

Ю.М. Баженов

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА

Ю.М. Баженов

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА

Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям



Издательство АСВ

Москва

2011

ББК 38.626.1
УДК 666.031

Рецензенты:

кафедра «Строительные материалы и технологии» Московского государственного университета путей сообщения (зав. кафедрой, действительный член РААСН, проф., д.т.н. В.И. Саломатов; чл.- корр. РААСН, проф., д.т.н. У.Х. Магдеев)

Технология бетона. Учебник. Ю.М. Баженов -М.: Изд-во АСВ, 2011 - 528 стр. с иллюстрациями.

5-е издание

ISBN 978-5-93093-138-9

Учебник имеет целью ознакомить с современной теорией и практикой бетоноведения и технологии бетона, научить проектировать составы разных видов бетона с учетом современных математических методов, правильно выбирать, изготавливать и применять различные виды бетона.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений строительных специальностей, а также может быть полезен магистрам, аспирантам, инженерно-техническим работникам и организаторам производства строительной индустрии.

Федеральная программа книгоиздания России

ISBN 978-5-93093-138-9

© Издательство АСВ, 2011
© Ю.М. Баженов, 20011

ВВЕДЕНИЕ

Современное строительство немислимо без бетона. 2 млрд. м³ в год - таков сегодня мировой объем его применения. Это один из самых массовых строительных материалов, во многом определяющий уровень развития цивилизации. Вместе с тем, бетон - сложный искусственный композиционный материал, который может обладать совершенно уникальными свойствами. Он применяется в самых разных эксплуатационных условиях, гармонично сочетается с окружающей средой, имеет неограниченную сырьевую базу и сравнительно низкую стоимость. К этому следует добавить высокую архитектурно-строительную выразительность, сравнительную простоту и доступность технологии, возможность широкого использования местного сырья и утилизации техногенных отходов при его изготовлении, малую энергоемкость, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность. Именно поэтому бетон, является основным строительным материалом.

Последние десятилетия двадцатого века ознаменовались значительными достижениями в технологии бетона. В эти годы появились и получили широкое распространение новые эффективные вяжущие, модификаторы для вяжущих и бетонов, активные минеральные добавки и наполнители, армирующие волокна, новые технологические приемы и методы получения строительных композитов. На рубеже столетия существенно обогатились наши представления о структуре и свойствах бетона, о процессах структурообразования, появилась возможность прогнозирования свойств и активного управления характеристиками материала, успешно развивается компьютерное проектирование бетона и автоматизированное управление технологическими процессами.

Все это позволило не только создать и освоить производство новых видов бетона, но и значительно расширить номенклатуру применяемых в строительстве материалов: от суперлегких теплоизоляционных (с плотностью менее 100 кг/м³) до высокопрочных конструкционных (с прочностью на сжатие около 200 МПа). Сегодня в строительстве применяется более тысячи различных видов бетона, и процесс создания новых бетонов интенсивно продолжается. Бетон широко используется в жилищном, промышленном, транспортном, гидротехническом, энергетическом и других видах строительства.

В новом веке теория, технология и практика применения бетона получат дальнейшее развитие, сохранив за ним ведущее положение среди строительных материалов. Бетон, являясь наиболее ярким представителем более широкого класса материалов – строительных композитов гидратационного твердения, проектируемых на единой материаловедческой основе, дает новый импульс для создания гибридных, слоистых, тонкостенных, профильных и других видов строительных конструкций нового поколения.

Строительные композиты гидратационного твердения, к числу которых наряду с бетоном относятся растворы, мастики и другие материалы, являются особым видом композиционных материалов, структура которых имеет две стадии формирования: первоначальное образование структуры из пластичных многокомпонентных

(и многофазных) сырьевых смесей и последующее «укрепление» структуры затвердевшего материала в результате сложных физико-химических процессов.

Теоретическими предпосылками синтеза прочности и долговечности высококачественных строительных композитов является более полное использование энергии портландцемента или другого гидравлического вяжущего, создание оптимальной микроструктуры цементного камня, уменьшение макропористости и повышение трещиностойкости, упрочнение контактных зон цементного камня и заполнителя за счет направленного применения комплекса эффективных химических модификаторов, высокодисперсных силикатных материалов с аномальной гидравлической активностью, расширяющих добавок с регулируемой энергией напряжения, а также интенсивной технологии производства.

В настоящем учебнике рассмотрены основы бетоноведения и технологии бетона и строительных композитов гидратационного твердения. В нем даются основные сведения о структурообразовании бетонной смеси и бетона и влиянии на него различных факторов, об основных свойствах бетона и зависимости их от используемого сырья, состава бетона, его технологии и условий эксплуатации, приводятся методы проектирования состава различных видов бетона, правильные приемы приготовления, укладки, уплотнения, ускорения твердения и контроля качества бетона, способы прогнозирования свойств и повышения долговечности и эксплуатационной надежности бетонов, особенности свойств и технологии особых и специальных видов бетона, перспективы повышения качества и совершенствования технологии бетона, возможности использования в технологии бетона различных техногенных отходов при обеспечении экологической безопасности материала.

Должное внимание уделено современной технологии бетона с различными химическими и минеральными добавками - модификаторами структуры и свойств, в том числе с супер и гиперпластификаторами, микрокремнеземом и комплексными добавками на их основе; новым бетонам, в том числе многокомпонентным бетонам, приготавливаемым с использованием комплекса химических и минеральных добавок; мелкозернистым бетонам, литым самоуплотняющимся бетонам, фибробетонам, декоративному, высококачественному, прозрачному и другим видам эффективных бетонов; порошковым композитам; новым технологическим приемам интенсификации производства, в том числе с помощью активации цементных систем с добавками; нанотехнологиям.

Приведенные в учебнике методы технологических расчетов позволяют широко использовать вычислительную технику, с помощью компьютерного проектирования на основе сравнения вариантов выбирать наиболее оптимальное решение, обеспечивая производство бетона и изделий и конструкций из него гарантированно качества при оптимальном расходе материалов, энергии и труда.

Главы 15 и 23 написаны совместно с В.Р. Фаликманом, § 20.3 совместно с В.Н. Баженовой.

Автор выражает благодарность действительному члену РААСН, проф., д.т.н. В.И. Соломатову и члену-корреспонденту РААСН, проф., д.т.н. У.Х. Магдееву за замечания и пожелания при подготовке книги к печати.

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О БЕТОНЕ

§ 1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Бетонами называют искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из минерального или органического вяжущего вещества с водой, мелкого или крупного заполнителей, взятых в определенных пропорциях. До затвердевания эту смесь называют бетонной смесью.

В строительстве широко используют бетоны, приготовленные на цементах или других неорганических вяжущих веществах. Эти бетоны обычно затворяют водой. Цемент и вода являются активными составляющими бетона; в результате реакции между ними образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей в единый монолит.

Между цементом и заполнителем обычно не происходит химического взаимодействия (за исключением силикатных бетонов, получаемых автоклавной обработкой), поэтому заполнители часто называют инертными материалами. Однако они существенно влияют на структуру и свойства бетона, изменяя его пористость, сроки затвердевания, поведение при воздействии нагрузки и внешней среды. Заполнители значительно уменьшают деформации бетона при твердении и тем самым обеспечивают получение большемасштабных изделий и конструкций. В качестве заполнителей используют преимущественно местные горные породы и отходы производства (шлаки и др.). Применение этих дешевых заполнителей снижает стоимость бетона, так как заполнители и вода составляют 85...90%, а цемент 10...15% от массы бетона. Для снижения плотности бетона и улучшения его тепло-технических свойств используют искусственные и природные пористые заполнители.

Для регулирования свойств бетона и бетонной смеси в их состав вводят различные химические добавки и активные минеральные компоненты, которые ускоряют или замедляют схватывание бетонной смеси, делают ее более пластичной и удобоукладываемой, ускоряют твердение бетона, повышают его прочность и морозостойкость, регулируют собственные деформации бетона, возникающие при его твердении, а также при необходимости изменяют и другие свойства бетона.

Бетоны на минеральных вяжущих веществах являются капиллярно-пористыми телами, на структуру и свойства которых заметное влияние оказывают как внутренние процессы взаимодействия составляющих бетона, так и воздействие окружающей среды.

В течение длительного времени в бетонах происходит изменение пористой структуры, наблюдается протекание структурообразующих, а иногда и деструктивных процессов и как результат – изменение свойств ма-

териала. С увеличением возраста бетона повышаются его прочность, плотность, стойкость к воздействию окружающей среды. Свойства бетона определяются не только его составом и качеством исходных материалов, но и технологией приготовления и укладки бетонной смеси в конструкцию, условиями твердения бетона. Все эти факторы учитывают при проектировании состава бетона и производстве конструкций на его основе.

На органических вяжущих веществах (битум, синтетические смолы и т. д.) бетонную смесь получают без введения воды, что обеспечивает высокую плотность и непроницаемость бетонов.

Многообразие вяжущих веществ, заполнителей, добавок активных минеральных компонентов и технологических приемов позволяет получать бетоны с самыми разнообразными свойствами.

Бетон является хрупким материалом: его прочность при сжатии в несколько раз выше прочности при растяжении. Для восприятия растягивающих напряжений бетон армируют стальными стержнями, получая железобетон. В железобетоне арматуру располагают так, чтобы она воспринимала растягивающие напряжения, а сжимающие напряжения передавались на бетон. Совместная работа арматуры и бетона обуславливается хорошим сцеплением между ними и приблизительно одинаковыми температурными коэффициентами линейного расширения.

Бетон предохраняет арматуру от коррозии.

Бетонные и железобетонные конструкции изготовляют либо непосредственно на месте строительства – монолитный бетон и железобетон, либо на заводах и полигонах с последующим монтажом на строительной площадке – сборный бетон и железобетон.

Технология бетона включает ряд этапов или технологических процессов: подготовку сырья, определение состава бетона в зависимости от используемого сырья и конструктивных и технологических требований, дозирование (отмеривание) цемента, воды, заполнителей и других материалов для определенного замеса бетонной смеси, перемешивание, транспортировку бетонной смеси к месту укладки, заполнение формы и опалубки конструкции бетонной смесью, ее уплотнение, последующее твердение бетона в нормальных условиях (при температуре около 20°C и влажности 80-100%), либо при повышенных температурах в специальных аппаратах и устройствах или в специфических условиях, определяемых организацией производства работ.

Применение химических добавок и различных дисперсных минеральных компонентов в сочетании с соответствующим подбором состава бетона позволяет эффективно управлять его технологией на всех ее этапах и получать бетоны заданной структуры и свойств.

§ 1.2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Бетон – один из древнейших строительных материалов. Из него построены галереи египетского лабиринта (3600 лет до н. э.), часть Великой

Китайской стены (III в. до н. э.), ряд сооружений на территории Индии, Древнего Рима и в других местах.

Однако использование бетона и железобетона для массового строительства началось только во второй половине XIX в., после получения и организации промышленного выпуска портландцемента, ставшего основным вяжущим веществом для бетонных и железобетонных конструкций. Вначале бетон использовался для возведения монолитных конструкций и сооружений. Применялись жесткие и малоподвижные бетонные смеси, уплотнявшиеся трамбованием. С появлением железобетона, армированного каркасами, связанными из стальных стержней, начинают применять более подвижные и даже литые бетонные смеси, чтобы обеспечить их надлежащее распределение и уплотнение в бетонируемой конструкции. Однако применение подобных смесей затрудняло получение бетона высокой прочности, требовало повышенного расхода цемента. Поэтому большим достижением явилось появление в 30-х годах XX века способа уплотнения бетонной смеси вибрированием, что позволило обеспечить хорошее уплотнение малоподвижных и жестких бетонных смесей, снизить расход цемента в бетоне, повысить его прочность и долговечность.

В эти же годы был предложен способ предварительного напряжения арматуры в бетоне, способствовавший снижению расхода арматуры в железобетонных конструкциях, повышению их долговечности и трещиностойкости.

Проф. А. Р. Шуляченко в 80-х годах прошлого века разработал теорию получения и твердения гидравлических вяжущих веществ и цементов и доказал, что на их основе могут быть получены долговечные бетонные конструкции. Под его руководством было организовано производство высококачественных цементов. Проф. Н. А. Белелюбский в 1891 г. провел широкие испытания, результаты которых способствовали внедрению железобетонных конструкций в строительство. Проф. И. Г. Малюга в 1895 г. в своей работе «Составы и способы изготовления цементного раствора (бетона) для получения наибольшей крепости» обосновал основные законы прочности бетона. В 1912 г. был издан капитальный труд Н. А. Житкевича «Бетон и бетонные работы».

В начале века появляется много работ по технологии бетона и за рубежом. Из них наиболее важными были работы Р. Фере (Франция), О. Графа (Германия), И. Болеме (Швейцария), Д. Абрамса (США).

Широкое развитие получила технология бетона в Советском Союзе со времени первых крупных гидротехнических строителств – Волховстроя (1924 г.) и Днепростроя (1930 г.). Профессора Н. М. Беляев и И. П. Александрин возглавили ленинградскую научную школу по бетону и внедрили в практику строительства первые научные методы подбора состава бетона, значительно повысившие его качество.

В 30-е годы ученые московской школы бетона Б. Г. Скрамтаев, Н. А. Попов, С. А. Миронов, С. В. Шестоперов, П. М. Миклашевский и другие разработали методы зимнего бетонирования и тем самым обеспечили круглогодичное возведение бетонных и железобетонных конструкций, создали ряд новых видов бетона, в том числе легких, что позволило более широко использовать бетон при возведении жилых и производственных зданий, разработали способы повышения долговечности бетона, основы технологии сборного железобетона.

В эти же годы большие работы проводились закавказской школой бетона под руководством академика АН Грузинской ССР К. С. Завриева, способствовавшие расширению применения железобетонных конструкций на стройках Кавказа, использованию в бетоне природных пористых заполнителей.

Применение бетонных и железобетонных конструкций сыграло решающую роль в строительстве первых пятилеток и в перебазировании промышленности в восточные районы страны в годы Великой Отечественной войны.

В послевоенный период наука о бетоне и железобетоне и практика применения этих материалов в строительстве получили особенно широкое развитие. Для обеспечения индустриализации строительства бурное развитие получает производство сборного железобетона.

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 19 августа 1954 г. «О развитии производства железобетонных конструкций и деталей для строительства» был намечен невиданный до того рост объема производства и применения сборного железобетона и установлены задачи по развитию его индустриальной базы. За последующие годы в стране была создана развитая промышленность сборного железобетона, насчитывавшая около 6000 предприятий общей мощностью свыше 150 млн. м³ изделий, которая обеспечивала все виды строительства широкой номенклатурой изделий и конструкций. Объем производства вырос за эти годы более чем в 65 раз, и Советский Союз вышел на первое место в мире по производству сборного железобетона, намного опередив наиболее развитые капиталистические страны.

Широкое применение сборного железобетона позволило значительно сократить в строительстве расход металла, древесины и других традиционных материалов, резко повысить производительность труда, сократить сроки возведения зданий и сооружений. Только в Москве применение сборных железобетонных конструкций и перенос в заводские условия части отделочных и монтажных операций в связи с применением железобетонных изделий повышенной готовности позволили сократить численность работающих в строительстве на 50%.

Создание промышленности сборного железобетона сопровождалось созданием новых видов вяжущих веществ и бетонов, производством и широким применением химических добавок и модификаторов структуры и свойств бетона, активных минеральных компонентов, совершенствованием

способов проектирования составов бетона и его технологии.

В послевоенные годы создаются новые виды вяжущих веществ и бетонов, начинают широко применяться химические добавки, улучшающие свойства бетона, совершенствуются способы проектирования состава бетона и его технология.

Для обеспечения развития научных и технических основ производства железобетонных конструкций в стране была создана широкая сеть научных учреждений. Научные исследования по технологии бетона успешно ведут Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) Госстроя, ведущий научные работы по различным проблемам проектирования и производства железобетонных конструкций, Всесоюзный научно-исследовательский институт по бетону и железобетону (ВНИИЖелезобетон), ведущий работы по заводскому производству сборного железобетона, многие кафедры и лаборатории вузов и ряд отраслевых научно-исследовательских институтов и лабораторий.

Проблемам технологии тяжелых бетонов были посвящены работы Б. Г. Скрамтаева, И. Н. Ахвердова, Ю. М. Баженова, И. М. Грушко, О. П. Мчелова-Петросяна, А. В. Саталкина, А. Е. Шейкина и многих других ученых. Легким бетонам на пористых заполнителях посвящены работы Н. А. Попова, М. З. Симонова, И. А. Иванова и др.; силикатным и ячеистым бетонам – работы П. И. Боженова, А. В. Волженского, К. Э. Горяйнова и др.; вопросам реологии бетонной смеси и формированию изделий – работы А. Е. Десова, Г. Я. Кунноса, О. А. Савинова и др.; бетонированию зимой и в условиях сухого и жаркого климата – работы С. А. Миронова; И. Б. Заседателева, Б. Н. Крылова и др.; ускорению твердения – работы Л. А. Малининой и др.; повышению долговечности и коррозионной стойкости бетона – работы Г. И. Горчакова, О. В. Кунцевича, Ф. М. Иванова, В. М. Москвина, С. А. Шестоперова и др.; созданию специальных видов бетона – работы К. Д. Некрасова, Н. А. Мощанского, В. Д. Глуховского и др.; совершенствованию заводской технологии бетонных и железобетонных изделий – работы В. В. Михайлова, Э. Г. Ратца, В. И. Сорокера, И. Г. Совалова и др. В последние годы вопросы технологии бетона получают дальнейшее развитие в трудах В. Г. Батракова, В. А. Вознесенского, Б. В. Гусева, Н. Н. Долгополова, В. В. Потуроева, И. Е. Путляева, В. И. Соломатова, В. Б. Ратинова, И. А. Рыбьева, А. В. Ферронской и многих других ученых.

Успешно развиваются школы бетоноведов в разных регионах России: Санкт-Петербург – П. Г. Комохов, Т. Н. Петрова, О. С. Попова; Пенза – А. П. Прошин, В. В. Калашников; Воронеж – Е. М. Чернышов; Самара – Т. Б. Арбузова; Казань – Р. З. Рахимов; Белгород – В. С. Лесовик и ряд других.

В начале девяностых годов производство сборного и монолитного бетона и железобетона значительно сократилось, но в последнее время наметился новый рост производства, возросло разнообразие видов бетона и изделий из него, появились новые технологии.

Возрождение России потребует дальнейшего развития технологии бетона и производства сборного и монолитного бетона как наиболее массового строительного материала. Основными направлениями при этом будут следующие:

разработка и организация производства эффективных видов вяжущих веществ, в том числе композиционных, арматурной стали, качественных заполнителей, различных видов химических добавок и их комплексов, активных минеральных компонентов;

разработка и внедрение в строительство новых прогрессивных видов изделий и конструкций с использованием разнообразных бетонов и совместного использования бетона и других материалов, в том числе слоистых, гибридных и композиционных изделий и конструкций;

дальнейшее совершенствование технологии производства сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций путем внедрения более эффективных и интенсивных технологических процессов, высокопроизводительного и надежного оборудования, системы контроля и управления технологией и качеством готовой продукции, в том числе с широким использованием компьютеров и автоматизированных систем управления производством;

развитие способов прогнозирования свойств и проектирования многокомпонентных бетонов с целью обеспечения их высокого качества, в том числе способов компьютерного проектирования бетона;

применение ресурсосберегающих и безотходных технологий, расширение использования вторичных продуктов и отходов промышленности и энергетики, а также материалов от разборки зданий и сооружений;

более широкое применение ячеистых бетонов и композитов, в первую очередь с целью повышения теплозащиты зданий и сооружений;

расширение производства разнообразных сухих смесей различного назначения, использование всех достижений строительного материаловедения и резервов производства с целью экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов и создания конкурентоспособной отечественной продукции для замещения импортных аналогов.

§ 1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ

В настоящее время в строительстве используют различные виды бетона. Разобраться в их многообразии помогает классификация бетонов. Бетоны классифицируют по средней плотности, виду вяжущего вещества, структуре, технологическим особенностям и назначению.

Многие свойства бетона зависят от его *плотности*, на величину которой влияют плотность цементного камня, вид заполнителя и структура бетонов. По плотности бетоны делят на особо тяжелые с плотностью более 2500 кг/м³; тяжелые – 1800 ... 2500; легкие – 600 ... 1800; особо легкие – менее 600 кг/м³.

Особо тяжелые бетоны готовят на тяжелых заполнителях – стальных опилках или стружках (сталебетон), железной руде (лимонитовый и магнетитовый бетоны) или барите (баритовый бетон).

В строительстве наиболее широко используют тяжелый бетон с плотностью 2100...2500 кг/м³ на плотных заполнителях из горных пород (гранит, известняк, диабаз и др.). Облегченный бетон с плотностью 1800...2000 кг/м³ получают на щебне из горных пород с плотностью 1600 ... 1900 кг/м³ или без песка (крупнопористый бетон).

Легкие бетоны готовят на пористых заполнителях (керамзит, аглопорит, вспученный шлак, пемза, туф и др.). Применение легких бетонов уменьшает массу строительных конструкций.

К особо легким бетонам относятся ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон), которые получают вспучиванием смеси вяжущего, тонкомолотой добавки и воды с помощью специальных способов, и крупнопористый бетон на легких заполнителях. В ячеистых бетонах заполнителем по существу является воздух, находящийся в искусственно созданных ячейках.

Главной составляющей бетона, во многом определяющей его свойства, является *вяжущее вещество*, по виду которого различают бетоны цементные, силикатные, гипсовые, шлакощелочные, полимербетоны, полимерцементные и специальные.

Цементные бетоны готовят на различных цементах и наиболее широко применяют в строительстве. Среди них основное место занимают бетоны на портландцементе и его разновидностях (около 65% от общего объема производства), применяемые для различных видов конструкций и условий их эксплуатации, успешно используются бетоны на шлакопортландцементе (около 20 ... 25%) и пуццолановом цементе. К разновидностям цементных бетонов относятся: декоративные бетоны, изготавливаемые на белом и цветных цементах, бетоны для самонапряженных конструкций – на напрягающем цементе, бетоны для специальных целей, получаемые на особых видах цемента – глиноземистом, безусадочном и т. д.

Силикатные бетоны готовят на основе извести. Для производства изделий в этом случае применяют автоклавный способ твердения.

Гипсовые бетоны применяют для внутренних перегородок, подвесных потолков и элементов отделки зданий. Разновидностью этих бетонов являются гипсоцементнопуццолановые бетоны, обладающие повышенной водостойкостью и более широкой областью применения (объемные блоки санузлов, конструкции малоэтажных домов и др.).

Шлакощелочные бетоны делают на молотых шлаках, затворенных щелочными растворами. Эти бетоны еще только начинают применяться в строительстве.

Полимербетоны готовят на различных видах полимерного связующего, основу которого составляют смолы (полиэфирные, эпоксидные, акриловые, карбамидные и др.) или мономеры (фурфуролацетоновый и др.),

отверждаемые в бетоне с помощью специальных добавок. Эти бетоны более пригодны для службы в агрессивных средах и особых условиях воздействия (истирание, кавитация и т. д.).

Полимерцементные бетоны изготавливают на смешанном связующем, состоящем из цемента и полимерного вещества. В качестве полимера используют, например, водорастворимые смолы и латексы.

Свойства бетонов на неорганических вяжущих можно улучшать путем пропитки мономерами с последующим их отверждением в порах и капиллярах бетона. Подобные материалы называют *бетонополимерами*.

Специальные бетоны готовят с применением особых вяжущих веществ. Для кислотоупорных и жаростойких бетонов применяют жидкое стекло с кремнефтористым натрием, фосфатное, магнезиальное и другие связующие. В качестве специальных вяжущих используют шлаковые, нефелиновые, стеклощелочные и др., полученные из отходов промышленности, что имеет важное значение для экономии цемента и охраны окружающей среды.

В зависимости от *особенностей структуры* различают крупнозернистый бетон слитной структуры, мелкозернистый бетон (без щебня), малощебеночный, в котором уменьшено содержание щебня, крупнопористый или беспесчаный, ячеистый, в структуре которого имеется большое количество воздушных или газовых пузырьков.

Технология изготовления изделий и конструкций предъявляет к бетонной смеси и бетону свои требования, для обеспечения которых необходимы соответствующий выбор сырья и состава бетона. В зависимости от используемой *технологии* различают бетоны из жестких бетонных смесей, позволяющие как правило немедленную распалубку изделий, литые бетоны для изготовления изделий и конструкций способом литья в форму, безусадочные, быстротвердеющие, пропаренные, автоклавные бетоны для зимнего бетонирования, твердеющие при отрицательных температурах, и ряд других.

В *многокомпонентных бетонах* наряду с цементом и заполнителем используют комплексы химических добавок различного назначения, активные минеральные наполнители, расширяющиеся компоненты. Широкая сырьевая база позволяет получать бетоны различной структуры, свойств и назначения. В наибольшей степени возможности многокомпонентных бетонов реализуются в так называемых *высококачественных бетонах*,готавливаемых на композиционных вяжущих веществах с использованием низких значений водоцементного отношения, специальных комплексов добавок, особо тонких минеральных наполнителей, расширяющихся компонентов и интенсивной регулируемой технологии. Эти бетоны отличаются высокой прочностью, долговечностью и эксплуатационной надежностью.

Бетоны применяют для различных видов конструкций, как изготавливаемых на заводах сборного железобетона, так и возводимых непосредственно на месте эксплуатации.

В зависимости от *области применения* различают:

- обычный бетон для железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок, перекрытий, мостовых и других типов конструкций);
- гидротехнический бетон для плотин, шлюзов, облицовки каналов, водопроводно-канализационных сооружений и т. д.;
- бетон для ограждающих конструкций (легкий);
- бетоны специального назначения, например, жароупорный, кислотоустойчивый, для радиационной защиты, бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий и др.

В зависимости от назначения бетоны должны удовлетворять определенным требованиям. Бетоны для обычных железобетонных конструкций должны иметь заданную прочность, главным образом при сжатии. Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, важна еще морозостойкость. Бетоны для гидротехнических сооружений должны обладать высокой плотностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, достаточной прочностью, малой усадкой, стойкостью против выщелачивающего действия фильтрующих вод, в ряде случаев стойкостью по отношению к действию минерализованных вод и незначительно выделять тепло при твердении. Бетоны для стен отапливаемых зданий и легких перекрытий должны обладать необходимой прочностью, теплопроводностью; бетоны для полов - малой истираемостью и достаточной прочностью при изгибе, а бетоны для дорожных и аэродромных покрытий еще и морозостойкостью.

К бетонам специального назначения предъявляются требования, обусловленные особенностью их службы.

Общие требования ко всем бетонам и бетонным смесям следующие: до затвердевания бетонные смеси должны легко перемешиваться, транспортироваться, укладываться (обладать подвижностью и удобоукладываемостью), не расслаиваться; бетоны должны иметь определенную скорость твердения в соответствии с заданными сроками распалубки и ввода конструкции или сооружения в эксплуатацию; по возможности расход цемента и стоимость бетона должны быть минимальными.

Получить бетон, удовлетворяющий всем поставленным требованиям, можно при правильном проектировании состава бетона, надлежащем приготовлении, укладке и уплотнении бетонной смеси, а также при правильном выдерживании бетона в начальный период его твердения.

Если вид и требования к свойствам бетона устанавливают в зависимости от вида и особенностей конструкции и условий ее эксплуатации, то требования к бетонной смеси определяются условиями изготовления конструкции, ее технологическими особенностями (густотой армирования, сложностью формы и др.), применяемым оборудованием.

Особенностью изготовления бетонных и железобетонных конструкций является то, что о качестве материала нельзя судить заранее. Необходимые свойства бетон приобретает в процессе изготовления конструкции. От-

сюда важное значение имеют правильный выбор материалов, проектирование состава бетона с учетом принятой технологии изготовления конструкций, соблюдение технологических режимов, пооперационный контроль производства.

Бетоны относятся к искусственным каменным конгломератам, являющимся разновидностью композиционных материалов, поэтому для разных бетонов свойственны как свои собственные, частные, так и общие закономерности. Современные технологические и технико-экономические расчеты в области бетонов основываются на зависимостях, связывающих состав и структуру бетона с его свойствами. Эти зависимости учитывают физико-химическую природу бетона, но в большинстве своем получены экспериментальным путем. Они должны проверяться для конкретных условий производства и уточняться.

Бетон – сложный материал, свойства которого могут заметно изменяться в процессе выдерживания и эксплуатации. Только глубокое понимание природы этого материала, закономерностей, управляющих формированием его структуры и свойств, могут обеспечить рациональное и эффективное его применение в строительных конструкциях самого различного назначения.

ГЛАВА 2

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА

§ 2.1. ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Для приготовления бетона строительных конструкций наиболее широко используют неорганические вяжущие вещества. Эти вещества при смешивании с водой под влиянием внутренних физико-химических процессов способны схватываться (переходить из жидкого или тестообразного состояния в камневидное) и твердеть (постепенно увеличивать свою прочность). Различают неорганические вяжущие вещества водного (цементы) и воздушного (известь, гипс и др.) твердения.

Портландцемент. Наиболее широкое применение в производстве бетона получил портландцемент.

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде (лучше всего) или на воздухе. Он представляет собой порошок серого цвета, получаемый тонким помолом клинкера с добавкой гипса. Клинкер получают путем равномерного обжига до спекания тщательно дозированной сырьевой смеси, содержащей около 75 ... 78 % CaCO_3 и 22 ... 25 % ($\text{CaO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$). Для получения цемента высокого качества необходимо, чтобы его химический состав, а, следовательно, и состав сырьевой смеси были устойчивы. При помолке к цементному клинкеру можно добавлять 10 ... 20% гранулированных доменных шлаков или активных минеральных (кремнеземистых) добавок.

В результате обжига при температуре 1200 ... 1450°C образуются клинкерные минералы: алюмоферриты кальция переменного состава $x\text{CaO} \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и трехкальциевый силикат $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Эти четыре соединения – основные составные части цементного клинкера, но два последних (силикаты кальция) составляют 70 ... 80 % от его массы. Ориентировочное содержание различных минералов в портландцементе составляет: 37 ... 60% $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_3S , 15 ... 37% $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_2S , 5 ... 15% $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ или C_3A , 10 ... 18% $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ или C_4AF .

Основное влияние на качество цемента оказывает высокое содержание трехкальциевого силиката (алита), который обладает свойствами быстротвердеющего гидравлического вещества высокой прочности. Двухкальциевый силикат (белит) – медленно твердеющее гидравлическое вяжущее средней прочности. Трехкальциевый алюминат твердеет быстро, но имеет низкую прочность. Свойства минералов цементного камня приведены в табл. 2.1. Изменяя минералогический состав цемента, можно варьировать его качество. Цементы высоких марок и быстротвердеющие изготавливают с повышенным содержанием трехкальциевого силиката (алитовые цементы). Цементы с высоким содержанием белита (белитовые) медленно твердеют,

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Основные сведения о бетоне.....	5
§ 1.1. Общие положения.....	5
§ 1.2. Основные этапы развития технологии бетона.....	6
§ 1.3. Классификация бетонов.....	10
Глава 2. Материалы для бетона.....	15
§ 2.1. Вяжущие вещества.....	15
§ 2.2. Заполнители для бетона.....	27
§ 2.3. Добавки к бетонам.....	45
§ 2.4. Вода для приготовления бетонной смеси.....	61
Глава 3. Бетонная смесь.....	62
§ 3.1. Структура бетонной смеси.....	62
§ 3.2. Реологические свойства бетонной смеси.....	78
§ 3.3. Технологические свойства бетонной смеси.....	87
§ 3.4. Зависимость подвижности и жесткости бетонной смеси от различных факторов.....	92
Глава 4. Структурообразование бетона.....	97
§ 4.1. Формирование структуры бетона.....	97
§ 4.2. Структура бетона.....	110
Глава 5. Прочность бетона.....	117
§ 5.1. Особенности поведения бетона под нагрузкой.....	117
§ 5.2. Методика испытаний.....	126
§ 5.3. Прочность бетона при сжатии.....	133
§ 5.4. Обобщенная зависимость прочности бетона от водоцементного отношения и других факторов.....	137
§ 5.5. Прочность бетона на растяжение при изгибе.....	139
§ 5.6. Зависимость прочности бетона от его состава.....	140
§ 5.7. Прочность многокомпонентных бетонов.....	146
§ 5.8. Однородность бетона по прочности.....	149
Глава 6. Деформативные свойства бетона.....	153
§ 6.1. Первоначальная усадка бетонной смеси.....	153
§ 6.2. Усадка бетона.....	155
§ 6.3. Модуль упругости и деформации бетона при кратковременном нагружении.....	156
§ 6.4. Деформации ползучести.....	159
§ 6.5. Температурные деформации.....	160

Глава 7. Физические свойства бетона.....	162
§ 7.1. Плотность бетона.....	162
§ 7.2. Проницаемость бетона.....	163
§ 7.3. Морозостойкость бетона.....	166
Глава 8. Коррозия бетона и меры борьбы с ней.....	169
§ 8.1. Особенности воздействия агрессивных сред на бетон и железобетон.....	169
§ 8.2. Виды коррозии бетона в жидкой агрессивной среде.....	170
§ 8.3. Прогнозирование глубины разрушения бетона при коррозии.....	177
§ 8.4. Коррозия арматуры в бетоне.....	182
§ 8.5. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя.....	188
Глава 9. Влияние температуры на твердение бетона.....	191
§ 9.1. Твердение бетона при нормальной температуре.....	191
§ 9.2. Твердение бетона в зимний период.....	197
§ 9.3. Твердение бетона при повышенных температурах.....	200
Глава 10. Проектирование состава тяжелого бетона.....	210
§ 10.1. Общие сведения.....	210
§ 10.2. Выбор соотношения между мелким и крупным заполнителями	214
§ 10.3. Порядок расчета состава бетона.....	219
§ 10.4. Экспериментальная проверка состава бетона.....	222
§ 10.5. Определение производственного состава бетона.....	224
§ 10.6. Определение состава бетона по графикам и номограммам.....	226
§ 10.7. Определение состава бетона с химическими добавками.....	228
§ 10.8. Определение состава многокомпонентных бетонов.....	239
Глава 11. Разные виды тяжелого бетона.....	248
§ 11.1. Бетон для сборных железобетонных конструкций.....	248
§ 11.2. Высокопрочный бетон.....	250
§ 11.3. Быстротвердеющий бетон.....	253
§ 11.4. Бетон на мелком песке.....	258
§ 11.5. Бетон для гидротехнических сооружений.....	259
§ 11.6. Бетон для дорожных и аэродромных покрытий.....	263
§ 11.7. Бетон с тонкомолотыми добавками.....	266
§ 11.8. Малощебеночный бетон.....	267
§ 11.9. Литой бетон.....	270
Глава 12. Мелкозернистый бетон.....	272
§ 12.1. Особенности свойств мелкозернистого бетона.....	272
§ 12.2. Проектирование состава мелкозернистого бетона.....	283

§ 12.3. Мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций.....	285
§ 12.4. Мелкозернистый бетон с микрозаполнителем.....	287
§ 12.5. Композиционный мелкозернистый бетон.....	288
Глава 13. Легкие бетоны.....	293
§ 13.1. Легкие бетоны на пористых заполнителях.....	293
§ 13.2. Поризованный легкий бетон.....	307
§ 13.3. Крупнопористый легкий бетон.....	311
§ 13.4. Ячеистый бетон.....	313
Глава 14. Особые виды бетона.....	321
§ 14.1. Силикатный бетон.....	321
§ 14.2. Цементно-полимерный бетон.....	326
§ 14.3. Полимербетоны.....	328
§ 14.4. Бетонополимеры.....	331
§ 14.5. Фибробетон.....	339
§ 14.6. Декоративный бетон.....	341
§ 14.7. Бетон с использованием вторичного сырья промышленности.....	346
§ 14.8. Арболит.....	350
§ 14.9. Жаростойкий бетон.....	354
§ 14.10. Крупнопористый бетон.....	358
§ 14.11. Бетон на гипсовом вяжущем.....	359
Глава 15. Специальные бетоны.....	362
§ 15.1. Бетоны на специальных вяжущих веществах.....	362
§ 15.2. Бетоны с особыми свойствами.....	372
§ 15.3. Высококачественные бетоны.....	378
Глава 16. Строительные растворы и композиты.....	384
§ 16.1. Основные понятия.....	384
§ 16.2. Свойства растворов.....	388
§ 16.3. Приготовление растворов.....	399
§ 16.4. Виды строительных растворов.....	400
§ 16.5. Растворы для зимних работ.....	405
§ 16.6. Сухие смеси.....	406
Глава 17. Приготовление и уплотнение бетонной смеси.....	410
§ 17.1. Приготовление бетонной смеси.....	410
§ 17.2. Уплотнение бетонной смеси.....	414
Глава 18. Бетонирование монолитных конструкций.....	421
§ 18.1. Технология возведения монолитных конструкций.....	421
§ 18.2. Зимнее бетонирование.....	430
Глава 19. Сборный железобетон.....	434
§ 19.1. Основные виды сборного железобетона.....	434

§ 19.2. Формование сборных железобетонных изделий.....	435
§ 19.3. Тепловая обработка изделий.....	438
§ 19.4. Основные технологические схемы производства сборного железобетона.....	443
Глава 20. Контроль качества бетона.....	446
§ 20. 1. Организация контроля качества при производстве бетона и железобетонных изделий.....	446
§ 20.2. Неразрушающие методы контроля качества бетона	451
§ 20.3. Контроль за деформациями бетона.....	461
Глава 21. Математические методы в технологии бетона.....	467
§ 21.1. Статистические методы управления качеством бетона.....	467
§ 21.2. Основы математического моделирования.....	471
§ 21.3. Проектирование состава бетона по математическим моделям.....	475
Глава 22. Повышение эффективности бетона.....	481
§ 22.1. Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов.....	481
§ 22.2. Экологические аспекты технологии бетона.....	485
§ 22.3. Ремонт бетонных и железобетонных изделий.....	487
Глава 23. Пути развития технологии бетона.....	491
§ 23.1. Управление структурообразованием цементного бетона и композитов.....	491
§ 23.2. Гиперпластификаторы.....	500
§ 23.3. Внутренний уход за бетоном.....	504
§ 23.4. Высокопрочные легкие бетоны.....	511
§ 23.5. Прозрачный бетон.....	516
Литература.....	517
Предметный указатель.....	519
Литература.....	491
Предметный указатель.....	493

Учебник

Юрий Михайлович Баженов

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА

Редактор: *О.А. Таранова*

Компьютерный набор и верстка: *Д.А. Матвеев*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 24.02.2011. Формат 60х90/16.

Бумага офс. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 33 п. л. Заказ № . Тираж 1000 экз.

ООО «Издательство АСВ»,
127337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации -оф.511
тел./факс: (499)183-56-83; e-mail: iasv@mgsu.ru
Internet: www.iasv.ru