МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДЕРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГАСУ»)

Кафедра строительных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению практических занятий,
курсовой работы и самостоятельной работы студентов
по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ»
по направлению 08.04.01 Строительство

Казань 2018

Составитель: М.И.Халиуллин

УДК 691
ББК 30.3

Методические указания к выполнению практических занятий, курсовой работы и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ» по направлению 08.04.01 Строительство / Сост. М.И.Халиуллин. Казань: КГАСУ, 2018 – 63 с.

Настоящие методические указания содержат материалы, необходимые для выполнения студентами практических занятий, курсовой работы и самостоятельной работы по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ».

Рецензент д.т.н. профессор кафедры ТСМИК Абдрахманова Л.А.

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	4
1.	Способы повышения долговечности гипсовых материалов, изделий и конструкций……..……..	5
2.	Прогнозирование глубины разрушения бетона при коррозии……..	10
3.	Жаростойкие бетоны. Подбор состава жаростойкого бетона……...	14
4.	Методы испытания бетонов на морозостойкость……..	18
5.	Модифицирующие минеральные и химические добавки для повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ……..	22
6.	Коррозия арматуры в бетоне. Защита арматуры от коррозии……	29
7.	Способы повышения долговечности изделий из ячеистых бетонов….	35
8	Рекомендации по выполнению курсовой работы……..	38
9	Рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов…	39
10	Список литературы для выполнения самостоятельной работы студентами…….	49
	Приложение 1…….	50
	Приложение 2…….	53
	Приложение 3…….	61

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания составлены на основании рабочей программы разработанной в соответствии с в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (уровень магистратуры), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «30» октября 2014 г. № 1419 и рабочим учебным планом КазГАСУ.

Целью освоения дисциплины «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ» является формирование у обучающихся компетенций в области обеспечения требуемой долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ, методов и средств ее повышения в условиях воздействия определенных эксплуатационных факторов.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- взаимосвязь состава и свойств минеральных вяжущих веществ и искусственных каменных материалов на основе минеральных вяжущих веществ с их долговечностью, механизмы разрушения искусственных каменных материалов на основе минеральных вяжущих веществ под влиянием эксплуатационных факторов;
- уметь выполнять рациональный выбор, оптимизацию состава и свойств минеральных вяжущих, способов повышения долговечности строи-тельных материалов, изделий и конструкций на их основе в условиях воздействия определенных эксплуатационных факторов;
- владеть методами и средствами повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ.

1. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Водостойкие гипсовые вяжущие

Гипсоцементнопуццолановое вяжущее (ГЦПВ), представляет собой смесь гипсового вяжущего марки не ниже Г-4 (50...70 %), портландцемента (15-25 %) или его разновидностей и активной минеральной добавки (трепел, опока, диатомит, кислые шлаки и золы, и т.п.) (10-25 %). Вместо портландцемента и активной минеральной добавки можно использовать пуццолановый портландцемент с необходимым количеством активной минеральной добавки;

Композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) - новое поколение гипсоцементнопуццолановых вяжущих - представляют собой однородную смесь гипсового вяжущего (50...80%) с органоминеральным модификатором, получаемым совместной механохимической активацией портландцемента (или извести), кремнеземистого компонента, суперпластификатора и других модифицирующих добавок;

Композиционные ангидритовые вяжущие получают тщательным смешиванием предварительно активированных исходных компонентов (ангидритового вяжущего, портландцемента, кремнеземистых добавок, пластифицирующих и других химических и минеральных добавок). Возможно совмещение помола и смешивания всех компонентов.

Твердение водостойких гипсовых вяжущих веществ

При твердении водостойких гипсовых вяжущих (гипсоцементнопуццолановых, гипсоцементношлакопуццолановых, композиционных гипсовых вяжущих) образуются водостойкие гидратные вещества.

В системе гипсовое вяжущее - портландцемент без введения активных минеральных добавок в процессе длительного твердения в результате взаимодействия высокоосновных алюминатов кальция портландцемента (например, $3CaO•Al_2O_3$) или высокоосновных гидроалюминатов кальция ($4CaO•A1_2O_3•13H_2O$ и $3CaO•A1_2O_3•6H_2O$) и $CaSO_4$ образуется высокоосновная форма гидросульфоалюмината кальция – эттрингит: $3CaO•A1_2O_3•3CaSO_4•31H_2O$.

Образование эттрингита («цементной бациллы») сопровождается существенным увеличением объема новообразованной фазы, вызывает деформации, снижение прочности и разрушение уже затвердевшего искусственного камня.

В основе твердения гипсоцементнопуццолановых и гипсоцементношлакопуццолановых вяжущих лежит принцип перевода высокоосновных гидроалюминатов (ферритов) кальция в твердеющей смеси гипсовых вяжущих с портландцементом в низкоосновные с помощью кислых активных минеральных добавок.

При затворении водой происходит гидратация полуводного гипсового вяжущего, схватывание, выделяющиеся кристаллы двугидрата создают каркас первоначальной структуры.

Одновременно начинается гидратация минералов цементного клинкера.

Минералы портландцементного клинкера (алит, белит, трехкальциевый алюминат, четырехкальциевый алюмоферрит), гидратируясь, образуют гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты кальция и $Ca(OH)_2$.

В результате взаимодействия гидроксида кальция с активной минеральной добавкой образуются гелевидные низкоосновные гидросиликаты кальция.

Образующиеся новообразования цементируют крупные кристаллы двугидрата, которые образуются на первой стадии твердения и защищают их от растворения водой, повышая водостойкость искусственного камня

Связывание $Ca(OH)_2$ вызывает снижение его концентрации в жидкой фазе до такого уровня, при котором высокоосновные гидроалюминаты кальция ($4CaO•A1_2O_3•13H_2O$ и $3CaO•A1_2O_3•6H_2O$) становятся нестабильными и переходят в низкоосновные.

При этом прекращается образование эттрингит, возникающего на начальной стадии твердения, происходит его частичное разложение.

Это обеспечивает образование моносульфатной формы гидросульфоалюмината кальция $3CaO•Al_2O_3•CaSO_4•12H_2O$, а также гидрогеленита $2CaO•Al_2O_3•SiO_2•8H_2O$, гидрогранатов $3CaO•Al_2O_3•xSiO_2•(6-2x)H_2O$ и гидросиликоалюминатов - $3CaO•Al_2O_3•CaSiO_3•12H_2O$, двуводного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и их твёрдых растворов, не опасных для устойчивости затвердевших вяжущих, снижению опасных напряжений.

Отсутствие условия образования эттрингита при длительном твердении обеспечивает полную устойчивость данных систем.

В первые три часа в результате интенсивной гидратации полуводного сульфата кальция и его схватывания происходит быстрый рост прочности, достигающей 30...40% марочной. Она выше у образцов из вяжущих, в составе которых больше гипсового вяжущего. В дальнейшем прочность начинает определяться степенью гидратации клинкерных минералов и количеством получающихся новообразований. Этот период характеризуется меньшим ростом прочности. В результате формирования субмикрокристаллического цементирующего вещества из индросиликатов кальция и комплексных глинозёмсодержащих фаз прочность образцов к 28 сут. существенно возрастает. В этот период она выше у образцов, изготовленных из вяжущего, в составе которого больше портландцемента с активной минеральной добавкой. В дальнейшем прочность продолжает расти уже замедленным темпом, так как интенсивность взаимодействия вяжущего с водой уменьшается из-за затухания процесса гидратации. Таким образом, нарастание прочности в процессе твердения вяжущих определяется составом вяжущих и идёт параллельно изменению их микроструктуры и фазового состава новообразований.

На основе высокопрочного гипса можно получить водостойкие гипсовые вяжущие повышенной прочности 30,0...40,0 МПа и более. При использовании

портландцементов высоких марок можно дополнительно повысить прочность этих вяжущих в среднем на 15...25%.

Процесс твердения рассматриваемых вяжущих можно ускорить путем тепловой обработки при температуре не более 80°С. Прочность после пропаривания достигает 70...90% марочной прочности..

Особенностью твердения композиционных гипсовых вяжущих веществ является то, что механохимическая активация компонентов при их получении обеспечивает повышение реакционной способности, скорости и степени гидратации присутствующего в этих вяжущих портландцемента. прежде всего, трёхкальциевого алюмината портландцемента, что способствует быстрому образованию эттрингита в начальный период твердения. В дальнейшем устраняются условия его образования и накопления, благодаря связыванию гидроксида кальция активированным кремнезёмом и уменьшению количества алюминатных составляющих за счет ускоренной гидратации активированного портландцемента. Это способствует образованию нового типа структуры, обеспечивающей гидравличность и более высокие показатели свойств композиционных гипсовых вяжущих по сравнению с гипсоцементно-пуццолановыми и гипсоцементношлако-пуццола-новыми вяжущими.

В связи с тем, что решающее влияние на устойчивость гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементношлакопуццолановых вяжущих при твердении оказывает активность и содержание пуццолановой добавки, очень важно её строгое дозирование.

Для этого разработана специальная методика, по которой можно определять концентрацию оксида кальция в водной суспензии гипсового вяжущего, портландцемента и пуццолановой добавки. Концентрация оксида кальция должна быть не выше 1,1 г/л через 5 суток и ниже 0,85 г/л через 7 суток.

Влияние структуры искусственного камня на основе водостойких гипсовых вяжущих на долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций

Основными причинами отличия физико-механических свойств неводостойких и водостойких гипсовых вяжущих являются особенности процессов твердения и формирования их структур.

Более высокие прочность, водостойкость, долговечность материалов на основе водостойких гипсовых вяжущих по сравнению с неводостойкими во многом обуславливаются структурой искусственного камня, формирование которой определяется особенностями твердения водостойких гипсовых вяжущих. Важной структурной характеристикой является пористость.

Поровое пространство затвердевшего гипсового вяжущего образуют поры, образованные в результате:

1) процесса кристаллизации;
2) испарения избыточной воды;
3) вовлечения воздуха.

Поры гипсового камня могут содержать воду:

– свободную – содержание зависит от объёма порового пространства;
– адсорбционную – содержание около 1 % от массы затвердевшего вяжущего.

На рис. 1 представлен характер пористости затвердевших неводостойкого и водостойких гипсовых вяжущих.

Структура гипсового камня на основе неводостойкого гипсового вяжущего является макропористой, так как около 80 % объёма пор составляют макропоры радиусом более 0,1 мкм. Из-за макропористой структуры и высокой гигроскопичности гипсового камня при соответствующих условиях свободная вода хорошо поглощается и удаляется.

Для гипсового камня на основе водостойких гипсовых вяжущих с увеличением содержания в них комплекса гидравлических компонентов объём пор, приходящийся на долю микро- (менее 0,002 мкм), мезо- (менее 0,05 мкм) и переходной пористости с радиусом менее 0,1 мкм, увеличивается от 38 до 82 % и при прочих равных условиях возрастает при большем содержании комплекса гидравлических компонентов.

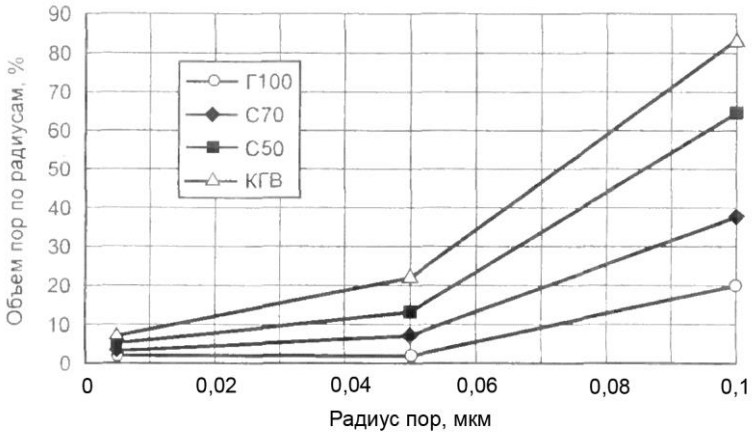

Рис. 1. Кривые распределения пор по радиусам в образцах из водостойких и неводостойких гипсовых вяжущих веществ составов:
Г100 – гипсовое вяжущее 100 %;
С50 – гипсовое вяжущее : цемент : пуццолановая добавка – 50:30:20;
С70 – гипсовое вяжущее : цемент : пуццолановая добавка – 70:18:12;
КГВ – гипсовое вяжущее : цемент : пуццолановая добавка – 70 : 12 : 18

Такой характер пористости приводит к тому, что при изменении влажности уже до 1% снижение прочности при сжатии образцов из неводостойкого гипсового вяжущего составляет 30-40 %, в то время как прочность образцов при сжатии из водостойких гипсовых вяжущих в этих условиях практически не изменяется.

Коррозионная стойкость гипсобетонов

Вопросам коррозии гипсобетонов и различной арматуры в них посвящены работы профессора А.В. Ферронской.

Бетоны на водостойких гипсовых вяжущих по сравнению с бетонами на портландцементе являются более стойкими против воздействия растворов сульфатов, некоторых минерализованных и щелочных сред. Весьма агрессивны по отношению к этим бетонам растворы минеральных кислот. Стойкость бетонов на водостойких гипсовых вяжущих в рганических кислотах выше, чем у бетонов на портландцементе, но недостаточна для того, чтобы их применения в этих условиях.

В связи с плохой совместимостью стальной арматуры с гипсобетоном на основе неводостойких гипсовых вяжущих его армируют деревянной и другой растительной арматурой (камыш и т.п.). Алюминиевая арматура не корродирует в гипсобетоне.

В бетонах на основе водостойких гипсовых вяжущих скорость коррозии стальной арматуры в несколько раз меньше, чем в бетонах на основе неводостойких гипсовых вяжущих, а в сухих условиях эксплуатации коррозия стальной арматуры вовсе не происходит. При армировании конструкций, эксплуатирующихся во влажных условиях и при периодических увлажнениях, необходимо либо защищать арматуру перёд ее применением, либо в бетон вводить ингибиторы коррозии.

Дисперсная арматура (волокна, фибра) - органическая и неорганическая - достаточно стойка в среде гипсобетона. В бетонах на основе неводостойких гипсовых вяжущих стойким является обычное стекловолокно. В бетонах на основе водостойких гипсовых вяжущих применяются щелочестойкие стеклянные волокна и базальтовые волокна.

Долговечность изделий из бетонов на основе гипсовых вяжущих при эксплуатации и методы ее повышения

Натурные исследования за состоянием изделий во внутренних конструкциях, эксплуатируемых во влажных условиях (перегородки для санузлов, объемные санитарно-технические кабины и вентиляционные блоки и т.п.), показали, что эти изделия находятся в удовлетворительном состоянии (уже более 50 лет), если бетоны в них изготовлены на водостойких гипсовых вяжущих, удовлетворяющем требованиям, указанным выше ТУ. Если же бетоны в этих изделиях изготовлены на некондиционных водостойких гипсовых вяжущих, изделия имеют высокую первоначальную влажность, трещины технологического происхождения или появляющиеся при транспортировании, хранении и монтаже и т.п., то в этих изделиях наблюдаются дефекты (трещины, снижение прочности, провисание потолка, коррозия незащищенной стальной арматуры и т.п.).

Натурными наблюдениями и исследованиями установлено, что изделия из бетонов на основе гипсовых (водостойких) вяжущих показывают удовлетворительную эксплуатационную стойкость во всех климатических зонах и при всех температурно-влажностных условиях.

При эксплуатации зданий с мокрым режимом, усугубляемым наличием агрессивных сред, долговечность изделий из бетонов на основе гипсовых (водостойких) вяжущих недостаточна и требует ее повышения.

В целях обеспечения долговечности конструкций из бетонов на водостойких гипсовых вяжущих предусматривают их защиту от увлажнения грунтовыми водами и увлаж-нения атмосферными осадками, для чего применяют защитно-декоративные отделки наружных поверхностей стен (керамической плиткой, окрасочными составами и др.).

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ КОРРОЗИИ

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивной среде, важной характеристикой для бетонов является его проницаемость, она в известной мере определяет способность материала сопротивляться воздействию увлажнения и замерзания, влиянию различных атмосферных факторов и агрессивных сред.

В соответствии с СП 28.13330 бетоны по показателям проницаемости разделены на бетоны нормальной, пониженной и особо низкой проницаемости. В зависимости от степени агрессивности среды проницаемость бетона характеризуют прямыми показателями (маркой бетона по водонепроницаемости, коэффициентом фильтрации, диффузионной проницаемостью газа) и косвенными показателями (водопоглощением бетона и водоцементным отношением), которые должны использовать при подборе состава бетона (таблица 1).

Таблица 1

Ориентировочные показатели проницаемости бетона

Условные обозначения показателя проницаемости бетона	Показатели проницаемости бетона			
	Прямые		Косвенные	
	Марка бетона по водонепроницаемости	Коэффициент фильтрации, K_f, см/с (при равновесной влажности)	Водопоглощение, % по массе	Водоцементное отношение, В/Ц, не более
Н - бетон нормальной проницаемости	W4	св. $2*10^{-9}$ до$7*10^{-9}$	св. 4,7 до 5,7	0,6
П - бетон пониженной проницаемости	W6	св. $6*10^{-10}$ до $2*10^{-9}$	св. 4,2 до 4,7	0,55
О - бетон особо низкой проницаемости	W8	св. $1*10^{-10}$ до $6*10^{-10}$	до 4,2	0,45

Степень агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции определяется: для жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, напором или скоростью движения жидкости у поверхности; газовых сред – видом и концентрацией газов, растворимостью их в воде, влажностью и температурой среды; твердых сред (соли, аэрозоли, пыли) –

дисперсностью, растворимостью в воде, влажностью окружающей среды. Степень их агрессивного воздействия на бетон определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 31384 и СП 28.13330.

При коррозии I и II видов происходит постепенное разрушение бетона с поверхности в глубину материала. Для оценки долговечности бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях агрессивной среды, важное значение имеет оценка глубины разрушения бетона.

Интенсивность разрушения бетона зависит от механизма переноса агрессивных сред и их взаимодействия с компонентами бетона, главным образом цементным камнем, который в большинстве случаев является наиболее слабым с точки зрения коррозии компонентом бетона.

Для развития процессов коррозии необходимо постоянное воздействие агрессивной среды на компоненты бетона, в том числе на внутренние слои, когда граница коррозии перемещается в глубь материала. В процессе коррозии бетона имеют место различные механизмы переноса агрессивных веществ к поверхности коррозии.

В ненапорных подземных и подводных конструкциях, а также в водонасыщенных наземных конструкциях преобладает диффузионный переное агрессивных веществ. Это наиболее распространенный случай при коррозии бетона.

При одностороннем напоре, температурном или влажностном перепадах или капиллярном подсосе действует фильтрационный механизм переноса агрессивных сред.

Скорость коррозии бетона обычно быстро развивается в первоначальный период и постепенно затухает во времени. Изменение скорости коррозии связано с образованием на реакционной поверхности продуктов коррозии, которые тормозят доступ к ней агрессивных веществ. В первое время скорость коррозии определяется скоростью взаимодействия агрессивной среды с компонентами бетона или скоростью растворения. Однако очень быстро на реакционной поверхности появляются продукты коррозии и на скорость коррозии начинает влиять также диффузия агрессивных сред к реакционной поверхности. В этот период, условно названный диффузионно-кинетическим, скорость коррозии определяется как скоростью химического взаимодействия, так и диффузией реагирующих веществ.

С увеличением глубины поражения бетона и величины слоя продуктов коррозии решающее значение приобретает диффузия агрессивных веществ к поверхности коррозии. Этот период называют периодом внутренней диффузии, и для него характерна прямолинейная зависимость глубины разрушения от $\sqrt{t}$ (t - время воздействия агрессивных сред на бетон) (рис. 1).

Длительность процесса коррозии бетона в диффузионно-кинетическом периоде колеблется от 6 до 60 сут. в зависимости от состава бетона, вида агрессивной среды, фазового состава, структуры и толщины слоя продуктов коррозии. Продукты коррозии могут состоять из геля (одно- или многокомпонентного), геля и кристаллов, в основном солей кальция, или из кристаллов, например гидросульфоалюмината кальция и гипса (табл. 2).

Диффузионное сопротивление продуктов коррозии определяется структурой кристаллической составляющей и повышается с увеличением плотности слоя продуктов коррозии. Наименьшим сопротивлением обладают продукты коррозии гелевого строения.

Толщина слоя продуктов коррозии зависит от условия эксплуатации и способности продуктов коррозии удерживаться в порах бетона или на его поверхности. При свободном омывании конструкции водой-средой толщина слоя продуктов коррозии обычно устанавливается постоянной, так как часть продуктов коррозии смывается и уносится водой. В этом случае процесс коррозии может протекать как по диффузионно-кинетическому, так и по диффузионному механизму переноса вещества.

На конструкциях, находящихся в грунтах, продукты коррозии, как правило, остаются на месте образования. При этом происходит постепенное увеличение толщины слоя (продуктов коррозии и повышение его плотности. В этих условиях скорость реакции коррозии и глубина разрушения бетона определяются диффузией реагирующих веществ и степенью их агрессивности. Влияние вида агрессивной среды на скорость коррозии бетона показано на рис. 2.

При воздействии различных агрессивных веществ скорость коррозии при диффузионном механизме их переноса является прямолинейной зависимостью от $\sqrt{t}$ (где t - время испытания).

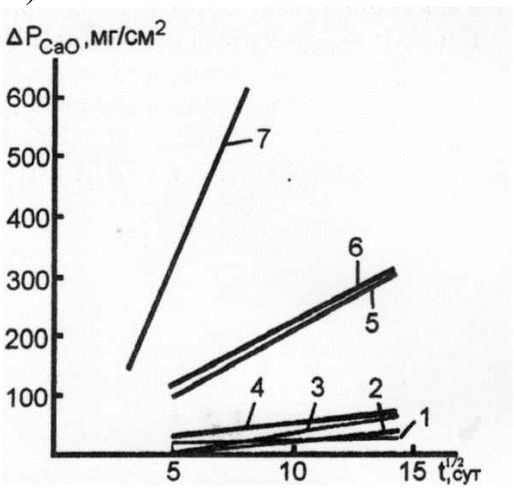

Рис. 2. Кинетическая зависимость процессов коррозии цементного камня в диффузионном периоде PCaO=f(√t):

1 - 0,1 н. раствор щавелевой кислоты $H_2C_20_4$;
2 - дистиллированная вода;
3 - агрессивная CO_2 - 300 мг/л;
4 - 0,1 н. HF;
5 - 0,1 н. H_2SO_4;
6 - 0,1 н. HCl (бетон);
7 - 0,1 н. HCl.

В цементном камне или бетоне происходит при воздействии агрессивной среды послойное разрушение материала с образованием следующих зон (рис. 3): продуктов коррозии, непосредственно коррозии и бетона, в котором не произошло каких-либо фазовых превращений. С течением времени происходит

постепенное передвижение зон в глубину бетона, но даже при значительной степени разрушения материала сохраняется четкая граница между доброкачественным бетоном и зонами коррозии.

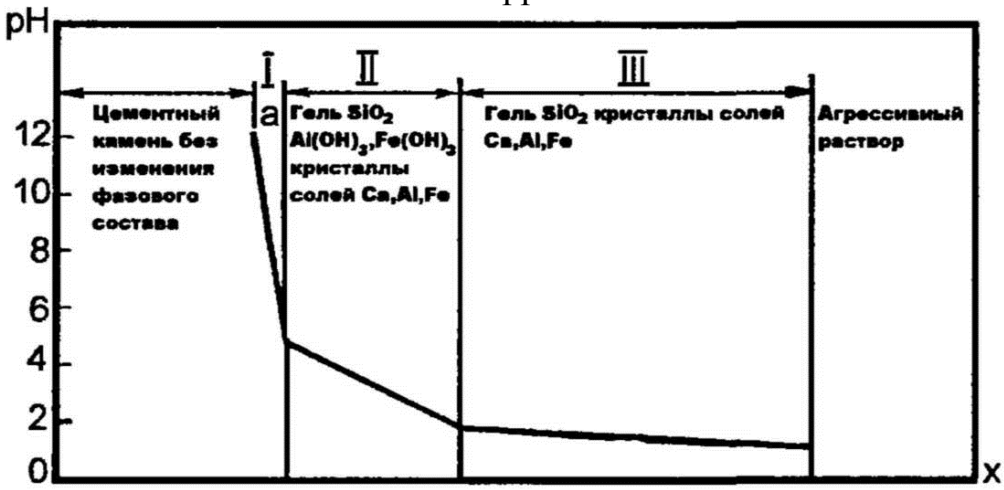

Рис. 3. Состав твердой фазы и pH в различных зонах цементного камня при действии на него кислых агрессивных сред:

I - зона коррозии;

II - зона вторичных химических реакций;

III - зона полностью разрушенного цементного камня

В настоящее время еще не разработаны способы, которые позволяли бы надежно определять глубину разрушения бетона при коррозии на основе данных о его составе и условий агрессивного воздействия. Существующие методы прогнозирования глубины коррозии бетона основываются на проведении предварительных испытаний, по результатам которых с учетом закономерностей развития процесса коррозии при длительных сроках воздействия, когда определяющим является диффузионный перенос реагирующих веществ, определяется глубина коррозии бетона через заданный промежуток времени. Глубина разрушения бетона к определённому сроку испытаний:

$$h = \frac{P_{CaO}}{Ц * P'_{CaO}} * 10^{-5},$$

где P_{CaO} - количество прореагировавшего цементного камня в пересчете на CaO, отнесенное к единице реагирующей поверхности образцов, г/см^2;

$Ц$ - расход цемента в бетоне, кг/м^3;

P'_{CaO} - содержание CaO в цементе (по данным химического анализа), %.

Чтобы установить зависимость $P_{CaO}=f(\sqrt{t})$, предварительными испытаниями 6-8 раз определяют значения P_{Ca0}. Опыты проводят на материалах и средах, для которых делают прогнозирование. В бетонах на плотных заполнителях, стойких к действию агрессивных сред, глубина коррозии резко уменьшается не только вследствие сокращения объема цементного камня, но также за счет повышения общей плотности материала, отложения продуктов коррозии в порах бетона и на поверхности заполнителя с возможным постепенным уплотнением порового

пространства бетона, что затрудняет доступ агрессивной среды к реакционной поверхности.

Для прогнозирования глубины разрушения бетона в диффузионный период, что чаще встречается на практике, используют формулу:

$$h_1 = \frac{k * \sqrt{t} - \alpha}{Ц * P'_{CaO}},$$

где k - экспериментальный коэффициент, представляющий собой тангенс угла наклона кривых коррозии в диффузионный период к оси абецисс (рис. 2) и определяемый предварительными испытаниями;

t - время, для которого прогнозируется глубина разрушения, сут;

α - поправочный коэффициент, учитывающий, что первоначальный период коррозии проходит по диффузионно - кинетическому механизму и опытные прямые $P_{CaO}=f(\sqrt{t})$ пересекают ось ординат в точке, координата которой отлична от 0.

Коэффициент:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{P_{1CaO} - P_{2CaO}}{\sqrt{t_1} - \sqrt{t_2}},$$

где P_{iCaO} и $\sqrt{t_i}$ - координаты двух точек на опытной кривой коррозии, построенной в координатах $P_{CaO}=f(\sqrt{t})$

Поправочный коэффициент:

$$\alpha_1 = k * \sqrt{t_1} - P_{1CaO},$$

Ориентировочное определение глубины коррозии, если для нее характерен диффузионно-кинетический механизм переноса веществ, производят по формуле:

$$h_1 = \frac{\upsilon_{CaO} * t}{Ц * P'_{CaO}},$$

где – υ_{CaO} постоянная скорость коррозии при диффузионно-кинетическом механизме переноса веществ, определяемая опытным путем, г/(см^2*сут).

В действительности нельзя допускать значительного разрушения бетона под действием агрессивных сред. Если прогнозируемая глубина разрушения через 50 лет превосходит 1-3 см, следует применять специальные меры защиты: окраску специальными составами, пропитку поверхности, кислотоупорные бетоны и полимербетоны.

3. ЖАРОСТОЙКИЕ БЕТОНЫ. ПОДБОР СОСТАВА ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА

Жаростойкие бетоны, предназначенные для промышленных и строительных конструкций, при длительном воздействии высоких температур должны сохранять в заданных пределах свои физико-механические свойства. Жаростойкие бетоны изготовляют из вяжущего (в которое в необходимых случаях вводится еще и минеральная тонкомолотая добавка), воды (или другого затворителя) и жаростойких заполнителей.

В качестве вяжущих веществ в жаростойких бетонах применяют портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент и жидкое стекло. Для улучшения структуры цементного камня и сохранения прочности в вяжущее вводят минеральные добавки (хромитовую руду, бой шамотного, магнезитового или обычного кирпича, андезит, пемзу, лессовидный суглинок, гранулированный доменный шлак, топливный шлак и золу-унос). Тонкость помола добавок должна быть такой, чтобы через сито № 009 проходило не менее 70% добавок для бетонов на портландцементе и не менее 50% для бетонов на жидком стекле

В качестве мелкого и крупного заполнителей в жаростойких бетонах применяют следующие дробленые материалы: хромитовую руду, бой магнезитового, шамотного и обыкновенного глиняного кирпича, кусковой шамот, доменный отвальный шлак, базальт, диабаз, андезит.

Максимальная крупность щебня для массивных конструкций (фундаментов) не должна превышать 40 мм, а для всех остальных - 20 мм. Мелких частиц размером менее 0,14 мм в заполнителях должно быть не более 15% по массе. Рекомендуемый зерновой состав щебня и песка для жаростойких бетонов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендуемый зерновой состав щебня и песка для жаростойких бетонов

Максимальная крупность зерен заполнителя, мм	Полный остаток, % по массе, на сите размером отверстий в свету, мм					
	40	20	10	5	1,2	0,14
40	0-5	30-60	-	90-100	-	-
20	-	0-5	30-60	90-100	-	-
10	-	-	-	-	-	-
5	-	-	0-5	90-100	-	-
менее 5	-	-	-	0-15	20-55	85-100

Материалы и состав жаростойкого бетона в зависимости от условий и температуры его службы выбирают по табл. 3. При этом необходимо учитывать, что в процессе нагревания первоначальная прочность жаростойких бетонов на цементных вяжущих значительно снижается, поэтому при выборе их состава следует стремиться к получению бетона максимально возможной марки. Марку жаростойкого бетона определяют пределом прочности при сжатии кубов 10x10x10 см, умноженным на коэффициент 0,85 (для перехода к прочности кубов 20x20x20 см). Образцы испытывают после твердения в течение 7 сут. для бетонов на портландцементе и 3 сут - для бетонов на глиноземистом цементе и жидком стекле.

Образцы на портландцементе и глиноземистом цементе выдерживают во влажных условиях, образцы на жидком стекле — в воздушно-сухих условиях при температуре 18±3 °С. Перед испытанием образцы высушивают при температуре 100-110 °С в течение 32 ч, а затем охлаждают. Для жаростойких бетонов с предельной температурой службы свыше 600°С определяют остаточную прочность при сжатии после нагревания. Остаточная прочность (%) представляет

Таблица 3

Рекомендуемые составы жаростойкого бетона

Предельная температура службы бетона при одностороннем нагреве, ^{0}С	Минимально допустимая марка бетона	Минимально допустимая остаточная прочность бетона МПа	Тонкомолотая добавка	Мелкий и крупный заполнитель	Расход материалов на 1 м* бетонной смеси, кг				
					вяжущего	Тонкомолотой добавки	Стабилизатора или добавки, обеспечивающей твердение	Песка	Щебня
Бетон на портландцементе									
1700	250	3	Хромит+магнезит	Хромит	300	600*	30**	900	1100***
1100	250	3	Шамот, лёсс, лёссовидный суглинок	Шамот	350-450	350-450	-	550-450	550-450
700	250	4	Пемза, цемянка, доменный гранулированный шлак	Бой глиняного кирпича, базальт, диабаз, андезит	350-340	350-450	-	750-650	750-650
700	150	4	Пемза, цемянка, гранулированный доменный шлак	Отвальный доменный шлак	350.450	350-450	-	800-700	800-70
350	150	-	-	Отвальный доменный шлак	300	-	-	1000	1000
Бетон на глиноземистом цементе									
1400	250	3	-	Хромит	350-450	-	-	1200-1150	1200-1150
Бетон на жидком стекле плотностью 1,38 г/см^3									
1400	150	7	Бой магнезитового кирпича	Бой магнезитового кирпича	300-350	600	18-20	600	1150
1000	150	9	Хромит	Хромит	250-300	700	30-35	800	1250
900	150	9	Шамот	Шамот	350-400	500	40-50	500	750
600	150	8	Шамот, андезит, диабаз	Базальт, диабаз, андезит	300-350	500	35-40	700	900

*Тонкомолотый магнезит вводят только в бетон для изготовления элементов толщиной не более 50 мм.

** Фосфоритовая мука.

*** Максимальная крупность зерен щебня 10 мм

собой отношение предела прочности при сжатии образцов бетона, испытанных после нагревания до 800°С (для жаростойких бетонов с предельной температурой службы свыше 800°С), к пределу прочности контрольных высушенных образцов. Для жаростойких бетонов с предельной температурой службы 600 и 700°С образцы нагревают до этой же температуры после их высушивания в течение 32 ч. Скорость нагревания 150-200 °С/ч, время выдерживания при 800°С - 4 ч. Затем образцы остывают в печи до комнатной температуры. После остывания образцы выдерживают в течение 7 сут над емкостью с водой и испытывают на сжатие.

Шлакопортландцемент можно применять в жаростойких бетонах, предназначенных для службы при температуре ниже 700° С. Если содержание шлака при этом менее 50%, то в бетон вводят любую тонкомолотую добавку (кроме золы-уноса) в количестве 30% от массы шлакопортландцемента.

Тонкомолотую добавку не вводят в портландцемент при температуре службы жаростойкого бетона ниже 350° С. Применение обычного бетона на портландцементе допускается в элементах конструкций, температура службы которых не превышает 200° С. При этом марку бетона следует выбирать с учетом того, что при длительном воздействии температуры порядка 200° С прочность бетона при сжатии снизится на 25%. Снижение прочности бетона при изгибе и растяжении в этих условиях может доходить до 50%.

Жаростойкий бетон на портландцементе не применяют при воздействии на конструкцию кислой агрессивной среды. В этом случае может быть использован жаростойкий бетон на жидком стекле. Бетоны на жидком стекле в условиях постоянного воздействия паровой среды или воды применять нельзя. При периодическом воздействии пара или воды такие бетоны можно применять при условии предварительного нагревания конструкций в сухих условиях до температуры 700-800 °С. Для обеспечения твердения бетона на жидком стекле при нормальной температуре в него добавляют кремнефтористый натрий.

Бетон на глиноземистом цементе применяют в конструкциях, толщина которых превышает 40 см, и при таких условиях твердения, когда температура в теле бетона в первые сутки твердения не превышает 40°С (отвод тепла). В противном случае возможно резкое снижение прочности бетона.

Таблица 4

Средняя плотность свежеуложенных жаростойких бетонов на портландцементе, глиноземистом цементе и жидком стекле в зависимости от вида заполнителя

Вид заполнителя	Средняя плотность, кг/м^3
хромит	2900—3200
магнезит	2500—2800
диабаз, базальт, андезит	2300—2500
кирпичный или туфовый щебень	1600—1900

При приготовлении жаростойких бетонов следует стремиться к тому, чтобы количество воды или жидкого стекла было по возможности минимальным. Осадку стандартного конуса принимают не более 2 см. Для затворения жаростойких бетонов обычно требуется 170-190 л воды на 1 м^3 бетона. После

выбора состава по данным табл. 10 производят пробные замесы. Для первого пробного замеса берут воды 170 л/м^3. Испытания ведут по обычной методике с учетом особенностей определения марки жаростойких бетонов и их остаточной прочности. Окончательный состав бетона уточняют по результатам пробных замесов.

Плотность бетона в высушенном состоянии меньше, чем в свежеуложенном состоянии, примерно на 150-200 кг/м^3.

4. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БЕТОНОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

Морозостойкость бетона - способность в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик.

Основной причиной, вызывающей разрушение бетона в этих условиях, является давление на стенки пор и устья микротрещин, создаваемое замерзающей водой. При замерзании вода увеличивается в объеме более чем на 9%. Расширению воды препятствует твердый скелет бетона, в котором могут возникать очень высокие напряжения. Повторяемость замерзания и оттаивания приводит к постепенному разупрочнению структуры бетона и к его разрушению. Сначала начинают рушиться выступающие грани, затем поверхностные слои и постепенно разрушение распространяется в глубь бетона. Некоторое влияние будут оказывать и напряжения, вызываемые различием в коэффициентах температурного расширения составляющих бетона и температурно-влажностным градиентом.

Морозостойкость бетона зависит от его строения, особенно от характера пористости, так как последний будет определять объем и распределение льда, образующегося в теле бетона при отрицательных температурах, и, следовательно, значение возникающих напряжений и интенсивность протекания процесса ослабления структуры бетона.

В микропорах бетона размером 10^{-5} см обычно содержится связанная вода, которая не переходит в лед даже при очень низких температурах (до -70 °С), поэтому микропоры не оказывают заметного влияния на морозостойкость бетона. Последняя главным образом зависит от объема макропор в бетоне и от их строения.

Морозостойкость бетона характеризуют соответствующей маркой по морозостойкости F_1 и F_2. Марка бетона по морозостойкости (F_1 и F_2): показатель морозостойкости бетона, соответствующий числу циклов замораживания и оттаивания образцов, определенному при испытании базовыми методами, при которых характеристики бетона, установленные стандартом, сохраняются в нормируемых пределах и отсутствуют внешние признаки разрушения (трещины, сколы, шелушение ребер образцов). Среднее максимально допустимое уменьшение массы образцов не должно превышать 2 %, а снижение прочности бетона не более 10 %, определяемое по соотношению нижних границ

доверительных интервалов прочности для контрольных и основных образцов после замораживания и оттаивания.

Для легкого бетона марок по морозостойкости F50 и менее критерием оценки результатов испытания является уменьшение средней прочности на сжатие основных образцов по сравнению со средней прочностью контрольных образцов, которое не должно превышать15 %. При этом не должно наблюдаться шелушение ребер и поверхности образцов бетона.

Марка бетона по морозостойкости по первому базовому методу F1:марка по морозостойкости бетона, испытанного в водонасыщенном состоянии, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также бетонов, эксплуатируемых при воздействии минерализованной воды.

Марка бетона по морозостойкости по второму базовому методуF2: марка по морозостойкости бетона дорожных и аэродромных покрытий и бетона, эксплуатируемого при воздействии минерализованной воды, и определенная при испытании образцов, насыщенных 5 % водным раствором хлорида натрия.

Установлены следующие марки по морозостойкости:

1) по первому базовому методу $F_1$50; $F_1$75; $F_1$100; $F_1$150; $F_1$200; $F_1$300; $F_1$400; $F_1$500; $F_1$600; $F_1$800; $F_1$1000;

2) по второму базовому методу $F_2$100; $F_2$150; $F_2$200; $F_2$300; $F_2$400;$F_2$500.

Определение морозостойкости осуществляют путем испытания основных и контрольных образцов бетона на сжатие. Основные образцы - образцы, предназначенные для замораживания и оттаивания(испытания). Контрольные образцы — образцы, предназначенные для определения прочности бетона на сжатие без замораживания перед началом испытания основных образцов. Морозостойкость бетона определяют в проектном возрасте (после итоговых испытаний), установленном в нормативно-технической и проектной документации, при достижении им прочности на сжатие, соответствующей его классу по прочности. Образцы для испытания не должны иметь внешних дефектов. Разброс значений плотности отдельных образцов в серии до их насыщения не должен превышать 30 кг/м^3.

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщают водой или 5 %водным раствором хлорида натрия температурой (20 ± 2) °С.

Для насыщения образцы погружают в воду или раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень воды или раствора повышают до 2/3 высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще24 ч, после чего образцы полностью погружают в воду или раствор на48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм.

Установлены следующие методы определения морозостойкости:

1. Базовые методы при многократном замораживании и оттаивании:
   - первый — для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды;

– второй — для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и для бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды.

2. Ускоренные методы при многократном замораживании и оттаивании:

– второй — для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды, легких бетонов марок по средней плотности менее D1500,

– третий — для всех видов бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500.

Необходимо отметить, что допускается применение других методов определения марок бетонов по морозостойкости при условии обязательного определения коэффициента перехода или тарировки предлагаемого метода по отношению к базовым методам.

При определении морозостойкости ускоренными методами (второй, третий), которые проводятся в растворах солей и/или при более низкой температуре замораживания, один цикл переменного замораживания и оттаивания в зависимости от вида бетона, марки по морозостойкости и метода испытаний может быть равен 2-25 циклам первого базового метода. С понижением температуры, и особенно при замораживании в растворах солей, бетон разрушается значительно быстрее.

Условия испытания для определения морозостойкости в зависимости от метода и вида бетона принимают по табл. 5.

Таблица 5

Условия испытания образцов бетона на морозостойкость

Метод и марка бетона по морозо-стойкости	Условия испытания			Вид бетона
	Среда насыщения	Среда и температура замораживания	Среда и температура оттаивания	
Базовые методы				
Первый F_1	Вода	Воздушная, - (18 ±2) °С	Вода, +(20 ± 2) °С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
Второй F_2	5 % водный раствор хлорида натрия	Воздушная, - (18 ±2) °С	5 % водный раствор хлорида натрия, +(20 ± 2) °С	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды

Ускоренные методы				
Второй	5 % водный раствор хлорида натрия	Воздушная, - (18 ± 2) °С	5 % водный раствор хлорида натрия, + (20 ± 2) °С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды, и легких бетонов марок по средней плотности менее D1500
Третий	5 % водный раствор хлорида натрия	5 % водный раствор хлорида натрия, - (50 ± 2) °С	5 % водный раствор хлорида натрия, + (20 ± 2) °С	Все виды бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500

Существует два различных способа повышения морозостойкости бетона:

1) повышение плотности бетона, уменьшение объема макропор и их проницаемости для воды, например за счет снижения В/Ц применения добавок, гидрофобизирующих стенки пор, или кольматации пор пропиткой специальными составами;

2) создание в бетоне с помощью специальных воздухововлекающих добавок резервного объема воздушных пор (более 20% от объема замерзающей воды), не заполняемых при обычном водонасыщении бетона, но доступных для проникания воды под давлением, возникающим при ее замерзании. Обычно для получения достаточно морозостойкого бетона В/Ц должно быть менее 0,5.

Весьма эффективным и сравнительно простым повышением морозостойкости является применение воздухововлекающих добавок. Для получения морозостойкого бетона необходимо, чтобы расстояние между пузырьками воздуха, т. е. толщина прослоек между соседними воздушными порами, не превышала 0,025 см. Поэтому для надлежащего эффекта необходимо обеспечить не только определенный объем воздухововлечения, но и получение воздушных пор возможно меньшего размера, так как это позволяет уменьшить их общий объем и способствует повышению морозостойкости бетона при наименьшем снижении его прочности вследствие воздухововлечения. Обычно в бетоне с воздухововлекающими добавками удельная поверхность пор, характеризующая их размеры, составляет 1000-2000 $см^2/см^3$, размер пор - 0,005-0,1 см, а расстояние между ними не превышает 0,025 см.

Оптимальный объем вовлеченного воздуха составляет 4-6% и определяется расходом цемента, воды и крупного заполнителя. Объем увеличивается при понижении крупности заполнителя и повышении расхода цемента и воды.

5. МОДИФИЦИРУЮЩИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Перспективным направлением регулирования реологических и технологических свойств бетонных смесей и строительно-технических свойств бетона, а также снижения расхода цемента, заполнителей и энергетических затрат является применение в их составе различных видов добавок, часто называемых в научной литературе модификаторами структуры и свойств цементных систем. Добавкой называют органическое или неорганическое вещество, вводимое в смеси с целью направленного регулирования их технологических свойств и/или строительно-технических свойств бетонов и растворов и/или придания им новых свойств. С целью повышения эффективности применения добавок в бетоне могут использовать полифункциональные добавки, представляющие собой вещества, обладающие двумя или несколькими основными эффектами действия. Основным эффектом действия называется эффект, характеризующий основное назначение добавки. За критерий эффективности использования добавки принимают величину показателя (или показателей) основного эффекта ее действия. При этом может наблюдаться дополнительный эффект действия добавки, заключающийся в положительном или отрицательном эффекте, являющемся следствием основного эффекта или проявляющемся одновременно с ним. Например, применение воздухововлекающей добавки повышает морозостойкость бетона, но без использования водоредуцирующего эффекта может наблюдаться снижение его прочности.

Добавки в бетонах и растворах применяют в оптимальном количестве, которое составляет их минимальную дозировку, позволяющую получить нормируемый стандартом (ГОСТ 24211) основной технологический и/или технический эффект без снижения или с допустимым уровнем снижения других показателей качества смесей, бетонов, растворов.

Органические добавки вводятся в цементные системы (бетон, раствор) в небольшом количестве (в основном 0,02…2 % массы цемента),но они оказывают значимое влияние на процессы гидратации минералов клинкера и формирование структуры цементного камня, позволяя модифицировать свойства растворов и бетонов в требуемом направлении.

Минеральные добавки, представляющие собой дисперсные неорганические добавки природного, техногенного или искусственного происхождения, вводят в бетонные и растворные смеси в количестве 5…20 % и более. Их применяют для экономии цемента и заполнителей, получения плотного бетона при малых расходах цемента, повышения стойкости бетона, а также с целью утилизации отходов промышленности (золы и шлаки ТЭС, золы и шлаки от сжигания твердых бытовых отходов и др.).

Добавки, применяемые для модификации свойств смесей, бетонов и растворов, в зависимости от основного эффекта действия подразделяют на классы. Класс представляет собой группу добавок, обладающих качественно

идентичным воздействием на бетонные или растворные смеси и/или бетоны и растворы. Различают следующие классы добавок:

1. Регулирующие свойства бетонных и растворных смесей: пластифицирующие - суперпластифицирующие, пластифицирующие; водоредуцирующие - суперводоредуцирующие, водоредуцирующие; стабилизирующие; регулирующие сохраняемость подвижности; увеличивающие воздухо- (газо)содержание.

2. Регулирующие свойства бетонов и растворов: регулирующие кинетику твердения - ускорители, замедлители; повышающие прочность; снижающие проницаемость; повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре; повышающие морозостойкость; повышающие коррозионную стойкость; расширяющие.

3. Придающие бетонам и растворам специальные свойства: противоморозные — для холодного бетона, для теплого бетона; гидрофобизирующие. Бетон или раствор называют холодным, если он изготовлен из бетонной или растворной смеси с противоморозной добавкой, постоянно твердеющий при отрицательной температуре. Теплым бетон или раствор называют, если он изготовлен из бетонной или растворнойсмеси с противоморозной добавкой, обеспечивающей незамораживание смеси при отрицательной температуре на время от ее приготовления до начала обогрева конструкции или изделия.

4. Минеральные добавки:

1) в зависимости от характера взаимодействия с продуктами гидратации цемента подразделяют на типы: тип I — активные минеральные, тип II — инертные минеральные;

2) активные минеральные добавки, подразделяющиеся на следующие группы: обладающие вяжущими свойствами; обладающие пуццолановой активностью; обладающие одновременно вяжущими свойствами и пуццолановой активностью. Пуццолановая активность - способность тонкоизмельченного материала в присутствии извести проявлять гидравлические свойства. Гидравлические свойства - способность тонкоизмельченного материала, затворенного водой, после предварительного твердения на воздухе или без него продолжать твердеть вводе и на воздухе. Это свойство относится к цементам и минеральным добавкам к нему.

Общее требование ко всем классам добавок для бетонов и строительных растворов заключается в том, что они (кроме увеличивающих воздухо-газосодержание смесей) не должны повышать объем газовой фазы смеси более чем на 3 %, а удельная эффективная активность естественных радионуклидов не должна превышать 370 Бк/кг.

Общее количество химических добавок при применении для приготовления бетона не должно составлять более 5 % массы цемента, если отсутствуют надежные подтверждения обеспечения долговечности бетона при повышенных их дозировках.

Добавки, применяемые при изготовлении железобетонных изделий и конструкций, не должны оказывать коррозионного воздействия на бетон и арматуру.

В состав бетона, в том числе в составы вяжущего вещества, заполнителей и воды затворения, не допускается введение хлористых солей при изготовлении следующих железобетонных конструкций:

1) с напрягаемой арматурой;

2) с ненапрягаемой проволочной арматурой класса В-I диаметром5 мм и менее;

3) эксплуатируемых в условиях влажного или мокрого режима;

4) с автоклавной обработкой;

5) подвергающихся электрокоррозии.

Введение хлористых солей не допускается также в состав бетонов и растворов для инъецирования каналов предварительно напряженных конструкций и, кроме того, для замоноличивания швов и стыков сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций. Возможность применения в составе бетонов добавок нитратов, нитритов, тиоцианатов (роданидов) и формиатов по вышеозначенным случаям, запрещающим введение хлористых солей, а также в защитных составах, используемых для ремонта и восстановления железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред, должна быть проверена в специализированных лабораториях.

При наличии в заполнителях потенциально реакционноспособных пород не допускается введение в бетон в качестве добавок солей натрия или калия.

Количество вводимых в бетон минеральных добавок должно определяться исходя из требований обеспечения необходимой долговечности бетона на уровне не ниже, чем у бетона без такого вида добавок.

Эффективность применения добавок определяют по результатам испытаний по ГОСТ 30459 и устанавливают в соответствии с критериями, в частности, для регулирующих свойства бетонных и растворных смесей, приведенными в табл. 6.

Таблица 6

Показатели основного эффекта действия и критерии эффективности класса добавок

Виды добавок	Показатели основного эффекта действия добавок	Критерий эффективности	Возможные дополнительные эффекты действия добавок	
1. Добавки, регулирующие свойства готовых к употреблению бетонных и растворных смесей				
1.1 Пластифицирующие - водоредуцирующие	Увеличение подвижности бетонной смеси от П1 (ОК=2÷4 см) или растворной смеси от ПК1 (ПК=2-4 см) при снижении прочности бетона (раствора) во все сроки твердения не более чем на 5%		При пластификации	При водоредуцировании
1.1.1 Суперпластифицирующие		От П1 до П5 От ПК1 до ПК4	Замедление схватывания смесей и твердения бетонов и растворов; повышение деформаций усадки и ползучести	Повышение прочности, снижение проницаемости; снижение деформаций усадки и ползучести бетонов
1.1.2 Сильнопластифицирующие		От П1 до П4 От ПК1 до ПК3		
1.1.3 Пластифицирующие		От П1 до П3 От ПК1 до ПК2		
1.2 Стабилизирующие	Снижение растворотделения и водоотделения тяжелой бетонной смеси с маркой по удобоукладываемости П5, растворной смеси - ПК4, легкобетонной смеси - П3	В 2 раза и более	Увеличение подвижности смесей; замедление нарастания прочности бетона	
1.3.Регулирующие сохраняемость подвижности	Увеличение или снижение времени сохраняемости подвижности смеси	В 1,5 раза и более	Изменение кинетики тепловыделения и кинетики нарастания прочности бетона; образование высолов	
1.4 Поризующие			Повышение подвижности; снижение растворо- и водоотделения смесей; повышение морозостойкости; снижение прочности; изменение водопоглощения и водонепроницаемости, снижение плотности бетонов и растворов	
1.4.1 Воздухововлекающие и газообразующие	Обеспечение увеличения объема воздуха (газа) в тяжелых, мелкозернистых, легких конструкционных бетонных и	На 1,5-5%		

	растворных смесях		
1.4.2 Воздухововлекающие, газо- и пенообразующие	Обеспечение в легких конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных смесях содержания объема воздуха (газа)	От 6% до 30%	
1.4.3 Воздухововлекающие, газо- и пенообразующие	Обеспечение в ячеистых смесях содержания объема воздуха (газа)	От 15% до 90%	
2. Добавки, изменяющие свойства бетонов и растворов			
2.1 Регулирующие кинетику твердения			
2.1.1 Ускорители	Увеличение прочности в возрасте 1 сут нормального твердения или после тепловой обработки при повышении прочности в возрасте 28 сут не более чем на 5%	На 30% и более	Образование высолов: повышение электропроводности смесей, бетонов и растворов
2.1.2 Замедлители	Снижение прочности в возрасте 3 сут при снижении прочности бетона (раствора) в возрасте 28 сут не более чем на 5%	На 30% и более	Снижение скорости тепловыделения

2.2 Повышающие прочность	Увеличение прочности в проектном возрасте	На 20% и более	Снижение проницаемости бетона и раствора
2.3 Снижающие проницаемость	Увеличение марки по водонепроницаемости	На 2 марки и более	Повышение стойкости бетона к воздействию агрессивных сред
2.4. Повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре	Повышение пассивирующего действия бетона по отношению к стальной арматуре	Обеспечение значения плотности тока пассивации стали не менее 10 mA/см2 и потенциала пассивации стали не менее минус 450 mV	Увеличение подвижности смеси; снижение проницаемости бетона; увеличение электропроводности бетона и раствора
2.5 Повышающие морозостойкость	Повышение стойкости в условиях многократного переменного замораживания и оттаивания	Повышение марки по морозостойкости на 2 ступени и более	Изменение реологических характеристик смеси; изменение прочности, проницаемости бетонов и растворов
2.6 Повышающие коррозионную стойкость			
2.6.1 Сульфатостойкость	Повышение стойкости в условиях сульфатной коррозии	По ГОСТ 27677	Изменение реологических характеристик смеси; изменение прочности, проницаемости бетонов и растворов
2.6.2 Стойкость против коррозии, вызванной реакцией кремнезема заполнителей со щелочами цемента и добавок	Снижение деформаций расширения	По ГОСТ 8269.0	
2.7 Регулирующие процессы усадки и расширения	Снижение деформаций усадки и обеспечение деформаций расширения	Деформации расширения не менее 0,2%	Повышение водонепроницаемости, прочности, трещиностойкости бетонов и растворов

3. Добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства			
3.1 Противоморозные	Обеспечение твердения при отрицательных температурах	Набор прочности при отрицательной температуре в возрасте 28 сут не менее 30% контрольного состава нормального хранения	Образование высолов; снижение времени сохраняемости удобоукладываемости смесей
3.2 Гидрофобизирующие	Снижение водопоглощения	В 2 раза и более	Замедление скорости схватывания и твердения; снижение прочности и тепловыделения; повышение морозостойкости и коррозионной стойкости бетонов и растворов
3.3 Биоцидные	Наличие биоцидности (бактерицидности и фунгицидности)	Отсутствие биокоррозии	Изменение реологических характеристик смесей; изменение прочности, проницаемости бетонов и растворов
3.4 Повышающие стойкость к высолообразованию	Предотвращение образования высолов	Отсутствие высолов	

6. КОРРОЗИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ. ЗАЩИТА АРМАТУРЫ ОТ КОРРОЗИИ

Защитное действие бетона по отношению к арматуре определяется способностью цементного камня пассивировать сталь.

Условия протекания электрохимической коррозии стали:

1) наличие разности потенциалов на поверхности металла;
2) наличие электролитической связи между участками поверхности металла с различными потенциалами;
3) активное состояние поверхности на анодных участках, где осуществляется растворение металла по реакции $nH_20 + Me \rightarrow Me^{+} \bullet nH_20 \bullet e^{-}$;
4) наличие достаточного количества деполяризатора, в частности, кислорода, необходимого для ассимиляции на катодных участках поверхности металла избыточных электронов:
   $4\ e^{-} + 0_2 + 2H_20 \rightarrow 4(OH)$.

Первое условие всегда выполняется, поскольку технические металлы имеют неоднородную структуру, неодинаковы и условия контакта поверхности стали с бетоном. Учитывая особенности бетона, представляющего собой капиллярно-пористое тело с активной и гидрофильной внутренней поверхностью, можно полагать, что условия 2 и 4 коррозионного процесса в бетоне имеют место. Действительно, бетон почти всегда содержит кроме химически связанной в процессе гидратации цемента физически связанную, т. е. капиллярную и осмотическую воду. Количество физически связанной воды в бетоне, которая в отличие от химически связанной может служить электролитом - проводником зарядов между анодными и катодными участками поверхности стали, зависит как от особенностей бетона, так и от среды и условий взаимодействия ее с конструкцией. При длительном погружении в воду может произойти практически полное насыщение капилляров и пор бетона. В этом случае водосодержание тем больше, чем выше пористость бетона;

При одностороннем контакте без напора, т. е. при капиллярном подсосе воды, степень насыщения бетона обычно ниже, так как высота всасывания воды находится в обратной зависимости от сечения капилляров. Давление насыщенного пара над мениском воды в капиллярах с радиусом более $1 \cdot 10^{-5}$ см, которые обычно называют макрокапиллярами, практически равно давлению пара над плоской поверхностью, поэтому такие капилляры не всасывают воду и могут заполняться только под напором воды или при конденсации ее, когда в бетоне образуется точка росы.

Содержание воды в бетоне при эксплуатации конструкции в воздушно-влажной среде зависит от ее относительной влажности. При влажности воздуха 100% водосодержание бетона приближается к таковому при капиллярном подсосе. С уменьшением влажности воздуха водосодержание бетона падает. Для стали в бетоне, так же как и для открытого металла, существует некоторая критическая влажность воздуха, ниже которой пленки влаги не могут обеспечить перемещение ионов между анодными и катодными участками ее поверхности. Такое критическое значение относительной влажности воздуха составляет от 50

до 60%, если бетон не содержит гигроскопических веществ, например, добавок хлористых солей, которые понижают это значение. В бетоне почти всегда достаточно влаги, необходимой для протекания процесса коррозии стали.

Что касается кислорода, то его недостаток может ограничивать процесс коррозии стали, как показали исследования, лишь при практически полном насыщении бетона водой, когда диффузия кислорода резко замедляется. В бетонах высокой плотности (при *В/Ц* < 0,5) отмечается замедление коррозии при увеличении относительной влажности воздуха сверх 80-85%. В большинстве случаев поровое пространство бетона способно пропустить вполне достаточное количество кислорода для поддержания процесса коррозии арматуры.

Скорость коррозии стали зависит от степени агрессивности воды-среды, которая для этого случая может оцениваться pH, и содержания кислорода (рис. 4). Отсутствие коррозии стали в бетоне объясняется ее пассивностью в щелочной среде, т. е. неспособностью к растворению по приведенной выше реакции. Если же по той или иной причине поверхность арматуры остается активной или неполностью пассивируется при изготовлении конструкций либо теряет пассивность в процессе эксплуатации конструкции, то происходит коррозия арматуры в бетоне.

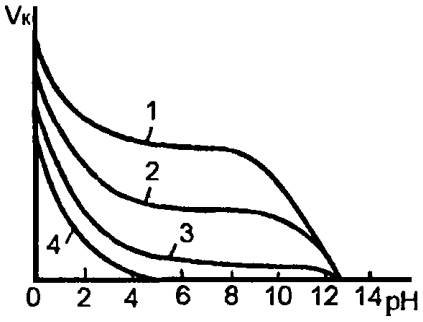

Рис. 4. Зависимость скорости коррозии стали от pH растворов (по Вилсону):
1 - при высоком содержании кислорода;
2 - то же, при среднем;
3 - то же, при низком;
4 - при отсутствии.

Для сохранения пассивности стали в бетоне необходим ее постоянный контакт с поровой жидкостью, щелочность которой должна иметь водородный показатель pH > 11,8. Это условие обычно соблюдается в плотных бетонах на портландцементе и его разновидностях (шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе), которые уже при затворении водой дают насыщенный раствор гидроксида кальция с pH>12,6. В процессе схватывания и твердения цементного теста величина pH может достигать значений 13,5-13,8, что, по-видимому, связано со значительным перенасыщением жидкой фазы, наблюдающимся в этот период и являющимся основой образования кристаллического сростка цементного камня. В затвердевшем бетоне величина pH поровой жидкости составляет 12,0-12,5, что тоже существенно больше, чем указанное выше критическое значение pH>11,8.

В обычном плотном бетоне нормального твердения, приготовленном на портландцементе, существует значительный запас гидроксида кальция,

ориентировочно составляющий 10-15% от массы цемента. Кроме того, длительно сохраняется так называемый «клинкерный фонд» в виде не полностью прогидратировавших зерен цементного клинкера, из которого могут пополняться запасы $Ca(OH)_2$ в бетоне, если они по той или иной причине израсходуются.

Если цемент содержит активные гидравлические добавки (пуццолановый и шлакопортландцемент) или добавки вводятся непосредственно в бетон, то значительная часть гидроксида кальция ими связывается. То же происходит, когда гидравлической активностью обладает заполнитель, например, пористый дробленый керамзитовый или перлитовый песок, в особенности их пылевидные фракции. Связывание гидроксида кальция значительно интенсифицируется при тепловой обработке бетона, что приводит к существенному снижению pH поровой жидкости. Особенно резко падает pH в бетонах автоклавного твердения - ячеистых и силикатных, где высокая прочность достигается за счет глубокого связывания гидроксида кальция с кремнеземом молотого песка, золы, шлака. В бетонах автоклавного твердения после одного года хранения в естественных атмосферных условиях и при периодическом увлажнении уже можно наблюдать полное поражение коррозией поверхности арматуры. Особое внимание следует уделить влиянию добавок хлористых солей, поскольку, даже несмотря на высокое значение pH поровой жидкости в цементных бетонах нормального твердения, присутствие в ней ионов хлора нарушает пассивное состояние поверхности стали (рис. 5).

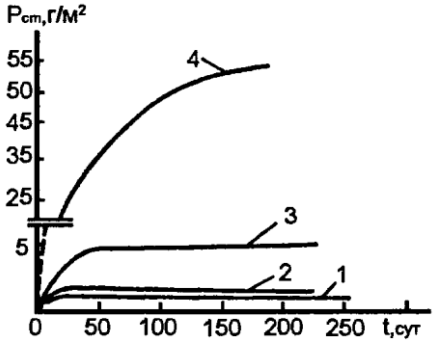

Рис. 5. Кинетика коррозии стали $P_{ст}$ в образцах:

1 - непропаренных;

2 - то же, с добавкой 2% $CaCl_2$ и 1% $NaNO_3$;

3 - то же, с добавкой 2 % $CaCl_2$;

4 - пропаренных с добавкой 2 % $CaCl_2$

Однако в некоторых условиях можно не опасаться развития коррозии арматуры в бетоне с добавками хлористых солей. Хлориды способны образовывать с алюминатами цемента слаборастворимые комплексные соли - гидрохлоралюминаты. Поэтому небольшое количество хлористого кальция, добавленного при затворении бетона, может быть практически полностью связано и не вызывать нарушения пассивности стали. Но необходимо учитывать, что это допустимое количество тем меньше, чем ниже алюминатность цемента и больше содержание в нем гипса, так как последний связывается с алюминатами в первую очередь. Кроме того, связывание хлоридов в гидрохлоралюминаты резко замедляется при тепловой обработке бетона. Если учесть, что при этом

понижается pH поровой жидкости, то очевидно, что применения добавок хлоридов при тепловой обработке бетона следует избегать. Наконец, если говорить о влиянии составляющих бетон материалов на его способность пассивировать сталь, то необходимо учитывать особенности заполнителей на основе шлаков и зол. Эти заполнители, как правило, содержат водорастворимые соединения серы в виде сульфатов и сульфидов, способные к химическим превращениям в бетоне, а также часто несгоревшие частицы угля, которые могут играть роль эффективных катодов при непосредственном контакте с поверхностью арматуры.

Сульфат-ионы, хотя и в значительно меньшей степени, чем хлор-ионы, могут также нарушать пассивность стали. В процессе химических превращений сульфидов в бетоне возможно образование сероводорода, который при соответствующих условиях, взаимодействуя с поверхностью стали, может вызвать развитие водородной хрупкости в напряженной высокопрочной арматуре.

Известно, что свойства бетона меняются с течением времени под действием среды. Во влажных условиях бетон длительно набирает прочность, его структура уплотняется. В сухих условиях этого не происходит. При периодическом замораживании и оттаивании, увлажнении и высушивании, нагревании и охлаждении происходит расшатывание структуры, разрыхление, вплоть до частичного или полного разрушения бетона. Разрушающе действуют на бетон многие жидкие и газообразные среды. Явления коррозии бетона были рассмотрены выше. Естественно, что если под влиянием тех или иных внешних воздействий защитный слой бетона у арматуры разрушается, то прекращается и его пассивирующее действие.

Однако многие среды, не агрессивные или слабоагрессивные к бетону, агрессивны по отношению к стали, например, воздушно-влажная среда, которая по той или иной причине не является пассивной. Аналогично действует периодическое увлажнение даже пресной, не агрессивной к бетону водой. Необходимо подчеркнуть, что до тех пор, пока сталь в бетоне находится в пассивном состоянии, эти воздействия не вызывают ее коррозии.

Рассмотрим причины потери способности пассивировать сталь у бетона, который первоначально обладал ею в полной мере, т. е. плотного бетона на портландцементе без добавок хлоридов. Нарушение пассивности арматуры в таком бетоне связано преимущественно с внешними воздействиями, в результате которых у поверхности арматуры в бетоне падает pH поровой жидкости либо появляются хлор-ионы. Снижение pH бетона связано с уменьшением концентрации $Ca(OH)_2$, которое может произойти либо вследствие ее выщелачивания (вымывания) фильтрующейся через бетон или омывающей его водой, либо в результате нейтрализации кислыми жидкостями и газами.

Нейтрализация бетона - очень распространенный вид взаимодействия его со средой. Наиболее характерным примером является карбонизация бетона надземных конструкций содержащимся в атмосфере углекислым газом, которая в промышленных районах сопровождается нейтрализацией другими кислыми газами (SO_2, H_2S и др.).

Наибольшая скорость карбонизации бетона наблюдается при относительной влажности воздуха 50-60%, когда пленочной влаги в порах достаточно для осуществления реакции и в то же время микрокапиллярные поры не заполнены водой. При относительной влажности воздуха 25% карбонизация практически прекращается из-за недостатка влаги в бетоне. То же происходит при относительной влажности, близкой к 100%, когда в микропорах происходит капиллярная конденсация водяного пара и их диффузионная проницаемость снижается на несколько порядков. При температуре ниже 0°С, когда вода превращается в лед, карбонизация практически прекращается. С повышением температуры процесс карбонизации бетона ускоряется, что объясняется облегчением диффузии углекислоты.

Характерной особенностью действия углекислоты на бетон является то, что она в отличие от некоторых других кислых газов и жидкостей не вызывает разрушения структуры бетона, хотя при карбонизации объем твердой фазы может увеличиваться на 17% по отношению к объему исходной $Ca(OH)_2$, а это приводит к некоторому уплотнению структуры бетона. По-видимому, поры геля и отчасти микрокапилляры могут быть в результате карбонизации полностью закрыты.

В отличие от углекислоты при действии на бетон SO_2 вслед за сильным уплотнением структуры образующимся гипсом, что вызывает даже заметное возрастание прочности, наступает ее разрушение, которое выражается в шелушении поверхности бетона. Такое действие, очевидно, связано с более значительным, чем при карбонизации, увеличением объема твердой фазы, имеющим место в этом случае.

Хлористый водород разрушает бетон полностью, поскольку образующиеся при взаимодействии его с продуктами гидратации цемента хлористые соли хорошо растворимы и не обладают вяжущими свойствами.

Из трех основных элементарных процессов: диффузии углекислого газа в порах бетона, диффузии гидроксида кальция в пленке влаги на поверхности пор и химической реакции между ними - наиболее медленным в плотном бетоне является диффузия CO_2, которая и определяет скорость процесса в целом, а также его послойный характер. Естественно, что при малой относительной влажности воздуха (≤ 25%) и соответственно сухом бетоне карбонизация его ограничивается уже не диффузией CO_2, а диффузией $Ca(OH)_2$ и, возможно, химической реакпией между ними (рис. 6).

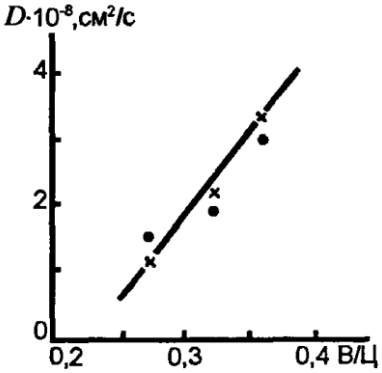

Рис. 6. Зависимость коэффициента диффузии D цементного камня от В/Ц

Для описания процесса карбонизации бетона в нормальных влажностных условиях можно использовать уравнение диффузии Фика и получить хорошо совпадающую с экспериментальными данными формулу для расчета глубины карбонизации:

$$x = \sqrt{\frac{2 * D * c_0}{m_0}} * t,$$

где D – эффективный коэффициент диффузии CO_2 в карбонизационном слое бетона, зависящий от величины и характера пористости;

C_0 – концентрация углекислоты в воздухе;

m_0 – количество CO_2, которое может быть поглащено единицей объема бетона;

t - время.

Таким образом, глубина карбонизации зависит от концентрации $C0_2$, степени проницаемости структуры бетона, т. е. от водоцементного отношения, характера заполнителей и добавок, условий твердения и влажности бетона, а также от вида и расхода вяжущего, определяющих «буферную емкость» бетона - содержание CaO в единице его объема. Приведенная формула позволяет определить продолжительность карбонизации бетона в защитном слое определенной толщины или же назначить толщину и плотность бетона в защитном слое, обеспечивающие требуемый срок сохранения критических значений pH у поверхности арматуры в данных условиях эксплуатации.

Используя зависимость процесса карбонизации от концентрации углекислоты, можно прогнозировать его ход на основании ускоренных испытаний образцов бетона при повышенной концентрации CO_2 с помощью формулы:

$x_1=x_{2*}(c_1t_1/(c_2t_2))^{0,5}$,

где x_1 и x_2 - глубины карбонизации соответственно при концентрации углекислоты в воздухе c_1 и c_2 в течение времени t_1 и t_2.

Приведенные уравнения применимы к бетону с относительно однородной плотной структурой. Наличие межзерновой пустотности, связанное с недостатком растворной составляющей или с ее неравномерным распределением в бетоне при плохом уплотнении смеси, резко облегчает диффузию CO_2 в глубь бетона. Крупные пустоты в бетоне позволяют углекислоте практически беспрепятственно проникать в слои, непосредственно контактирующие с арматурой, и приводят к быстрому нарушению ее пассивности. При применении некоторых легких бетонов, обладающих высокой пористостью и наличием сравнительно крупных пор, необходимо особо устанавливать возможность коррозии стали и применять меры, обеспечивающие ее сохранность.

По диффузионной проницаемости бетона можно прогнозировать долговечность конструкции из условий сохранности арматуры. В табл. 8 приведен пример расчета длительности защитного действия для различных составов легкого бетона, выполненного на основании экспериментальных данных. Как видно из данных табл. 8, диффузионная проницаемость бетона, которая зависит от состава бетона и свойств использованных материалов, позволяет не только

качественно сравнить составы бетона, но и количественно оценить их защитную способность.

Таблица 8

Изменение эффективного коэффициента диффузии в зависимости от крупности и влажности заполнителя

Керамзитобетон на песке	Расход цемента, кг/м^3	Эффективный коэффициент диффузии CO_2 в бетоне $D' \cdot 10^{-4}$, см^2/с			Продолжительность, годы, периода нейтрализации защитного слоя бетона толщиной 20 мм на керамзите		
		с максимальной крупностью гравия, мм		на влажном керамзите с максимальной крупностью гравия 20 мм	сухом при крупности		влажном
		20	10		5-10	5-20	5-20
Пористом	300	0,72	0,54	5,1	>100	58	6
Кварцевом	300	2,28	0,89	6,5	>57	35	12
Пористом	380	0,7	0,16	4,99	>100	90	13
Кварцевом	380	2,92	0,35	5,9	>100	50	15

Обеспечить сохранность арматуры в тяжелых и легких бетонах можно повышением плотности самих бетонов, уменьшением их проницаемости, повышением их защитных свойств путем введения ингибирующих и уплотняющих добавок. Однако существуют бетоны, которые не могут обеспечить сохранности арматуры, так как имеют пониженное pH поровой жидкости бетона. К таким бетонам относятся цементные или силикатные бетоны автоклавного твердения, бетоны на гипсоцементнопуццолановом вяжущем и др. Сохранность арматуры в таких бетонах обеспечивается нанесением на арматуру специальных покрытий: цементно-битумных, цементно-полисти-рольных, цементно-латексных.

Если названных, мер защиты недостаточно для обеспечения долговечности железобетонной конструкции, то необходимо применять специальные защитные покрытия по бетону, которые рекомендуются Строительными нормами по защите строительных конструкций от коррозии (СНиП 2.03.11-85).

7. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Конструктивно-теплоизоляционные легкие и ячеистые бетоны в ограждающих конструкциях зданий с агрессивными средами имеют ограниченную область применения. Область применения и требования к таким конструкциям приведены в табл. 7.

Таблица 7

Степень агрессивного воздействия среды в помещении	Требования к защите ограждающих конструкций	
	из легких бетонов (плотной и поризованной структур)	из ячеистых бетонов автоклавного твердения на цементном или смешанном вяжущем
Слабоагрессивная	Применение конструкций допускается при наличии изолирующего слоя из тяжелого или легкого конструкционного бетона со стороны воздействия агрессивной среды	Применение конструкций допускается при защите арматуры специальными покрытиями и поверхности бетона пароизолирующим лакокрасочным покрытием
Среднеагрессивная	Применение конструкций допускается при наличии изолирующего слоя из тяжелого или легкого конструкционного бетона с лакокрасочным покрытием со стороны воздействия агрессивной среды	Не допускается к применению
Сильноагрессивная	Не допускается к применению	То же

В зданиях с влажным или мокрым режимом помещений при наличии в качестве агрессивного компонента только углекислого газа (например, производственные помещения животноводческих зданий) допускается применение ограждающих конструкций из легких и ячеистых бетонов с защитными мерами, как для слабоагрессивной среды, табл. 7.

Кроме того, в конструкциях из легких бетонов можно заменить изолирующий слой на фактурный (однослойные конструкции) при толщине защитного слоя бетона не менее 30 мм.

При этом необходимо применять следующие дополнительные защитные меры:

- в слабоагрессивной среде в бетонную смесь следует вводить ингибиторы коррозии стали или наносить на поверхность конструкции со стороны помещения цементно-латексное покрытие толщиной 2 мм;
- в среднеагрессивной среде защиту конструкций следует осуществлять одним из следующих способов: введением в бетонную смесь ингибиторов коррозии стали с гидрофобизацией внутренней поверхности конструкций кремнийорганическими жидкостями; цементно-латексным покрытием конструкций со стороны помещения толщиной 3 мм; защитой стальной арматуры специальными обмазками при гидрофобизации внутренней поверхности конструкций кремнийорганическими жидкостями.

Одним из эффективным способовулучшения эксплуатационных свойств и долговечности изделий из ячеистых бетонов является введение гидрофобных добавок. Это обеспечивает уменьшение скорости водопоглощения ячеистых бетонов.

Одним из способов повышения качества и снижения себестоимости изделии из ячеистых бетонов является введение в состав бетона карбонатных мнкроиаполнителей взамен части портландцемента. Карбонатные микронаполнители, взаимодействуя с гидратирующимися клинкерными составляющими цемента, активно участвуют в формировании структуры цементного камня, происходит уменьшение водопоглощения, увеличение коэффициента размягчения и морозостойкости ячеистых бетонов.

8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа магистров по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ». по направлению 08.04.01 Строительство. Направленность (профиль) подготовки «Долговечность и эксплуатационная надежность строительных конструкций зданий и сооружений» выполняется на 2 курсе в третьем семестре .

Целью выполнения курсовой работы является формирование у обучающихся умений выполнять рациональный выбор, оптимизацию состава и свойств минеральных вяжущих, способов повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на их основе в условиях воздействия определенных эксплуатационных факторов; владения методами и средствами повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ.

Порядок выполнения курсового проекта

При выполнении курсовой работы обучающийся составляет расчетно-пояснительную записку (объёмом до 40 страниц машинописного текста) содержащее обоснованное инженерное решение по поставленному заданию, которое выдается обучающемуся преподавателем индивидуально. В задании формулируются задачи, относящиеся к темам «Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций» и «Стойкость цементного камня и бетонов к воздействию агрессивных сред» раздела 2 «Влияние эксплуатационных факторов на долговечность строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ, методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ» дисциплины. В расчетно-пояснительной записке приводится описание принятых технических решений, подтверждённых расчётами, которые могут включать рисунки в виде графиков и диаграмм.

Этапы выполнения курсовой работы включают:

1) Составление расчётно-пояснительной записки (объем до 40 страниц машинописного текста), включающей титульный лист, выданное задание, содержание, введение, теоретическое обоснование решаемой задачи, расчетная часть, графическая часть, заключение, перечень использованной литературы (Поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм; сверху, снизу – 20 мм; шрифт – TimesNewRoman, размер – 14; междустрочный интервал – одинарный)).

2) Сдача на проверку и защита курсовой работы по итогам доклада (7-10 минут) по подготовленной презентации (в формате PowerPoint).

Примеры выполнения заданий и расчетов для выполнения курсовой работы приведены в приложениях 1, 2, 3.

9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Изучение дисциплины предполагает не только выполнение аудиторных лекционных и практических занятий, но и самостоятельную работу студентов (СРС). СРС представляет собой вид занятий, который каждый студент организует и планирует самостоятельно. Согласно утвержденным рабочим учебному плану и программе дисциплины «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ рабочей» фонд времени на выполнение СРС составляет 126 часов и включает самостоятельное изучение разделов; проработку и повторение лекционного материала; чтение учебников, дополнительной литературы, работу со справочниками, ознакомление с нормативными и методическими документами; написание и подготовку к защите курсовой работы и реферата; подготовку к коллоквиумам и экзамену,

Выполнение реферата

На первых двух аудиторных занятиях каждому студенту выдается тема реферата (тематика рефератов прилагается), объясняется порядок составления реферата, выдается примерный план реферата, образец оформления титульного листа. Каждый студент самостоятельно работает с картотекой библиотеки, подбирает материалы по теме реферата с использованием необходимой научно – технической литературы и периодических изданий, электронной базы данных нормативно-технических документов по строительству ПО «Кодекс» размещенной на внутренних сетевых ресурсах Казанского государственного архитектурно – строительного университета, информационных ресурсов сети Интернет составляет конкретизированный план своего реферата. Подготовленные материалы студент согласовывают с ведущим преподавателем и только после этого приступает к непосредственному написанию реферата.

Темы рефератов выдаются в начале семестров. Реферат сдается преподавателю не позднее одного месяца до завершения семестра.

Реферат печатается на одной стороне листа формата А4; объем реферата не менее 15 стр. и не более 25 стр. машинописного текста; поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм; сверху, снизу – 20 мм; шрифт – TimesNewRoman, размер – 14; междустрочный интервал – одинарный с соблюдением правил составления расчетно-пояснительных записок и рефератов в КГАСУ и требованиями ЕСКД. Страницы нумеруются. Первая страница – титульный лист реферата. Нумерация таблиц и рисунков сквозная по тексту реферата: таблица 1, таблица 2, таблица 3 и т.д.; рисунок 1, рисунок 2, рисунок 3 и т.д.

Темы для подготовки рефератов

1. **Активные минеральные добавки при производстве водостойких гипсовых вяжущих** (минеральные добавки для вяжущих веществ – природные, искусственные,

на основе промышленных отходов; органо-минеральные добавки; виды водостойких гипсовых вяжущих с активными минеральными добавками; основные физико-механические свойства водостойких гипсовых вяжущих с активными минеральными добавками; особенности твердение водостойких гипсовых вяжущих с активными минеральными добавками, структура искусственного камня на основе водостойких гипсовых вяжущих с активными минеральными добавками; основная и ускоренная методики определения количества активной минеральной добавки в составе ГЦПВ).

2. **Гипсоцементнопуццолановые вяжущие (ГЦПВ), растворы и бетоны на их основе** (сырьевые компоненты для получения ГЦПВ; особенности твердения ГЦПВ; структура искусственного камня на основе ГЦПВ; основные физико-механические свойства ГЦПВ, бетонов и растворов на их основе; методика проектирования состава тяжелого бетона на основе ГЦПВ; области применения ГЦПВ, бетонов и растворов на их основе).
3. **Гипсошлакоцементнопуццолановые вяжущие (ГШЦПВ), растворы и бетоны на их основе.** (сырьевые компоненты для получения ГШЦПВ; виды доменных гранулированных шлаков, применяющихся в качестве активной минеральной добавки для получения минеральных вяжущих веществ, особенности твердения ГШЦПВ; структура искусственного камня на основе ГШЦПВ; основные физико-механические свойства ГШЦПВ, бетонов и растворов на их основе; методика проектирования состава тяжелого бетона на основе ГШЦПВ; области применения ГШЦПВ, бетонов и растворов на их основе).
4. **Композиционные гипсовые вяжущие (КГВ), растворы и бетоны на их основе** (сырьевые компоненты для получения КГВ; особенности твердения КГВ; структура искусственного камня на основе КГВ; основные физико-механические свойства КГВ, бетонов и растворов на их основе; методика проектирования состава тяжелого бетона на основе КГВ; области применения КГВ, бетонов и растворов на их основе).
5. **Активные минеральные добавки при производстве цементов** (минеральные добавки для вяжущих веществ – природные, искусственные, на основе промышленных отходов; органо-минеральные добавки; цементы и бетоны с активными минеральными добавками; бетоны с кремнеземсодержащими минеральными добавками; стойкость бетонов с активными минеральным добавками, их защитные свойства по отношению к арматуре).
6. **Морозостойкость бетонов** (влияние условий твердения и длительности выдержки бетонов до замораживания на морозостойкость бетонов, влияние температуры замораживания на прочность бетонов, влияние технологических факторов на морозостойкость бетонов, методики испытаний бетонов на морозостойкость, особенности проектирования морозостойкого бетона).
7. **Коррозия цементного камня I вида и меры борьбы с ней** (агрессивные среды, вызывающие коррозию цементного камня I вида; процессы, протекающие в цементном камне при коррозии I вида; влияние состава цемента и технологических факторов на стойкость бетона к коррозии I вида; особенности коррозии I вида различных бетонных и железобетонных сооружений и меры борьбы с ней).
8. **Коррозия цементного камня II вида и меры борьбы с ней** (агрессивные среды, вызывающие коррозию цементного камня II вида; процессы, протекающие в цементном камне при коррозии II вида; влияние вида цемента и степени агрессивности среды на стойкость бетона к коррозии II вида; особенности коррозии II вида различных бетонных и железобетонных сооружений и меры борьбы с ней).
9. **Коррозия цементного камня III вида и меры борьбы с ней** (агрессивные среды, вызывающие коррозию цементного камня III вида; процессы, протекающие в цементном камне при коррозии III вида; влияние вида цемента и степени агрессивности среды на стойкость бетона к коррозии III вида; особенности коррозии III вида различных бетонных и железобетонных сооружений и меры борьбы с ней).

10. **Щелочная коррозия бетонов и меры борьбы с ней** (признаки щелочной коррозии бетонов; источники щелочных соединений в бетоне; виды реакционноспособных заполнителей в бетонах; механизм щелоче-силикатных реакций в бетонах; методы испытания реакционной способности заполнителей; меры борьбы с щелочной коррозией бетонов).
11. **Коррозия арматуры в железобетоне и меры борьбы с ней** (агрессивные факторы, вызывающие коррозию арматуры в железобетоне; влияние вида арматуры на ее коррозионную стойкость; защитное действие бетона по отношению к арматуре; меры для обеспечения сохранности арматуры в бетонах).
12. **Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в напряженном состоянии** (влияние вида напряженного состояния железобетонных конструкций на их коррозионную стойкость, влияние напряженного состояния бетона на его стойкость, влияние режима действия агрессивной среды и ее состава на деформативные и прочностные свойства железобетонных конструкций, влияние агрессивной среды на коррозионную стойкость предварительно-напряженных железобетонных конструкций, конструктивные методы повышение стойкости железобетонных конструкций).
13. **Коррозия бетонов в морских гидротехнических сооружениях** (сырьевые компоненты для получения бетонов для гидротехнических сооружений; особенности твердения бетонов для гидротехнических сооружений; структура искусственного камня бетонов для гидротехнических сооружений; основные физико-механические свойства бетонов для гидротехнических сооружений; влияние химического состав морской воды на коррозионную стойкость бетона, влияние климатических условий на коррозионную стойкость бетона в морских гидротехнических сооружениях, особенности процессов коррозии бетона в морской воде, меры борьбы с коррозией и повышения долговечности изделий и конструкций бетонов для гидротехнических сооружений).
14. **Биологическая коррозия бетона** (агрессивные факторы, вызывающие биологическую коррозию бетонных и железобетонных изделий и конструкций; процессы, протекающие при биологической коррозии бетона; особенности биологической коррозии в канализационных сооружениях; меры защиты бетонов от биологической коррозией).
15. **Повышение долговечности тяжелых силикатных бетонов автоклавного твердения** (сырьевые компоненты для получения тяжелых силикатных бетонов; особенности твердения тяжелых силикатных бетонов; структура искусственного камня на основе тяжелых силикатных бетонов; основные физико-механические свойства тяжелых силикатных бетонов; области применения тяжелых силикатных бетонов; агрессивные среды, вызывающие коррозию изделий и конструкций из тяжелых силикатных бетонов; процессы, протекающие при коррозии тяжелых силикатных бетонов; меры борьбы с коррозией и повышения долговечности изделий и конструкций из тяжелых силикатных бетонов).
16. **Повышение долговечности силикатных газобетонов автоклавного твердения** (сырьевые компоненты для получения силикатных газобетонов; особенности твердения силикатных газобетонов; структура искусственного камня на основе силикатных газобетонов; основные физико-механические свойства силикатных газобетонов; области применения силикатных газобетонов; агрессивные среды, вызывающие коррозию изделий и конструкций из силикатных газобетонов; процессы, протекающие при коррозии силикатных газобетонов; меры борьбы с коррозией и повышения долговечности изделий и конструкций из силикатных газобетонов).
17. **Жаростойкие бетоны** (сырьевые компоненты для получения жаростойких бетонов; особенности твердения жаростойких бетонов; структура искусственного камня на основе жаростойких бетонов; основные физико-механические свойства

жаростойких бетонов; влияние высоких температур на свойства жаростойких бетонов; особенности подбора состава жаростойких бетонов.

Примерный план составления реферата

Титульный лист
Содержание
Введение
Разделы реферата в соответствии с заданием
Заключение
Список использованных источников

Рекомендуемая литература для подготовки реферата

Учебники, справочники, монографии по заданной теме реферата по библиотечному каталогу КГАСУ и в электронной библиотечной системе «ЭБС IPRbooks».

Журналы: «Строительные материалы», «Бетон и железобетон», «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», «Кровельные и изоляционные материалы», «Сухие строительные смеси», «Технологии бетонов», «Стекло и керамика» и др.

Образец титульного листа реферата

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра строительных материалов

РЕФЕРАТ

по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ»

НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ

Выполнил: ст-т гр. №..Ф.И.О.
Фамилия И.О.
Проверил: к.т.н., доцент
Халиуллин М.И. .

Казань, 201__

Задания для самостоятельной работы

Вопросы

1. Химический, минеральный, фазовый состав строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ.
2. Макроструктура строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ.
3. Физико-химические методы оценки состава и структуры строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ: петрографический метод, электронная микроскопия.
4. Физико-химические методы оценки состава и структуры строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ: рентгенографический анализ, спектральный анализ (инфракрасная спектроскопия).
5. Химико-минералогический состав портландцемента.
6. Особенности процесса твердение портландцемента.
7. Материалы для изготовления бетонов: пуццолановый портландцемент, состав, основные свойства, области применения.
8. Материалы для изготовления бетонов: шлакопортландцемент, состав, основные свойства, области применения.
9. Материалы для изготовления бетонов: пластифицированный и гидрофобный портландцемент, состав, основные свойства, области применения.
10. Материалы для изготовления бетонов: быстротвердеющий портландцемент и быстротвердеющий шлакопортландцемент, состав, основные свойства, области применения.
11. Материалы для изготовления бетонов: расширяющиеся и безусадочные цементы, состав, основные свойства, области применения.
12. Материалы для изготовления бетонов: мелкий заполнитель, основные требования к мелким заполнителям для приготовления бетонов.
13. Материалы для изготовления бетонов: крупный заполнитель, основные требования к крупным заполнителям для приготовления бетонов.
14. Классификация бетонов.
15. Основные свойства бетона и бетонной смеси.
16. Виды строительных растворов.
17. Основные свойства растворных смесей и растворов.
18. Специальные бетоны: высокопрочный, гидротехнический, жаростойкий, дорожный, кислотоупорный.
19. Специальные бетоны: быстротвердеющий, мелкозернистый, для защиты от радиоактивных излучений.
20. Водостойкость гипсовых материалов и способы ее повышения.
21. Водостойкие гипсовые вяжущие. Гипсоцементнопуццолановые, композиционные гипсовые вяжущие.
22. Твердение неводостойких гипсовых вяжущих веществ.

23. Твердение водостойких гипсовых вяжущих веществ.
24. Коррозионная стойкость гипсобетонов на водостойких гипсовых вяжущих.
25. Бетоны и изделия на основе гипсоцементнопуццолановых и композиционных гипсовых вяжущих.
26. Коррозия цементного камня первого вида, меры борьбы с ней.
27. Коррозия цементного камня второго вида, меры борьбы с ней.
28. Коррозия цементного камня третьего вида, меры борьбы с ней.
29. Коррозия арматуры в бетоне. Методы борьбы.
30. Жаростойкий бетон. Состав и компоненты.
31. Огнезащитные покрытия для бетонных конструкций.
32. Морозостойкость бетона. Методы испытания бетонов на морозостойкость.
33. Зимнее бетонирование.
34. Строительные растворы для зимних работ.
35. Биологическая коррозия цементного бетона и меры борьбы с ней.
36. Коррозия бетона в канализационных сооружениях.
37. Прогнозирование глубины разрушения бетона при коррозии.
38. Коррозионная стойкость цементного камня и бетона при совместном воздействии механических напряжений и агрессивных сред.

Задачи

1. Сколько потребуется пластифицирующей добавки СДБ для пластификации 5 т строительного гипса? Пластифицирующая добавка СДБ содержит 40% твердого вещества и 60% воды. Установлено, что количество добавки СДБ должно быть 0,3% от массы гипса, считая СДБ на сухое вещество.

2. Смешанный гипс состоит из 75% строительного гипса и 25% доменного шлака. Определить расход материалов для изготовления 1 т вяжущего.

3. Определить массу ангидритового цемента, которую можно получить из 1 т гипсового камня при использовании в качестве катализатора 5% извести-кипелки от массы ангидрита.

4. Определить величину водогипсового отношения, если при затворении 400 т строительного гипса использовано 200, 240 и 260 $см^3$ воды.

5. Определить количество связанной воды в % при полной гидратации 1 т полуводного гипса.

6. Определить ориентировочную пористость литых гипсовых образцов, полученных из строительного гипса следующего состава: $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$-89%, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$-5% при водогипсовом отношении, равном 0,6. Плотность образцов принять 2,3 $г/см^3$

7. Сколько потребуется опоки с естественной влажностью 8% для получения 5 т ГЦПВ? Состав смешанного вяжущего: полуводного гипса - 50%, портландцемента - 25%, опоки - 25%.

8. Для изготовления ГЦПВ используется 65% строительного гипса, 15% портландцемента и 20% диатомита. Определить потребность в материалах для производства ГЦПВ объемом 10000 т в год. Производственные потери составляют: для гипса - 3%, портландцемента - 2%, диатомита - 1%.

9. Определить потребность в гидравлических добавках и гипсе для завода, выпускающего 1000000 т пуццоланового портландцемента в год, при содержании гидравлической добавки в цементе 35%, а гипсового камня 5% от массы клинкера. Влажность добавки 15%, а гипсового камня - 10%. Производственными потерями пренебречь.

10. Подобрать необходимое количество минеральной добавки активностью 300 мг/л для приготовления ГЦПВ с использованием пуццоланового портландцемента. Построить график зависимости концентрации окиси кальция в препаратах от количества добавки по массе.

Табл. 1

Состав препаратов

Наименование материала	Количество материала для приготовления препаратов (номер препарата), г		
	1	2	3
Полуводный гипс	4,0	4,0	4,0
Пуццолановый портландцемент	2,5	2,5	2,5
Активная минеральная добавка	0,65	1,25	1,9

Табл. 2

Показатели концентрации окиси кальция при испытаниях препаратов

Время выдерживания, в сут.	Препараты (номер препарата)		
	1 (0,65 г добавки)	2 (1,25 г добавки)	3 (1,9 г добавки)
5	1,28	1,03	0,97
7	1,23	0,93	0,84

11. Определить состав конструкционного тяжелого бетона на водостойком гипсовом вяжущем марки по прочности на сжатие М150. Жесткость бетонной смеси – 15 с. Начало схватывания не ранее 30 минут.

Характеристика материалов:

- водостойкое гипсовое вяжущие марки 150 на основе строительного гипса, истинная плотность $\rho_{вяж}$ = 2,7 г/см^3;
- количество добавки – замедлителя схватывания ВРП-1 – 0,02 % от массы вяжущего;
- наибольшая крупность щебня $D_{нб}$ = 20 мм, истинная плотность $\rho_{щ}$ = 2,5 г/см^3, насыпная плотность $\rho_{н.щ}$ = 1,43 т/м^3, пустотность П = 43%;
- песок с модулем крупности $M_{кр}$ = 2,5, истинной плотностью $\rho_{п}$ = 2,65 г/см^3, насыпной плотностью $\rho_{н.п}$ = 1,6 т/м^3.

12. Определить состав конструкционного керамзитобетона на водостойком гипсовом вяжущем марки по средней плотности D 1100, марки по прочности на сжатие М10. Жесткость бетонной смеси – 5…10 с. Начало схватывания не ранее 25 минут.

Характеристика материалов:

- водостойкое гипсовое вяжущее марки 150 на основе строительного гипса, нормальная густота *НГ* = 50%.

– количество добавки – замедлителя схватывания винной кислоты – 0,05 % от массы вяжущего;
– керамзитовый гравий с наибольшей крупностью $D_{нб}$ = 20 мм, водопоглощением $w^{к}_{погл}$ = 33%, насыпной плотностью $\rho_к$ = 500 кг/м^3;
– песок керамзитовый с насыпной плотностью $\rho_{н.п}$ = 900 кг/м^3. Доля песка в общей смеси заполнителя r = 0,2.

13. Сколько потребуется пластифицирующей добавки для пластификации 1 т портландцемента. Добавка содержит 10% твердого вещества и 90% воды. Установлено, что количество пластифицирующей добавки должно быть 0,2% от массы цемента в расчете на твердое вещество.

14. Какое количество гидрофобной добавки - мылонафта потребуется для получения 1 т гидрофобного портландцемента с минеральными добавками. Установлено, что при помоле клинкера необходимо вводить 0,25% мылонафта, 5% двуводного гипса, 10% трепела от массы клинкера

15. Цементный завод выпускает пластифицированный и гидрофобный портландцементы. Определить потребность в пластифицирующей и гидрофобной добавках для выпуска 250,0 тысяч т в год каждого вида цемента, если известно, что добавки составляют, соответственно, 0,20% и 0,05% от массы цемента. Влажность добавок, соответственно, 10 и 15%.

16. Сколько потребуется ввести пластифицирующей гидрофильной добавки для получения 20 т пластифицированного шлакопортландцемента. Пластифицирующая добавка СДБ содержит 50% твердого вещества и 50% воды. Установлено, что количество добавки СДБ должно составлять 0,2% от массы цемента, считая СДБ на сухое вещество.

17. Определить пористость цементного камня при водоцементном отношении В/Ц=0,6, если химически связанная вода составляет 16% от массы цемента, плотность которого 3,1 г/см^3.

18. Определить пористость в цементном камне, изготовленном из шлакопортландцемента, если тесто содержит 40% воды, а для прохождения реакций при твердении требуется 18% воды. Истинная плотность ШПЦ - 2,95г/см^3.

19. Какое количество мылонафта, гипса, шлака и клинкера потребуется для получения 10 т гидрофобного ШПЦ. Установлено, что при помоле нужно вводить в мельницу 0,15% мылонафта от массы клинкера, 5% двуводного гипса и 20% шлака.

20. Приготовить 1 т известково-трепельного цемента, если трепел имеет в своем составе 70% SiO_2 , а гидратная известь - 85% CaO. Предполагается, что соединение имеет формулу $CaO{\cdot}SiO_2{\cdot}2H_2O$.

21. Сколько требуется добавить активной гидравлической добавки к 10 т клинкера портландцемента марки 500, и какую марку пуццоланового портландцемента можно получить, если добавка содержит 70% активного кремнезема, а клинкер - 60% трехкальциевого силиката ($3CaO{\cdot}SiO_2$).

22. Для изготовления шлакопортландцемента используется 55% клинкера, 40% доменного гранулированного шлака и 5% гипсового камня. Определить

потребность в материалах для производства шлакопортландцемента объемом 1000000 т в год. Производственными потерями пренебречь.

23. Определить глубину коррозии бетона через 20 лет. Построить график процесса коррозии бетона.

Данные для выполнения расчета:

- содержание CaO в портландцементе – 60 %;
- расход цемента – 350 кг/м^3;
- количество прореагировавшего цементного камня в пересчете на CaO, отнесенное к единице реагирующей поверхности образцов в возрасте 30 суток, P_{CaO}^{30} = 0,1 г/см^2;
- количество прореагировавшего цементного камня в пересчете на CaO, отнесенное к единице реагирующей поверхности образцов в возрасте 60 суток, P_{CaO} = 0,16 г/см^2.

10. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТАМИ

Основная литература

1. Коррозия строительных материалов [Электронный ресурс]: монография/ В.Н. Вернигорова [и др.].— Электрон. текстовые данные. — М.: Палеотип, 2007. — 175 с. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/48677 — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Семенов В.С. Неорганические вяжущие вещества [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Семенов В.С., Сканави Н.А., Ефимов Б.А. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 110 с. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/46048.
3. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов): Учебник под общей ред. В.Г. Микульского, Г.П. Сахарова – М.: Изд-во АСВ, 2007. - 520 с. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.

Дополнительная литература

1. Рубцова В.Н. Коррозия бетона в жидких агрессивных средах [Электронный ресурс]: методические указания/ Рубцова В.Н.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный уни-верситет, ЭБС АСВ, 2014.— 12 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/51535— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Зарубина Л.П. Защита зданий, сооружений, конструкций и оборудования от коррозии. Биологическая защита [Электронный ресурс]: материалы, технология, инструменты и оборудование/ Зарубина Л.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2015.— 224 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/40229. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
3. Дворкин Л.И. Специальные бетоны [Электронный ресурс]/ Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2013.— 368 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/13550— ЭБС «IPRbooks», по паролю.

Учебно-методические пособия

1. Долговечность строительных материалов [Текст] : учеб.пособие / Рахимов, Р.З., Алтыкис, М.Г. - 2-е изд., перераб. и доп. - Казань : КГАСУ, 2005. - 113с.
2. Камалова З.А. Химия, техника и технология вяжущих веществ: Учебное пособие / З.А. Камалова, Р.З. Рахимов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2015. – 321 с.
3. Халиуллин М.И. Методические указания к выполнению практических занятий, курсовой работы и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов, изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ». / Казань: КГАСУ, 2018, – 40 с.
4. Кордончик Д.М., Мустафин И.И. Организация самостоятельной работы студентов в университете. Методические рекомендации для преподавателей и студентов КГАСУ. Казань: КГАСУ, 2018. – 12 с.

Приложение 1

ПОДБОР КОЛИЧЕСТВА АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ В СОСТАВЕ ГИПСОЦЕМЕНТНОПУЦЦОЛАНОВОГО ВЯЖУЩЕГО (ПО МЕТОДУ МИСИ ИМ. В.В. КУЙБЫШЕВА)

Методика работы

Необходимое количество минеральной добавки в составе ГЦПВ подбирается по концентрации окиси кальция, содержащейся в специальных препаратах, представляющих собой водные суспензии полуводного гипса, портландцемента, шлакопортландцемента или пуццоланового портландцемента и активной минеральной добавки.

Для проведения испытаний приготовляют шесть препаратов - две партии близнецов по три препарата в каждой партии, отличающихся различным содержанием активной минеральной добавки. Первую партию препаратов предназначают для испытаний через 5 сут., а вторую партию препаратов (близнецов) - через 7 сут. после изготовления.

Для приготовления препаратов усредненные пробы исходных материалов (по 20 г каждую), отобранные четвертованием, высушивают, цементы - при температуре 105°С в течение 2 ч, полуводный гипс - при температуре 60°С в течение 3 ч, гидравлическую добавку - при температуре 105°С до постоянной массы. Высушенные пробы хранят в эксикаторе.

Препараты готовят следующим образом.

Берут с погрешностью не более 0,001 г навески полуводного гипса, портландцемента, шлакопортландцемента или пуццоланового портландцемента и высушенной активной минеральной добавки в количествах, указанных в табл. 1.

Табл. 1

Наименование материала	Количество материала для приготовления препаратов (номер препарата), г		
	1	2	3
Полуводный гипс	4,0	4,0	4,0
Портландцемент	2,5	2,5	2,5
Активная минеральная добавка (при активности по ГОСТ 25094) более 200 мг/г	1,25	2,5	3,75

Навески материалов (гипсовое вяжущее, портландцемент, пуццолановый портландцемент или шлакопортландцемент и добавка) для каждого из трех препаратов (и их близнецов) помещают в отдельные конические колбы вместимостью до 200 мл и заливают 100 мл дистиллированной воды комнатной температуры.

После заливки водой колбы герметически закрывают и не менее 3 ч непрерывно взбалтывают на лабораторном колбовстряхивателе для

предотвращения схватывания осадка. В дальнейшем взбалтывание производят вручную не менее двух раз в сутки. Затем колбы выдерживают в течение 5 и 7 сут. при температуре 20±2°С.

Для определения концентрации окиси кальция через 5 и 7 сут. из каждой колбы отбирают по 50 мл водного раствора путем фильтрования через фильтровальную бумагу, который титруется в присутствии фенолфталеина 0,1N раствором соляной кислоты.

Концентрацию окиси кальция в г/л определяют по формуле:

CaO = 768-A*T/ВЛ,

где *A* - количество соляной кислоты, израсходованной на титрование в мл;

T - титр соляной кислоты (содержание HCl в г/мл);

B - количество отобранного из колбы раствора в мл.

Полученные результаты испытаний представляют в виде двух графиков (график 1 для препаратов 5-дневного возраста и график 2 для препаратов 7-дневного возраста), где по оси абсцисс откладывают количество минеральной добавки в г, применявшейся для приготовления препаратов, а по оси ординат - полученные показатели концентрации окиси кальция в г/л (рисунок).

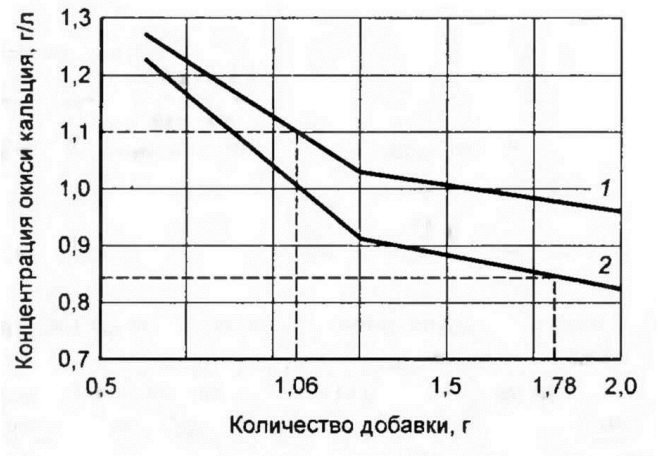

Рис. Графики для определения необходимого количества активной минеральной добавки:

1 - для препаратов 5 суточного возраста; 2 - для препаратов 7 суточного возраста

Необходимое количество активной минеральной добавки подбирают по указанным графикам при условии, чтобы концентрация окиси кальция на пятые сутки не превышала 1,1 г/л, а на седьмые сутки была менее 0,85 г/л. Для этой цели из точки оси ординат, соответствующей концентрации окиси кальция 1,1 г/л, проводят горизонтальную прямую до пересечения с графиком 1, а из точки, соответствующей концентрации окиси кальция 0,85 г/л - горизонтальную прямую до пересечения с графиком 2. Опущенные из данных точек (на графиках 1 и 2) перпендикуляры на ось абсцисс образуют в пересечениях с ней две точки, показывающие искомое количество активной добавки. Из полученных двух величин выбирают наибольшую, которую округляют в сторону увеличения с точностью до 0,5 г.

Зная количество цемента, взятое для приготовления препаратов, и полученное количество активной минеральной добавки, определяют расход добавки в мае. частях на одну мае. часть цемента.

Пример. Требуется подобрать необходимое количество минеральной добавки активностью 300 мг/л (ОСТ 21-8-74) для приготовления ГЦПВ с использованием пуццоланового портландцемента.

Пользуясь изложенной выше методикой, приготовляют шесть препаратов - две партии близнецов по три препарата в каждой партии. Для приготовления каждого из препаратов берут по 4 г гипса и по 4 г пуццоланового портландцемента. Количество активной добавки для первого препарата -0,65 г, для второго - 1,25 г, для третьего - 1,9 г.

Табл. 1

Наименование материала	Количество материала для приготовления препаратов (номер препарата), г		
	1	2	3
Полуводный гипс	4,0	4,0	4,0
Пуццолановый портландцемент	2,5	2,5	2,5
Активная минеральная добавка	0,65	1,25	1,9

После испытаний получают показатели концентрации окиси кальция, указанные в табл. 2.

Табл. 2

Время выдерживания, в сут.	Препараты (номер препарата)		
	1 (0,65 г добавки)	2 (1,25 г добавки)	3 (1,9 г добавки)
5	1,28	1,03	0,97
7	1,23	0,93	0,84

По полученным данным строится график 1 для препаратов 5-дневного возраста и график 2 - для препаратов 7-дневного возраста.

Из данных, приведенных на рисунке видно, что для достижения концентрации окиси кальция - 1,1 г/л (для препаратов 5-дневного возраста) необходимое количество добавки составляет 1,06 г, а для достижения концентрации окиси кальция - 0,85 г/л (для препаратов 7-дневного возраста) количество добавки составляет 1,78 г. Выбирают наибольшее значение - 1,78 г. Количество добавки принимают равным 2 г. Так как для приготовления препаратов брали 4 г пуццоланового портландцемента, то необходимое количество добавки от массы пуццоланового портландцемента составляет 50%. Необходимое количество добавки от массы ГЦПВ составляет 25%.

Приложение 2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВОВ БЕТОНОВ НА ВОДОСТОЙКИХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Проектирование составов бетонов на водостойких гипсовых вяжуших, выполняют по известным методикам, принятым для бетонов на портландцементе, с учетом особенностей водостойких гипсовых вяжущих (ВГВ): быстроты схватывания и твердения, активности и водопотребности.

РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА НА ВОДОСТОЙКИХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Для расчета состава тяжелого бетона задают основные характеристики:

- марка (класс) бетона по прочности на сжатие;
- удобоукладываемость: подвижность или жесткость бетонной смеси (ГОСТ 10181.1);
- начало схватывания бетонной смеси.

Расчет состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом, включает следующие этапы.

1) Выбор материалов для приготовления бетона и получение данных, характеризующих их свойства.

а) Водостойкое гипсовое вяжущее:

- марка по прочности;
- истинная плотность ($\rho_{вяж}$).

б) Добавка замедлителя сроков схватывания:

- количество добавки в % от массы вяжущего.

в) Гравий (щебень):

- наибольшая крупность ($D_{нб}$);
- истинная плотность ($\rho_{гр(щ)}$);
- насыпная плотность ($\rho_{н.гр(щ)}$);
- пустотность (коэффициент пустотности) ($K_п$).

г) Песок:

- модуль крупности ($M_{кр}$);
- истинная плотность ($\rho_п$);
- насыпная плотность ($\rho_{н.п}$).

2) Установление расчетным путем по формулам и таблицам расхода материалов для приготовления 1 м^3 бетонной смеси.

2.1) Определение расхода водостойкого гипсового вяжущего (*Вяж).*

Расход водостойкого гипсового вяжущего (*Вяж)* назначают используя данные, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Ориентировочные расходы водостойкого гипсового вяжущего (ВГВ) для тяжелого бетона

Марка ВГВ	Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход ВГВ, кг/м^3, для бетона прочностью на сжатие, МПа				
			10	15	20	25	30
150	11...20 5...10 -	- - 1...4	330...350 370...390 400...430	390...410 440...460 470...500	480...510 - -	- - -	- - -
250	11...20 5...10 -	- - 1...4	- - -	- - -	380...410 440...460 480...520	430...460 490...510 530... 550	490...510 - -

2.2) Определение расхода воды (*В).*

а) Ориентировочный расход воды (*В*) в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси можно выбрать по табл. 2.

Таблица 2

Ориентировочные расходы воды для тяжелого бетона на водостойком гипсовом вяжущем (ВГВ)

Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход воды, л/м^3, при наибольшей крупности в мм					
		гравия			щебня		
		10	20	40	10	20	40
ВГВ на основе строительного гипса							
11...20 5...10	- - 1...4	215 240 260	200 225 245	185 210 230	225 250 270	215 240 260	200 225 245
ВГВ на основе высокопрочного гипса							
11...20 5...10	· - 1...4	190 215 230	175 200 215	160 185 200	200 230 245	190 215 230	175 195 210

Примечание: данные таблицы справедливы при расходах вяжущего 400...500 кг/м^3 и при использовании песков средней крупности.

б) Определяют водовяжущее отношение ($\frac{B}{Вяж}$) и вяжущеводное отношение ($\frac{Вяж}{B}$).

в) Для проведения экспериментального уточнения расхода воды (*В*), обеспечивающего требуемую прочность, задаются еще двумя водовяжущими отношениями ($\frac{B}{Вяж}$), отличающимися от расчетного на ±0,1:

– $\frac{B_1}{Вяж} = \frac{B}{Вяж}$;

– $\frac{B_2}{Вяж} = \frac{B}{Вяж} - 0{,}1$;

– $\frac{B_3}{Вяж} = \frac{B}{Вяж} + 0{,}1$.

Для каждого заданного вяжущеводного отношения ($\frac{B}{Вяж}$) находят экспериментальные расходы воды:

– $B_1 = Вяж * \frac{B_1}{Вяж}$;

– $B_2 = Вяж * \frac{B_2}{Вяж}$;

– $B_3 = Вяж * \frac{B_3}{Вяж}$.

2.3) Определение расхода добавок (*Д*).

2.4) Определение расхода крупного заполнителя – гравия (*Гр*) или щебня (*Щ*).

Расход крупного заполнителя – гравия (*Гр*) или щебня (*Щ*) находят в соответствии с формулами абсолютных объемов:

$$Гр\ (Щ) = \frac{1000}{\frac{\alpha}{\rho_{н.гр(щ)}} * K_п + \frac{1}{\rho_{гр(щ)}}},$$

где α - коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя, определяется по табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя для тяжелого бетона на водостойком гипсовом вяжущем (ВГВ)

Расход ВГВ, кг/м^3	Значения коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (α)				
	В/Вяж				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,3	1,36	2,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,40	1,46	-	-	-

2.5) Определение расхода песка (*П*).

Определяют экспериментальные расходы песка (*П*) для каждого из трех ранее полученных экспериментальных расходов воды:

$$П_1 = (1000 - \frac{Вяж}{\rho_{вяж}} - B_1 - \frac{Гр(Щ)}{\rho_{гр(щ)}}) * \rho_п;$$

$$П_2 = (1000 - \frac{Вяж}{\rho_{вяж}} - В_2 - \frac{Гр(Щ)}{\rho_{гр(щ)}}) * \rho_п;$$

$$П_3 = (1000 - \frac{Вяж}{\rho_{вяж}} - В_3 - \frac{Гр(Щ)}{\rho_{гр(щ)}}) * \rho_п.$$

3) Проверка и уточнение состава бетона на пробных замесах.

3.1) Пересчитывают полученные расходы материалов (на 1 м^3 бетонной смеси) на требуемые объемы пробных замесов (8... 10 л).

3.2) В соответствии с тремя принятыми расходами воды (B_1, B_2, B_3) определяют удобоукладываемость бетонной смеси: подвижность – по осадке стандартного конуса, жесткость – в приборе для определения жесткости (ГОСТ 10181.1). При необходимости (не достижении требуемой удобоукладываемости) выполняют корректирование состава бетонной смеси.

3.3) Определяют начало схватывания бетонной смеси при назначенном количестве добавки – замедлителя. При необходимости (не достижении требуемых сроков начала схватывания) выполняют корректирование расхода добавки.

3.4) Для проверки прочности бетона при каждом из трех принятых водовяжущих отношений ($\frac{B_1}{Вяж}, \frac{B_2}{Вяж}, \frac{B_3}{Вяж}$) изготавливают по 6 образцов-кубов с ребром 100 мм. Образцы распалубливают через 1-2 ч после изготовления. По данным испытаний образцов, приведенных к прочности стандартного образца (куба с размером ребра 15 см) в 28-суточном возрасте, строят зависимость прочности от $\frac{B}{Вяж}$ и находят такое $\frac{B}{Вяж}$ отношение, которое обеспечивает заданный средний уровень прочности бетона.

3.5) Производят уточненный расчет материалов на 1 м^3 бетонной смеси и готовят серии контрольных образцов-кубов для испытания через несколько часов (2...4 ч в зависимости от технологии производства) и в возрасте 1, 3, 7, 28 сут, а при необходимости - и в другие сроки.

По данным испытаний строят кривую роста прочности бетона во времени, по которой устанавливают сроки достижения распалубочной и отпускной прочности бетона.

4) Корректирование состава при колебаниях свойств и влажности заполнителя и других факторов (полевой состав бетона).

РАСЧЕТ СОСТАВА ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ВОДОСТОЙКИХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Для расчета состава легкого бетона задают основные характеристики:

- марка бетона по средней плотности (D);
- марка (класс) бетона по прочности на сжатие;

– удобоукладываемость: подвижность или жесткость бетонной смеси (ГОСТ 10181.1);
– начало схватывания бетонной смеси.

Расчет состава легкого бетона расчетно-экспериментальным методом, включает следующие этапы.

1) Выбор материалов для приготовления бетона и получение данных, характеризующих их свойства.

а) Водостойкое гипсовое вяжущее:
– марка по прочности;
– нормальная густота, %

б) Добавка замедлителя сроков схватывания:
– количество добавки в % от массы вяжущего.

в) Легкий крупный заполнитель (керамзит):
– наибольшая крупность ($D_{нб}$);
– водопоглощение ($w^{к}_{погл}$);
– насыпная плотность ($\rho_к$).

г) Песок:
– доля песка в общей смеси заполнителя – выбирается меньше на 30...50 % чем для обычного керамзитобетона из-за большого расхода водостойкого гипсового вяжущего и его меньшей плотности по сравнению с портландцементом.
– насыпная плотность ($\rho_{н.п}$).

2) Установление расчетным путем по формулам и таблицам расхода материалов для приготовления 1 м^3 бетонной смеси.

2.1) Определение расхода водостойкого гипсового вяжущего (*Вяж).*

Расход водостойкого гипсового вяжущего (*Вяж)* назначают, используя данные, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Ориентировочные расходы водостойкого гипсового вяжущего (ВГВ) для легкого бетона

Марка ВГВ	Наибольшая крупность керамзита, мм	Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход ВГВ, кг/м^3, для бетона прочностью на сжатие, МПа				
				3,5	5	7,5	10	15
100	20	11...15	-	280...310	330...360	360...380	-	-
		5...10	-	300...340	350...380	380...400	-	-
		-	1...4	330...370	380...400	400...460	-	-
	40	11...15		300...350	365...390	-	-	-
		5...10		320...380	375...400	-	-	-
		-		380...420	390...430	-	-	-
150	20	11...15	-	275...325	325...350	375...400	400...425	-
		5...10	-	275...335	325...360	375. ..410	400...440	-
		-	1...4	360...380	380...400	410...430	440...460	-
	40	11...15	-	300...350	350...375	400...425	-	-
		5...10	-	300...360	350...390	400...440	-	-
		-	1...4	380...400	390...420	440...460	-	-
200	20	11...20	-	-	-	-	325...350	400...425
		5...10	-	-	-	-	325...360	425...450
		-	1...4	-	-	-	380...400	450...480
	40	11...15	-	-	-	-	350...375	-
		5...10	-	-	'	-	350...385	-
		-	1...4	-	-	-	400...420	-

2.2) Определение расхода добавок (*Д*).

2.3) Определение суммарного расхода крупного и мелкого заполнителя (*З*).

Расход заполнителя (*З*):

$З = D - 1{,}15 * Вяж.$

2.4) Определение расхода песка (*П*).

Расход песка по массе ($П_m$):

$$П_m = \frac{З * \rho_{н.п} * r}{r * \rho_{н.п} + (1 - r) * \rho_{н.к}}.$$

Расход песка по объему ($П_v$):

$$П_v = \frac{П_m}{\rho_{н.п}}.$$

2.5) Определение расхода керамзита (*К*).

Расход керамзита по массе ($К_m$):

$К_m = З – П_m$

Расход керамзита по объему ($К_v$):

$$К_v = \frac{К_m}{\rho_{н.к}}.$$

2.6) Определение расхода воды (*В*).

а) *Вариант 1*

Ориентировочный расход воды (*В*) в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси можно выбрать по табл. 2.

Таблица 2

Ориентировочные расходы воды для легкого бетона на водостойком гипсовом вяжущем

Жесткость бетонной смеси, с	Подвижность бетонной смеси, см	Расход воды, л/м^3, при наибольшей крупности в мм			
		гравия		щебня	
		20	40	20	40
Водостойкие гипсовые вяжущие на основе строительного гипса					
11...15	-	240...250	230...240	250...260	240...250
5...10	-	260...280	260...270	280...290	270...280
-	1...4	300...310	290...300	310...320	300..310
Водостойкие гипсовые вяжущие на основе высокопрочного гипса					
11...15	·	220...230	210...220	230...240	215...230
5...10	-	250...260	240...250	260...270	240...250
-	1...4	280...290	270...280	290...310	270...290

Примечание: данные таблицы справедливы при расходах вяжущего 380...400 кг/м^3 и при использовании керамзитового песка.

Вариант 2

Ориентировочный расход воды (*В*) рассчитывают по формуле:

$$В = \frac{НГ * Вяж}{100} + \frac{w^к_{погл} * К_m}{100}.$$

б) Определяют водовяжущее отношение ($\frac{В}{Вяж}$).

3) Проверка и уточнение состава бетона на пробных замесах.

3.1) Пересчитывают полученные расходы материалов (на 1 м^3 бетонной смеси) на требуемые объемы пробных замесов (8... 10 л).

3.2) Готовят пробные замесы при соблюдении требуемой удобоукладываемости с тремя расходами вяжущего:

$Вяж_1$ – полученным по результатам расчета;

$Вяж_2$ и $Вяж_3$ – отличающимися от расчетного на ±10-15%.

3.3) Определяют начало схватывания бетонной смеси при назначенном количестве добавки – замедлителя. При необходимости (не достижении

требуемых сроков начала схватывания) выполняют корректирование расхода добавки.

3.4) Для проверки средней плотности и прочности бетона при каждом из трех принятых расходах вяжущего ($Вяж_1$, $Вяж_2$, $Вяж_3$) изготавливают по 6 образцов-кубов с ребром 100 мм. По данным испытаний образцов, приведенных к прочности стандартного образца (куба с размером ребра 15 см) в 28-суточном возрасте, строят зависимость средней плотности и прочности от расхода вяжущего (*Вяж*) и находят оптимальный расход вяжущего, который обеспечивает заданные показатели бетона.

3.5) Производят уточненный расчет материалов на 1 $м^3$ бетонной смеси и готовят серии контрольных образцов-кубов для испытания через несколько часов (2...4 ч в зависимости от технологии производства) и в возрасте 1, 3, 7, 28 сут, а при необходимости - и в другие сроки.

По данным испытаний строят кривую роста прочности бетона во времени, по которой устанавливают сроки достижения распалубочной и отпускной прочности бетона.

4) Корректирование состава при колебаниях свойств и влажности заполнителя и других факторов (полевой состав бетона).

5) Рекомендуется из назначенного состава легкого бетона изготовить образцы для проверки коэффициента теплопроводности и морозостойкости в соответствии с ГОСТ 7076 и ГОСТ 10060.02.

Приложение 3

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ПРИ КОРРОЗИИ

Метод прогнозирования глубины коррозии бетона основывается на закономерностях развития процесса коррозии при длительных сроках воздействия, когда определяющим является диффузионный перенос реагирующих веществ. Предварительно проводятся испытания, по результатам которых определяется глубина коррозии бетона через заданный промежуток времени. Опыты проводят на материалах и средах, для которых делают прогнозирование.

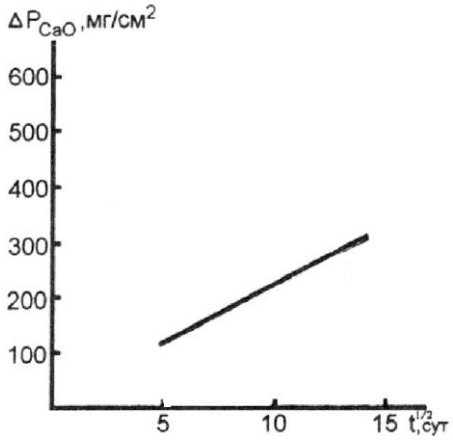

Рис. Изменение глубины коррозии цементного камня в заданный промежуток времени в диффузионном периоде PCaO=f(√t)

В общем случае, глубина разрушения бетона к определённому сроку испытаний:

$$h = \frac{P_{CaO}}{Ц * P'_{CaO}} * 10^{-5},$$

где P_{CaO} - количество прореагировавшего цементного камня в пересчете на CaO, отнесенное к единице реагирующей поверхности образцов, г/см^2;

$Ц$ - расход цемента в бетоне, кг/м^3;

P'_{CaO} - содержание CaO в цементе (по данным химического анализа), %.

Определение глубины коррозии ***в диффузионно-кинетический период*** производят по формуле:

$$h_1 = \frac{\upsilon_{CaO} * t}{Ц * P'_{CaO}},$$

где – υ_{CaO} постоянная скорость коррозии при диффузионно-кинетическом механизме переноса веществ, определяемая опытным путем, г/(см^2*сут).

Обычно необходимо бывает спрогнозировать глубину разрушения бетона ***в диффузионный период***:

$$h_1 = \frac{k * \sqrt{t} - \alpha}{Ц * P'_{CaO}},$$

где k - экспериментальный коэффициент, представляющий собой тангенс угла наклона кривых коррозии в диффузионный период к оси абецисс (рис.) и определяемый предварительными испытаниями;

t - время, для которого прогнозируется глубина разрушения, сут;

α - поправочный коэффициент, учитывающий, что первоначальный период коррозии проходит по диффузионно - кинетическому механизму и опытные прямые $P_{CaO}=f(\sqrt{t})$ пересекают ось ординат в точке, координата которой отлична от 0.

Коэффициент:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{P_{2CaO} - P_{1CaO}}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}},$$

где P_{iCaO} и $\sqrt{t_i}$ - координаты двух точек на опытной кривой коррозии, построенной в координатах $P_{CaO}=f(\sqrt{t})$

Поправочный коэффициент:

$$\alpha_1 = k * \sqrt{t_1} - P_{1CaO},$$

Пример. Определить глубину коррозии бетона через 20 лет, приготовленного на цементе с содержанием 60% CaO, при расходе цемента 350 кг/м^3.

Испытания показали, что в возрасте 1 месяц P_{CaO}=0,1 г/см^2, а в возрасте 2 месяца 0,16 г/см^2.

$$k = \frac{0{,}16 - 0{,}1}{\sqrt{60 - \sqrt{30}}} = \frac{0{,}06}{2{,}2} = 2{,}27 * 10^{-2} \frac{г}{см^2 * сут^{1/2}}$$

$\alpha=2{,}27*10^{-2}*\sqrt{30}-0{,}1=0{,}045$ г/см^2

$$h_1 = \frac{2{,}27 * \sqrt{7300} - 0{,}025}{350 * 60} * 10^{-2} = 0{,}9065 см$$

Методические указания к выполнению практических занятий,
курсовой работы и самостоятельной работы студентов
по дисциплине «Методы повышения долговечности строительных материалов,
изделий и конструкций на основе минеральных вяжущих веществ»
по направлению 08.04.01 Строительство

Составитель: Халиуллин Марат Ильсурович

Редактор:

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать Формат 60x84/16

Заказ Тираж Печать офсетная Усл.-печ. л.
Бумага тип № 1 Уч.-изд. л.

Печатно-множительный отдел КазГАСУ

420043, Казань, Зеленая 1.