свойства материалов (гигроскопичность, влагоотдача, водопроницаемость).
7. Физические свойства материалов (водонасыщенные и гигроскопичность). Переход от водонасыщения по массе и водонасыщению по объему.
8. Физические свойства строительных материалов (водопоглащаемость, водопроницаемость, теплопроводность).
9. Физические свойства материалов (теплопроводность, теплоемкость, теплостойкость, термостойкость, огнестойкость).
10. Физические свойства материалов (морозостойкость). Коэффициент морозостойкости.
11. Физические свойства строительных материалов (плотность, пористость, пустотность и др.).
12. Пористость и пустотность материала.
13. Прочность материалов.
14. Физические свойства материалов (деформативность и твердость).
15. Физические свойства строительных материалов (коэффициент конструктивного качества, предел текучести, динамическая прочность).
16. Взаимосвязь прочности материала на сжатие с его средней плотностью.
17. Неразрушающие методы оценки свойств материалов (склерометрический и ультразвуковой методы).
18. Твердость материалов и его оценка методом Бринелля. Шкала Мооса для оценки твердости минералов.
19. Химическая стойкость материалов (кислото -, щелоче- и солестойкость).
20. Динамическая прочность материалов (прочность материала при ударных нагрузках и истираемость).
21. Изотропность и анизотропность материалов. Однородность материалов и ее оценка.
22. Система оценки качества материалов (ГОСТы, СТБ, ТУ).
23. Разработка месторождений горных пород.
24. Полевые обследования месторождений горных скальных пород. Обозначение запасов пород при детальной и рекогносцировочной разведке.
25. Осадочные горные породы и их использование в строительстве (виды обломочных, органогенных и химического происхождения).
26. Методы защиты каменных материалов от коррозии (конструктивные и химические).
27. Микроструктура цементного камня. Степень гидратации цемента.
28. Поры цементного камня (гелевые, капиллярные и контракционные поры).
29. Коррозия цементного камня (магнезиальная коррозия и коррозия водами, содержащими свободные кислоты).

30. Коррозия цементного камня (разрушающее действие от морской и других сульфатных вод).
31. Коррозия цементного камня (коррозия водами, содержащими агрессивную углекислоту).
32. Коррозия цементного камня (коррозия водами, содержащими свободные кислоты).
33. Коррозия цементного камня и меры борьбы с ней.
34. Процесс образования кристаллизационной структуры цементного камня.
35. Пуццолановые портландцементы.
36. Портландцемент. Основные свойства и методы определения.
37. Портландцемент (минералогический состав портландцемента, гидравлический модуль как характеристика химического состава цемента).
38. Теория твердения портландцемента (растворение, схватывание, твердение).
39. Помол клинкера и хранение цемента.
40. Производство портландцемента.
41. Производство портландцемента по мокрому способу (технологическая схема).
42. Производство портландцемента (мокрый способ).
43. Глиноземистые (алюминатные) цементы.
44. Расширяющие и безусадочные цементы.
45. Строительные растворы (классификация, расчет состава, свойства).
46. Строительные растворы (растворы для каменной кладки и штукатурных работ).
47. Гидравлические минеральные вяжущие вещества (гидравлическая известь, романцемент).
48. Воздушная известь (получение, гашение, твердение).
49. Магнезиальные вяжущие материалы (каустический магнезит, каустический доломит).
50. Гипсовые вяжущие вещества (получение). Строительный гипс.
51. Жидкое стекло (получение и применение).
52. Растворимое стекло (получение, свойства, применение).
53. Параметры глиняного кирпича и технология его изготовления.
54. Силикатные материалы (силикатный кирпич, ситаллы и силикальцит).
55. Макро – и микроструктура бетона. Уравнение абсолютных объемов.
56. Физико – механические свойства бетона. Описание деформирования бетона с помощью реологической модели.
57. Прочность бетона при сжатии (размеры стандартных образцов и их приготовление при контроле качества продукции заводов товарного бетона).

58. Зависимость прочности бетона (R_b) от цементно – водного отношения (Ц/В).
59. Зависимость требуемой прочности бетона от коэффициента вариации (расчетная формула).
60. Однородность бетона и ее оценка с помощью коэффициента вариации.
61. Усадка бетона (виды усадки и объяснение проявления каждого из них).
62. Ползучесть бетона (объяснение физической сущности и меры по уменьшению этого явления).
63. Морозостойкость бетона (график зависимости прочности бетона от числа циклов замораживания - оттаивания).
64. Пористость бетона (общий объем пор плотного бетона).
65. Ускорение твердения бетона с помощью тепловой обработки (параметры автоклавной обработки).
66. Проектирование состава цементобетона.
67. Формирование структуры бетона.
68. Расчет состава бетона.
69. Производственные факторы, влияющие на прочность бетона.
70. Пути экономии цемента при изготовлении бетона.
71. Ячеистые бетоны (пено- и газобетон).
72. Шлакобетоны.
73. Легкие бетоны.
74. Предварительно – напряженный железобетон (необходимость в изготовлении, преимущества с обычным железобетоном).
75. Основные преимущества предварительно - напряженного железобетона (схема и технология).
76. Классификация железобетонных изделий и технологические методы и их формирования.
77. Производство сборного железобетона (твердение железобетонных изделий и складирование готовых изделий).
78. Материалы для изготовления железобетонных изделий (арматура, ее виды, изготовление и транспортировка).
79. Производство сборных железобетонных изделий и конструкций.
80. Формование железобетонных изделий.
81. Формование железобетонных изделий. Вибрационное уплотнение. Правила приемки ж/б изделий.
82. Технология монолитного железобетона.

IV ЛИТЕРАТУРА

7. ПЕРЕЧЕНЬ ТНПА ПО ДОРОЖНОМУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

1. СТБ 4.211-94 Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы строительные нерудные и заполнители для бетона пористые. Номенклатура показателей
2. СТБ 4.212-98 Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей
3. СТБ 4.250-94 Система показателей качества продукции. Строительство. Бетонные и железобетонные изделия и конструкции. Номенклатура показателей
4. СТБ ЕН 932-1-2002 Методы испытания общих свойств гранулометрических фракций горных пород. Часть 1. Методы отбора проб
5. СТБ ЕН 932-2-2007 Методы испытаний по определению общих характеристик гранулометрических фракций горных пород. Часть 2. Методы сужения лабораторных проб
6. СТБ ЕН 932-5-2007 Методы испытаний по определению общих характеристик гранулометрических фракций горных пород. Часть 5. Типовое испытательное оборудование и калибровка
7. СТБ ЕН 933-1-2015 Методы определения геометрических показателей заполнителей. Часть 1. Определение гранулометрического состава. Метод просеивания
8. СТБ ЕН 933-2-2002 Методы испытания геометрических свойств гранулометрических фракций горных пород. Часть 2. Определение гранулометрического состава. Контрольные сита, номинальные размеры отверстий сит
9. СТБ 942-93 Портландцемент безусадочный. Технические условия
10. СТБ 968-94 Вяжущее шлакопудцолоановое. Технические условия
11. СТБ ЕН 1097-1-2016 Методы определения механических и физических показателей заполнителей. Часть 1. Определение устойчивости к истиранию (микро-Деваль)
12. СТБ ЕН 1097-3-2007 Методы испытаний по определению механических и физических характеристик гранулометрических фракций горных пород. Часть 3. Определение насыпной плотности и пустотности
13. СТБ 1112-98 Добавки для бетонов. Общие технические условия
14. СТБ 1114-98 Вода для бетонов и растворов. Технические условия
15. СТБ 1168-99 Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона
16. СТБ 1182-99 Бетоны. Правила подбора состава
17. СТБ 1217-2000 Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия
18. СТБ 1307-2012 Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия

19. СТБ 1310-2002 Бетоны. Классификация. Общие технические требования
20. СТБ 1311-2002 Щебень кубовидный из плотных горных пород. Технические условия
21. СТБ 1335-2002 Цемент напрягающий. Технические условия
22. СТБ 1414-2003 Добавка СПС для бетонов и растворов. Технические условия
23. СТБ 1415-2003 Бетоны на органоминеральных вяжущих. Технические условия
24. СТБ 1482-2004 Бетоны. Методы коррозионных испытаний
25. СТБ 1534-2005 Смеси бетонные сухие на безусадочном цементе. Технические условия
26. СТБ 1544-2005 Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия
27. СТБ 1545-2005 Смеси бетонные. Методы испытаний
28. СТБ 1957-2009 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия
29. СТБ 2060-2010 Долomit тонкодисперсионный для бетонов и строительных растворов. Технические условия
30. СТБ 2092-2010 Добавка РСАМ для бетонов и строительных растворов. Технические условия
31. СТБ 2101-2010 Бетоны напрягающие. Технические условия
32. СТБ 2103-2010 Добавки для цементов. Классификация
33. СТБ 2264-2012 Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности
34. СТБ EN 12620-2010 Заполнители для бетона
35. ТКП 534-2014 (02190) Добавки для бетона мостовых и дорожных конструкций. Правила применения
36. ТКП 45-5.03-12-2005 (02250) Изделия из тяжелого бетона предварительно напряженные. Правила изготовления
37. ТКП 45-5.03-13-2005 (02250) Изделия бетонные и железобетонные сборные. Правила тепловлажностной обработки
38. ТКП 45-5.03-21-2006 (02250) Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства
39. ТКП 45-5.09-33-2006 (02250) Антикоррозионные покрытия строительных конструкций зданий и сооружений. Правила устройства
40. ТКП 45-1.03-42-2008 (02250) Безопасность труда в строительстве. Производство строительных материалов, конструкций и изделий
41. ТКП 45-1.01-46-2006 (02250) Строительство. Техническая оценка пригодности строительных материалов и изделий. Основные положения и порядок проведения
42. ТКП 45-5.05-64-2007 (02250) Деревянные конструкции. Правила монтажа
43. ТКП 45-5.02-82-2010 (02250) Каменные и армокаменные конструкции. Правила возведения

44. ТКП 45-5.03-97-2009 (02250) Железобетонные сборно-монолитные конструкции. Правила проектирования
45. ТКП 45-2.02-110-2008 (02250) Конструкции строительные. Порядок расчета пределов огнестойкости
46. ТКП 45-2.01-111-2008 (02250) Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы проектирования
47. ТКП 45-5.03-130-2009 (02250)
48. Сборные бетонные и железобетонные конструкции. Правила монтажа
49. ТКП 45-5.03-131-2009 (02250)
50. Монолитные бетонные и железобетонные конструкции. Правила возведения
51. ТКП 45-1.01-144-2009 (02250) Строительство. Технологическая документация при изготовлении строительных материалов и изделий. Порядок разработки, согласования и утверждения
52. ТКП 45-5.05-146-2009 (02250) Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования
53. ТКП 45-5.03-158-2009 (02250) Бетонные и железобетонные конструкции из напрягающего бетона. Правила проектирования
54. ТКП 45-5.03-266-2012 (02250) Бетонные и железобетонные изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления
55. ГОСТ 310.1-76 Цементы. Методы испытаний. Общие положения
56. ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола
57. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема
58. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии
59. ГОСТ 310.5-88 Цементы. Метод определения тепловыделения
60. ГОСТ 310.6-85 Цементы. Метод определения водоотделения
61. ГОСТ 5578-94 Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия
62. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний
63. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия
64. ГОСТ 8269.0 - 97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний
65. ГОСТ 8269.1 - 97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа
66. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

67. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия
68. ГОСТ 10060.0-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования
69. ГОСТ 10060.1-95 Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости
70. ГОСТ 10060.2-95 Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании
71. ГОСТ 10060.3-95 Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости
72. ГОСТ 10060.4-95 Бетоны. Структурно-механический метод ускоренного определения морозостойкости
73. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия
74. ГОСТ 12730.0-78 Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости
75. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности
76. ГОСТ 12730.2-78 Бетоны. Метод определения влажности
77. ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Метод определения водопоглощения
78. ГОСТ 12730.4-78 Бетоны. Метод определения показателей пористости
79. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости
80. ГОСТ 13015.0-83 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования
81. ГОСТ 13015.1-81 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Приемка
82. ГОСТ 13015.2-81 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Маркировка
83. ГОСТ 13087-81 Бетоны. Методы определения истираемости
84. ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности
85. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности
86. ГОСТ 22263-76 Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия
87. ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия
88. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия
89. ГОСТ 22690-2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля

90. ГОСТ 22783-77 Бетоны. Метод ускоренного определения прочности на сжатие
91. ГОСТ 24316-80 Бетоны. Метод определения тепловыделения при твердении
92. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона
93. ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести
94. ГОСТ 24545-81 Бетоны. Методы испытаний на выносливость
95. ГОСТ 25094-94 Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний
96. ГОСТ 26134-84 Бетоны. Ультразвуковой метод определения морозостойкости
97. ГОСТ 26644-85 Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия
98. ГОСТ 27677-88 Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний
99. ГОСТ 28570-90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций
100. ГОСТ 28574-2014 Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий
101. ГОСТ 28575-2014 Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Испытания паропроницаемости защитных покрытий
102. ГОСТ 30459-96 Добавки для бетонов. Методы определения эффективности
103. ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия
104. ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка
105. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия
106. ГОСТ 31424-2010 Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия
107. ГОСТ 31426-2010 Породы горные рыхлые для производства песка, гравия и щебня для строительных работ. Технические требования
108. ГОСТ 32495-2013 Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия
109. ГОСТ 32703-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования
110. ГОСТ 32708-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный дробленый. Определение содержания глинистых частиц методом набухания

111. ГОСТ 32717-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы
112. ГОСТ 32720-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Определение морозостойкости
113. ГОСТ 32721-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение насыпной плотности и пустотности
114. ГОСТ 32722-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение истинной плотности
115. ГОСТ 32723-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение минералого-петрографического состава
116. ГОСТ 32724-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение наличия органических примесей
117. ГОСТ 32725-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц
118. ГОСТ 32726-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение содержания глины в комках
119. ГОСТ 32727-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение гранулометрического (зернового) состава и модуля крупности
120. ГОСТ 32728-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Отбор проб
121. ГОСТ 32729-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Метод измерения упругого прогиба нежестких дорожных одежд для определения прочности
122. ГОСТ 32730-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования
123. ГОСТ 32768-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение влажности
124. ГОСТ 32815-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение средней плотности и водопоглощения
125. ГОСТ 32816-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение сопротивления истираемости по показателю микро-Деваль
126. ГОСТ 32817-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение дробимости
127. ГОСТ 32818-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение влажности

128. ГОСТ 32819-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение сопротивления дроблению и износу
129. ГОСТ 32820-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение активности шлаков
130. ГОСТ 32821-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение истинной плотности и пористости
131. ГОСТ 32822-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение насыпной плотности и пустотности
132. ГОСТ 32823-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок шлаковый. Определение содержания глинистых частиц (метод набухания)
133. ГОСТ 32824-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования
134. ГОСТ 32826-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования
135. ГОСТ 32858-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение устойчивости структуры зерен шлакового щебня против распадов
136. ГОСТ 32859-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц
137. ГОСТ 32860-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение гранулометрического состава
138. ГОСТ 32861-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение содержания слабых зерен и примесей металла
139. ГОСТ 32862-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Отбор проб
140. ГОСТ 32863-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение морозостойкости
141. ГОСТ 32864-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень шлаковый. Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы
142. ГОСТ 33024-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение сопротивления истираемости по показателю микро-Деваль
143. ГОСТ 33026-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение содержания глины в комках
144. ГОСТ 33028-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение влажности

145. ГОСТ 33029-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение гранулометрического состава
146. ГОСТ 33030-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение дробимости
147. ГОСТ 33031-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение минералого-петрографического состава
148. ГОСТ 33046-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение наличия органических примесей в гравии и щебне из гравия
149. ГОСТ 33047-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение насыпной плотности и пустотности
150. ГОСТ 33048-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Отбор проб
151. ГОСТ 33049-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение сопротивления дроблению и износу
152. ГОСТ 33050-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение реакционной способности горной породы и щебня (гравия)
153. ГОСТ 33051-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение содержания дробленых зерен в гравии и щебне из гравия
154. ГОСТ 33052-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение эквивалента песка
155. ГОСТ 33053-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы
156. ГОСТ 33054-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение содержания зерен слабых пород в щебне (гравии)
157. ГОСТ 33055-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц
158. ГОСТ 33056-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение устойчивости структуры зерен щебня (гравия) против распадов
159. ГОСТ 33057-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение средней и истинной плотности, пористости и водопоглощения

160. ГОСТ 33109-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение морозостойкости

161. ГОСТ 33174-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования

8. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Я.Н. Дорожно-строительные материалы и изделия: Учебно-методическое пособие / Я.Н. Ковалев, С.Е. Кравченко, В.К. Шумчик – Мн.: Новое знание, 2013.

2. Дорожно-строительные материалы: Учебник для автомобильно-дорожных институтов / И.М. Грушко, И.В. Королев, И.М. Борщ, Г.М. Мищенко. – М.: Транспорт, 1983.

3. Общий курс строительных материалов: Учеб. пособие для строит. спец. ВУЗов / И.А. Рыбьев, Т.А. Арефьева, Н.С. Баскаков и др. Под ред. И.А. Рыбьева. – М.: Высш.шк., 1987.

4. Рыбьев И.А. Основы строительного материаловедения в лекционном изложении. Учеб. пособие. – М.: АСТ, 2006.

5. Леонович И.И., Шумчик К.Ф. Дорожно-строительные материалы. Учеб. Минск.: Вышэйшая шк., 1983.

6. Строительное материаловедение. Лабораторные работы (практикум). Учебно-методическое пособие / Я.Н. Ковалев [и др.]; под ред. проф. Я.Н. Ковалева. – Минск: БНТУ, 2007.

7. С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М.Баженов. Технология заполнителей бетона. – М. – Высшая школа, 1991.

К.Н.Попов, М.Б.Каддо, О.В.Кульков. Оценка качества строительных материалов. М., Издательство Ассоциации строительных вузов, 1999. -236 с.

Баженов Ю.М. Технология бетона. М. Высшая школа, 1976, 454 с

8. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб пособие./ И.А. Рыбьев– М.: Высшая школа, 2002. – 701 с.

9. Ковалев Я.Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона: учеб. пособие/ Я.Н. Ковалев– Мн.: Выш. школа, 1990. – 179с.

10. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов: учеб. пособие/ Я.Н. Ковалев – Мн.: БелЭн, 2002. – 336 с.

11. Волков М.И. Методы испытания строительных материалов: учеб. пос.для ВУЗов/ М.И. Волков– М.: Стройиздат, 1974.

12. Справочник по дорожно-строительным материалам / под ред. Горельшева Н.В. – М.: Транспорт, 1972. – 301 с.

13. Наназашвили И.Х. Строительные материалы, изделия, конструкции: учеб. пособие/ И.Х. Наназашвили – М.: Выш. школа, 1990. – 495 с.

14. Автомобильные дороги Беларуси: Энциклопедия / Коллектив авторов; Под общей ред. А.В. Минина. – Мн.: БелЭн, 2002. – 672 с.

15. Журналы: «Автомобильные дороги» - М., «Наука и техника в дорожной отрасли» - М., «Автомобильные дороги и мосты».
16. Ицкович С.М. Заполнители для бетона. – Мн. – Высшэйшая школа, 1983. – 214 с.
17. Лещинский М.Ю. Испытание бетона. Справочное пособие. – М: Стройиздат, 1980. – 360 с.
18. Кашкаров К.П. Контроль прочности бетона и раствора в изделиях и сооружениях. – М: Стройиздат, 1967. – 35 с.
19. Шалимо М.А. Лабораторный практикум по технологии бетона. – Минск: БПИ, 1978.
20. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В.. Оценка качества строительных материалов. М., Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004, – 287 с.
20. А.Г. Домокеев. Строительные материалы. Высшая школа, 1989.