**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА БЕТОНА

Москва 2017 г.

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение ... 4

Нормативные ссылки ... 5

Термины и определения ... 7

1. Общие положения ... 9

2. Область применения ... 10

3. Рекомендуемые методы анализа ... 11

4. Требования к отбору проб бетона и сырьевых компонентов ... 12

5. Качественный анализ пробы ... 14

6. Определение содержания основных компонентов в бетоне ... 16

6.1 Определение плотности бетона ... 16

6.2 Определение водопоглощения бетона ... 16

6.3 Определение количества крупного заполнителя в бетоне ... 16

6.4 Определение содержания мелкого заполнителя в растворной части бетона ... 17

6.5 Определение вида вяжущего в растворной части бетона ... 19

6.5.1 Определение диоксида кремния ... 19

6.5.2 Определение оксида железа и оксида алюминия ... 21

6.5.3 Определение оксида кальция и оксида магния ... 22

6.6 Определение гидратной воды в растворной части бетона ... 24

6.7 Определение содержания цемента в растворной части бетона ... 25

6.8 Расчет состава бетона ... 25

6.9 Определение содержания натрийсодержащей водорастворимой добавки ... 26

Приложение 1 ... 29

Приложение 2 ... 52

Приложение 3 ... 61

Приложение 4 ... 73

Введение

Настоящие Методические рекомендации предназначены для использования строительными и научно-исследовательскими организациями. Настоящие Методические рекомендации описывают метод установления вещественного состава бетона с установлением содержания натрийсодержащей водорастворимой добавки.

Состав бетонной смеси подбирается на заводе изготовителе с целью обеспечения бетону необходимых свойств, требуемых заказчику. Таким образом, бетон, полученный в результате затвердевания бетонной смеси, изготовленной в строго контролируемых условиях, должен иметь стабильный неизменный состав. Однако в практике современного строительства часто встречаются случаи ярко выраженных дефектов строительных конструкций связанных с нарушением характеристик бетонной смеси.

При возникновении спорных ситуаций в строительстве чаще всего проводится физико-механический анализ строительных конструкций. В результате данных мероприятий устанавливается, в основном, только фактическая прочность бетона и на основании этих данных решаются спорные вопросы о качестве выполнения строительных работ. Наличие только физико-механических параметров в подавляющем большинстве случаев недостаточно для получения объективной информации о качестве бетона.

Таким образом, разработка и применение настоящих Методических рекомендаций является актуальным направлением работ, целью которых является получение дополнительной информации о качестве бетона, применяемого при строительстве различных объектов.

Настоящие Методические рекомендации разработаны в развитие СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции» (с изменением № 1), и СП 130.13330.2011 «СНиП 3.09.01-85 Производство сборных железобетонных конструкций и изделий».

Пособие подготовлено авторским коллективом в составе: к. т. н. И.П. Саврасов, к. т. н. И.М. Дробященко, Н.В. Баранник, к. т. н. С.В. Котов, Г.С. Шевченко.

Нормативные ссылки

В настоящих Методических рекомендациях использованы ссылки на следующие стандарты.

ГОСТ 83–79	Реактивы. Натрий углекислый. Технические условия.
ГОСТ 701–89	Кислота азотная концентрированная. Технические условия.
ГОСТ 1770–74	Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия.
ГОСТ 3118–77	Реактивы. Кислота соляная. Технические условия.
ГОСТ 3760–79	Реактивы. Аммиак водный. Технические условия.
ГОСТ 4147–74	Реактивы. Железо (III) хлорид 6–водный. Технические условия.
ГОСТ 4233–77	Реактивы. Натрий хлористый. Технические условия.
ГОСТ 4328–77	Реактивы. Натрия гидроокись. Технические условия.
ГОСТ 4478–78	Реактивы. Кислота сульфосалициловая 2-водная. Технические условия.
ГОСТ 6563–75	Изделия технические из благородных металлов и сплавов. Технические условия.
ГОСТ 6709–72	Вода дистиллированная. Технические условия.
ГОСТ 7473-2010	Смеси бетонные. Технические условия.
ГОСТ 9147–80	Посуда и оборудование лабораторные фарфоровые. Технические условия.
ГОСТ 10652–73	Реактивы. Соль динатриевая этилендиамин–N, N, N', N'–тетрауксусной кислоты 2–водная (трилон Б). Технические условия.
ГОСТ 11293–89	Желатин. Технические условия.
ГОСТ 12730.1–78	Бетоны. Методы определения плотности.
ГОСТ 12730.3–78	Бетоны. Методы определения водопоглощения.

ГОСТ 24211-2008	Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
ГОСТ 24363–80	Реактивы. Калия гидроокись. Технические условия.
ГОСТ 25336–82	Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры.
ГОСТ 26633-2015	Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
ГОСТ 28570-90	Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.
ГОСТ 29252–91	Посуда лабораторная стеклянная. Бюретки. Часть 2. Бюретки без установленного времени ожидания.
ГОСТ 30515-2013	Цементы. Общие технические условия.
ГОСТ Р 51568–99	Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия.
ГОСТ Р 53228–2008	Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания.

Термины и определения

В настоящих Методических рекомендациях применены термины по ГОСТ 7473, ГОСТ 24211, ГОСТ 26633, ГОСТ 30515, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Бетон: искусственный камневидный строительный материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной и уплотненной бетонной смеси.

Бетон тяжелый: бетон плотной структуры средней плотности более 2000 до 2500 кг/м3 включительно на цементном вяжущем и плотных крупном и мелком заполнителях.

Бетон мелкозернистый: бетон плотной структуры средней плотностью более 2000 до 2500 кг/м3 включительно на цементном вяжущем и плотном мелком заполнителе.

Бетонная смесь: готовая к применению перемешанная однородная смесь вяжущего, заполнителей и воды с добавлением или без добавления химических и минеральных добавок, которая после уплотнения, схватывания и твердения превращается в бетон.

Вяжущее: порошкообразный материал, после затворенния водой, либо специальным раствором, затвердевающий в прочное камнеобразное тело.

Гидратная вода: количество воды, необходимое для процесса гидратации минералов вяжущего в бетоне.

Добавка: органическое или неорганическое вещество, вводимое в смеси в процессе их приготовления с целью направленного регулирования их технологических свойств и/или строительно-технических свойств бетонов и растворов, и/или придания им новых свойств.

Заполнитель мелкий: заполнитель бетона, полученный из минерального сырья в результате промышленной переработки с максимальным размером зерна до 5 мм.

Заполнитель крупный: заполнитель бетона, полученный из минерального сырья в результате промышленной переработки с размером зерна более 5 мм.

Минеральная добавка: дисперсная неорганическая добавка природного или техногенного происхождения.

Полифункциональная добавка: добавка, обладающая двумя или несколькими основными эффектами действия.

Пластифицирующая добавка: специально синтезированная в заводских условиях химическая добавка, увеличивающая подвижность бетонной смеси.

Основной эффект действия добавки: эффект, характеризующий основное назначение добавки.

Цемент: порошкообразный строительный вяжущий материал, который обладает гидравлическими свойствами, состоит из клинкера и, при необходимости, гипса или его производных добавок.

1 Общие положения

Основным условием надежности предлагаемых методов определения состава затвердевшего бетона является представительность отобранной для анализа пробы, т.е. возможно более близкое соответствие анализируемого образца фактическому составу бетона в данной части сооружения. Эта представительность достигается большим количеством отбираемых для анализа проб и достаточной массой отдельной пробы.

Большинство известных методов анализа затвердевшего бетона основано на растворении тонкорастертой пробы бетона соляной кислотой с последующим определением в растворе оксида кальция и диоксида кремния, по значению которых рассчитывается содержание цемента. Нерастворившуюся часть пробы бетона обычно относят за счет заполнителей. При этом неизбежно имеет место частичное растворение в кислоте песка и крупного заполнителя, что снижает точность анализа.

В настоящих Методических рекомендациях за основу принят комбинированный метод анализа затвердевшего раствора и бетона. Метод предусматривает предварительное отделение от пробы крупного заполнителя, для чего используется термическая обработка, в результате которой бетон распадается на составные части.

Учитывая, что крупный заполнитель составляет обычно около половины массы бетона, притом он более растворим, чем песок, исключение его из химической обработки способствует повышению точности анализов.

Проверка предлагаемого в настоящих Методических рекомендациях метода определения состава бетона показала, что он обеспечивает относительную точность 5–7%.

2 Область применения

Настоящие Методические рекомендации распространяются на определение вещественного состава затвердевшего бетона на основе портландцемента, включая бетоны, содержащие цементы с активными минеральными добавками и заполнителями из карбонатных пород.

Настоящие Методические рекомендации не распространяются на бетоны в которых вяжущим являются известково-пуццолановые, известково-шлаковые цементы, а также на специальные бетоны на основе полимерного вяжущего.

3 Рекомендуемые методы анализа

Для определения содержания цемента в пробах бетона предлагаются два метода:

- метод непосредственного определения содержания цемента (химический метод);

- метод определения содержания цемента по разности между массой исследуемой пробы и массой заполнителей (ситовой метод).

Метод с непосредственным определением содержания цемента состоит из следующих операций:

- определение количества крупного заполнителя;

- определение количества цемента с помощью химического анализа;

- определение количества мелкого заполнителя (песка) – по разности.

Количество крупного заполнителя определяется путем термического разложения бетона и отсеивания распавшейся массы через сито с размером ячейки 5 мм.

Количество цемента определяется путем растворения фракций, прошедшей через сито 5 мм (растворной части), в соляной кислоте, а затем в щелочи (для растворения выпавшего при обработке кислотой геля SiO_2). При такой обработке частично будут растворяться и заполнители, поэтому результаты анализа будут более точными лишь в том случае, если имеются в наличии и будут проанализированы также исходные материалы бетона. В противном случае, при расчете приходится принимать условные величины, что снижает точность анализа.

Метод определения содержания цемента по разности слагается из следующих операций:

- разложение бетона нагреванием, иногда с последующей химической обработкой для отделения цемента с поверхности зерен заполнителя;

- разделения (на ситах) полученных заполнителей и определения количеств отдельных фракций;

- определение содержания цемента по разности.

Данный метод является менее точным, так как неточности отдельных прямых определений отражаются на величине, определяемой по разности (т.е. содержании цемента).

Выбор того или иного метода или же применение обоих производится лабораторией в зависимости от поставленной задачи и цели работы.

4 Требования к отбору проб бетона и сырьевых компонентов

Отбор проб бетона из железобетонной или бетонной конструкции проводят согласно ГОСТ 28570.

Проба, взятая для анализа, должна наиболее точно отражать состав бетона в данной части сооружения. Для этого отбирают 6-8 проб в разных точках сооружения или конструкции.

В зависимости от крупности заполнителя в бетоне, размеров конструктивного элемента и других факторов масса каждой пробы может изменяться от 1 до 5 кг.

Для установления причин местных дефектов, выцветов и т.п. пробы могут отбираться по месту дефекта в меньших размерах и числе (иногда в виде единичной пробы).

Отобранные пробы бетона до проведения испытаний хранят в индивидуальных герметичных упаковках в помещении с температурой воздуха не ниже 10 °С и не выше 30 °С, относительной влажности воздуха не более 60%. Не допускается воздействие на пробы бетона прямого солнечного света.

В случае, если необходимо провести оценку содержания натрийсодержащей водорастворимой добавки в бетоне, необходимо провести отбор проб сырьевых компонентов (из тех же партий материалов) из которых была изготовлена бетонная смесь: портландцемент, мелкий заполнитель, крупный заполнитель, натрийсодержащая водорастворимая добавка, вода затворения бетонной смеси. Масса каждой пробы сырьевых компонентов составляет 1 кг.

Сырьевые компоненты бетонной смеси хранят в индивидуальных герметичных упаковках в помещении с температурой воздуха не ниже 10 °С и не выше 30 °С, относительной влажности воздуха не более 60%. Не допускается воздействие на пробы материалов прямого солнечного света.

5 Качественный анализ пробы

Если не имеется точных сведений о том, какой цемент и заполнитель были использованы в данном бетоне, необходимо провести качественный анализ пробы для установления:

- минералогического состава заполнителей, в частности – наличия в них карбонатных зерен;

- наличия и вида активных минеральных добавок.

Для установления наличия карбонатных зерен в крупном заполнителе следует выделить из бетона несколько щебенок и испытать их на вскипание при действии концентрированной соляной кислоты. Эта проба необходима и в отношении песка (в растворной части бетона). Если песок карбонатный, раствор разложится почти полностью.

Установление наличия и вида минеральных добавок в цементе производится с помощью микроскопического анализа и по данным микрохимических реакций. Для распознавания отдельных видов добавок могут служить специфические признаки:

- характерными признаками наличия в бетоне доменных шлаков (шлакопортландцемента) является синеватый цвет на свежем изломе бетона и запах сероводорода. Для доменных гранулированных шлаков характерно преобладание остроганных изотропных зерен шлакового стекла, часто аморфных. Для этих шлаков характерно наличие ольдгамита (CaS) и группы мелилита.

При обработке шлака раствором, содержащим в 10 мл дистиллированной воды 0,35 г треххлористой сурьмы (или хлорокиси сурьмы) и 1 г винной кислоты, он окрашивается в оранжево-красный цвет, при обработке раствором ацетата свинца и уксусной кислоты – в коричнево-черный;

- для трепелов, опоки, диатомитов характерна скрытокристаллическая, часто аморфная, тонкозернистая структура. При обработке 0,1%-ным раствором родамида появляется красная окраска зерен (зерна цемента остаются серыми или коричневыми);

- туфы определяются по ряду петрографических признаков, наиболее характерным из которых является пепловая структура (смесь обломков кристаллов и вулканического стекла).

При окрашивании родамином появляется бордовый цвет;

- в золах преобладают шаровидные зерна стекла, окрашенные в черный и желтовато-зеленый цвета. Так как специальных красителей для золы нет, для ее обнаружения можно использовать красители, окрашивающие цемент (например, 0,1 %-ный раствор конго красного);

- горелые породы, глиежи (природные горелые породы), котельные шлаки характеризуются присутствием остатков глинистых минералов.

Если строительная лаборатория не располагает необходимыми специалистами и оборудованием для выполнения петрографического анализа, последний поручается специализированной петрографической лаборатории.

6 Определение содержания основных компонентов в бетоне

6.1 Определение плотности бетона

Плотность бетона $\rho_б$ определяют по ГОСТ 12730.1.

6.2 Определение водопоглощения бетона

Водопоглощение бетона определяют по ГОСТ 12730.3.

6.3 Определение количества крупного заполнителя в бетоне

Содержание крупного заполнителя в бетоне определяют весовым методом. Выделение крупного заполнителя достигают за счет физического эффекта термической дезагрегации пробы бетона.

Используемые реактивы:

- соляная кислота по ГОСТ 3118 – раствор с плотностью 1,19 г/см^3 и водный раствор с соотношением 1:10;

- гидроокись натрия по ГОСТ 4328 – 1%-ный раствор;

- вода дистиллированная по ГОСТ 6709;

Используемые оборудование и материалы:

- фарфоровые чаши по ГОСТ 9147;

- сито лабораторное с размером ячейки 5 мм по ГОСТ Р 51568;

- весы лабораторные по ГОСТ Р 53228;

- печь муфельная с рабочей температурой 1000 ºС.

Каждую пробу бетона дробят на куски, размер которых не должен превышать 1,25 номинального размера фракции заполнителя. Из усредненной пробы отбирают две навески массой 0,5–1,0 кг (в зависимости от предельной крупности заполнителя). Пробу помещают в фарфоровые чашки, сушат до постоянной массы при 110 ºС и взвешивают с точностью до 1 г, получая массу сухой пробы. Все дальнейшие операции производят с этими пробами параллельно.

Высушенные навески прокаливают в муфельной печи при температуре 500±100 ºС в течение 3 ч, после чего охлаждают в холодной воде. Если после одного цикла прокаливания и охлаждения произошла полная термическая дезагрегация бетона (отделение крупного заполнителя от растворной части), навеску просеивают

через сито с отверстием 5 мм, остаток на сите высушивают. Если после первого цикла не произошла полная дезагрегация бетона, процесс повторяют.

Зерна крупного заполнителя проверяют на присутствие карбонатов реакцией капли соляной кислоты на поверхности заполнителя. Обнаруженные зерна карбонатных пород отбирают и хранят отдельно.

Оставшиеся куски крупного заполнителя (за вычетом карбонатных зерен) обрабатывают два–три раза соляной кислотой разведенной в соотношении 1:10, декантацией (ополаскиванием), и затем три раза водой, один раз 1%-ным раствором гидроокиси натрия (декантацией) и еще раз два раза водой, после чего сушат, присоединяют отложенные карбонатные зерна и взвешивают.

В случае, если крупный заполнитель состоит в основном из карбонатных пород, обработка соляной кислотой не применяют.

Массовую долю крупного заполнителя в % вычисляют по формуле (1):

$$M_{к.з.} = \frac{m_1}{m} \cdot 100\ \% \qquad (1)$$

где

m – масса пробы высушенного бетона, г;

m_1 – общая масса отделенного крупного заполнителя бетона, г.

Массовую долю растворной части бетона в % вычисляют по формуле (2):

$$M_{раст.} = 100 - M_{к.з.} \qquad (2)$$

где $M_{к.з.}$ – масса крупного заполнителя в %, определенная по формуле (1).

За окончательный результат содержания крупного заполнителя в бетоне принимают усредненные результаты испытаний.

6.4 Определение содержания мелкого заполнителя в растворной части бетона

Количество мелкого заполнителя в растворной части бетона определяют весовым методом. Выделение мелкого заполнителя из растворной части осуществляют химическим методом селективного растворения вяжущего.

Нерастворимый остаток после растворения вяжущего считают мелким заполнителем бетона.

Используемые реактивы:

- соляная кислота (HCl) по ГОСТ 3118 – раствор с плотностью 1,19 г/см^3 и водные растворы 1:18 и 0,8%;

- натрия хлорид (NaCl) по ГОСТ 4233 – 10%-ный водный раствор;

- натрия карбонат (Na_2CO_3) по ГОСТ 83 – 10%-ный водный раствор;

- вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

- раствор I – в равных количествах смешивают растворы NaCl и HCl раствор 1:18;

- раствор II – в равных количествах смешивают растворы Na_2CO_3 и раствор NaCl.

Используемые оборудование и материалы:

- сито лабораторное с размером ячейки 80 мкм по ГОСТ Р 51568;

- ступа и пест фарфоровые по ГОСТ 9147;

- стеклянная посуда (стаканы, воронки) по ГОСТ 25336;

- фильтры беззольные белая лента;

- тигли платиновые по ГОСТ 6563;

- весы лабораторные по ГОСТ Р 53228;

- печь муфельная с рабочей температурой 1000 °С;

- плитка электрическая;

- шкаф сушильный.

Растворная часть бетона представляет собой смесь мелкого заполнителя и вяжущего. Из полученной пробы бетона по п. 6.3 выбирают растворную составляющую массой около 20–30 г. Отобранный материал растирают в ступке до прохождения через сито с размером ячейки 80 мкм. Далее пробу сушат при температуре 110 °С до постоянной массы.

В стаканы (150 мл) отбирают навески растворной части бетона массой 1г, приливают в них 60 мл раствора I и начинают фильтровать через неплотный фильтр (белая лента), собирая фильтрат в стаканы на 250 мл.

По окончанию фильтрования обмывают стакан (150 мл) и фильтр с осадком 3 раза 0,8%-ным раствором соляной кислоты, а затем 1 раз горячей водой. После этого промывают 50 мл раствора II; и затем 3 раза 0,8%-ным раствором соляной кислоты, а затем еще 1 раз горячей водой. В процессе промывки весь осадок должен быть перенесен на фильтр в воронку; стакан обтирают кусочком фильтра, чтобы избежать потери пробы.

Фильтры с осадком помещают во взвешенный платиновый тигель, озоляют и прокаливают до постоянной массы в муфельной печи при температуре 1000–1100 °С в течение 30–40 мин, охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Массовую долю нерастворимого остатка (Н.О.) в % вычисляют по формуле (3):

$$\text{Н.О.} = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100 \qquad (3)$$

где

m_1 – масса тигля с осадком, г;

m_o – масса тигля, г;

G – навеска , г.

6.5 Определение вида вяжущего в растворной части бетона

Фильтрат после определения Н.О. по п. 6.4 в основном представляет собой растворенное вяжущее вещество.

Фильтрат анализируется на присутствие растворимого диоксида кремния, оксида кальция, оксида магния, оксида железа и оксида алюминия.

По соотношению диоксида кремния и оксидов кальция, магния, железа и алюминия делают заключение о виде вяжущего. Если соотношение определяемых оксидов соответствует соотношению оксидов в портландцементе, то вяжущим в исследуемом образце бетона является портландцемент. В случае если соотношение определяемых оксидов не соответствует соотношению оксидов в портландцементе, то для получения вывода о виде вяжущего проводят дополнительные химические исследования (определение карбонатов, сульфатов, хлоридов, щелочей и др.).

6.5.1 Определение диоксида кремния

Используемые реактивы:

- соляная кислота по ГОСТ 3118 – раствор с плотностью 1,19 г/см^3;
- желатин по ГОСТ 11293 – 1%-ный водный раствор;
- вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Используемое оборудование и материалы:

- стеклянная посуда (стаканы, воронки) по ГОСТ 25336;
- колба мерная стеклянная, вместимостью 250 мл по ГОСТ 1770;
- тигли платиновые по ГОСТ 6563;
- печь муфельная с рабочей температурой 1000 ºС;
- фильтры беззольные белая лента;
- плитка электрическая.

Фильтрат, полученный в результате отделения нерастворимого остатка по п. 6.4, выпаривают досуха, добавляют 3–5 мл соляной кислоты и повторно выпаривают до исчезновения запаха хлористого водорода. Приливают 10 мл соляной кислоты и 10 мл раствора желатина, перемешивают в течение 5 минут, доливают 20 мл горячей воды и дают постоять на водной бане еще 15 минут. Осадок промывают горячей водой через неплотный фильтр (белая лента).

Фильтр с осадком помещают во взвешенный платиновый тигель, озоляют и прокаливают до постоянной массы в муфельной печи при температуре 1000–1100 ºС в течение 30–40 мин., охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Содержание растворимого диоксида кремния (SiO_2) в % определяют по формуле (4):

$$SiO_2 = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100 \qquad (4)$$

где

m_1 – масса тигля с осадком, г;

m_0 – масса тигля, г;

G – навеска, г.

Фильтрат, полученные после промывания осадка по п. 6.5.1.3 помещают в мерную колбу вместимостью 250 мл, доводят водой до метки и в дальнейшем используют для определения оксидов железа, алюминия, кальция и магния.

6.5.2 Определение оксида железа и оксида алюминия

Используемые реактивы:

- соляная кислота по ГОСТ 3118 – раствор с плотностью 1,19 г/см^3, водный раствор 1:3;
- азотная кислота по ГОСТ 701 – раствор с плотностью 1,4 г/см^3;
- аммиак водный по ГОСТ 3760 – 10 % водный раствор;
- сульфосалициловая кислота по ГОСТ 4478 – 20%-ный водный раствор;
- трилон Б по ГОСТ 10652 – титрованный 0,025М водный раствор;
- железо хлорное по ГОСТ 4147 – титрованный раствор;
- буферный раствор уксуснокислого натрия;
- индикаторная бумага Конго;
- вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Используемое оборудование и материалы:

- стеклянная посуда (стаканы, воронки) по ГОСТ 25336;
- колба мерная стеклянная, вместимостью 250 мл по ГОСТ 1770;
- бюретки стеклянные по ГОСТ 29252;.
- плитка электрическая.

Для определения оксида железа и оксида алюминия комплексометрическим методом 100 мл фильтрата после отделения диоксида кремния помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, добавляют 2–3 капли азотной кислоты, нагревают до температуры 50–60 °С, опускают в него кусочек индикаторной бумаги Конго и нейтрализуют раствором аммиака до изменения окраски бумаги из синего цвета в красный. Добавляют по каплям раствор соляной кислоты (1:3), пока не изменится окраска бумаги Конго (из красного в фиолетовый), добавляют еще 15 капель, затем 7–8 капель раствора сульфосалициловой кислоты и титруют трилоном

Б до обесцвечивания раствора. В эквивалентной точке раствор становится или бесцветным или светло–желтым, но он не должен быть розового оттенка.

Содержание оксида железа в % вычисляют по формуле (5):

$$Fe_2O_3 = \frac{V \cdot T(Fe_2O_3)}{G} \cdot 100 \quad , \qquad (5)$$

где

V – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование, мл;

$T(Fe_2O_3)$ – титр раствора трилона Б по Fe_2O_3, г/мл;

G – навеска, г.

Оттитровав железо, добавляют из бюретки трилон Б в таком количестве, чтобы его избыток после образования комплекса с алюминием был 10–15 мл.

Раствор по п. 6.5.2 нагревают до кипения, а затем охлаждают до 60 °С, нейтрализуют буферным раствором до изменения синей окраски бумаги Конго в красный и еще вводят 10 мл буферного раствора. Раствор повторно охлаждают до комнатной температуры и титруют раствором хлорного железа до появления устойчивой бурой окраски, не исчезающей в течение 1–1,5 минут.

Содержание оксида алюминия в % вычисляют по формуле (6):

$$Al_2O_3 = \frac{(V_0 - V_1 \cdot k) \cdot T(Al_2O_3)}{G} \cdot 100 \qquad (6)$$

где

V_1 – объем раствора хлорного железа, пошедшего на обратное титрование, мл;

V_0 – объем раствора трилона Б, добавленного после определения Fe_2O_3, мл;

$T(Al_2O_3)$ – титр раствора трилона Б по Al_2O_3, г/мл;

G – навеска, г;

k – коэффициент соотношения между концентрациями растворов трилона Б и хлорного железа.

6.5.3 Определение оксида кальция и оксида магния

Используемые реактивы:

- гидроокись калия по ГОСТ 24363 – 20%-ный водный раствор;

- соляная кислота по ГОСТ 3118 – раствор с плотностью 1,19 г/см^3, водный раствор 1:3;

- аммиак водный по ГОСТ 3760 – буферный раствор;

- аммиак водный по ГОСТ 3760 – 10%-ный водный раствор;

- трилон Б по ГОСТ 10652 – титрованный 0,025М водный раствор;

- индикатор кислотный хром темно-синий;

- азотная кислота по ГОСТ 701 – раствор с плотностью 1,4 г/см^3;

- вода дистиллированная по ГОСТ 6709;

- индикаторная бумага Конго.

Используемое оборудование и материалы:

- бюретки стеклянные по ГОСТ 29252;

- стеклянная посуда (стаканы, воронки) по ГОСТ 25336;

- фильтры беззольные белая лента.

Берут 50 мл фильтрата по п. 6.5.1, добавляют 3 капли азотной кислоты и кусочек бумаги Конго и нейтрализуют водным аммиаком до начала ее покраснения. После этого добавляют несколько капель раствора соляной кислоты 1:3 до посинения бумаги Конго. Затем добавляют несколько капель аммиака до появления слабого запаха.

Как только осадок полуторных оксидов коагулируется, его отфильтровывают через неплотный фильтр и промывают слабым аммиачным раствором (в дистиллированную воду добавляют несколько капель аммиака водного).

К фильтрату (после отделения) прибавляют от 5 до 15 мл трилона Б (в зависимости от предполагаемого количества CaO), чтобы предотвратить выпадение в осадок гидроксида кальция. Затем доливают 20 мл раствора гидроксида калия, на кончике шпателя вводят индикатор кислотный хром темно–синий, после чего дотитровывают раствор трилоном Б до перехода малинового окрашивания в устойчивое фиолетовое.

Содержание оксида кальция в % вычисляют по формуле (7):

$$\text{CaO} = \frac{V \cdot T(\text{CaO})}{G} \cdot 100 , \qquad (7)$$

где

V – объем 0,025М раствора трилона Б, пошедшего на титрование, мл;

T(CaO) – титр трилона Б по CaO, г/мл;

G – навеска, г.

Для определения оксида магния после титрования оксида кальция, добавляют в испытуемый раствор около 5 мл соляной кислоты (раствор 1:3), чтобы полностью растворился гидроксид магния, затем раствор хорошо перемешивают. Раствор при этом меняет цвет на розовый. Затем вводят 10 мл аммиачного буферного раствор и продолжают титрование трилоном Б до перехода цвета раствора из розового в устойчивый сине–голубой.

Массовую долю оксида магния в % вычисляют по формуле (8).

$$\text{MgO} = \frac{V_1 \cdot T(\text{MgO})}{G} \cdot 100 \qquad (8)$$

где

V_1 – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование MgO, мл;

T(MgO) – титр раствора трилона Б по MgO, г/мл;

G – навеска, г.

6.6 Определение гидратной воды в растворной части бетона

Гидратная вода представляет собой, в основном, потерю массы при прокаливании (ППП), за исключением органических примесей и углекислоты, если таковые присутствуют в испытуемом образце.

Используемое оборудование и материалы:

- весы лабораторные по ГОСТ Р 53228;

- печь муфельная с рабочей температурой 1000 ºС.

Определение потери массы при прокаливании производят из отдельно взятой навески, отобранной по п. 6.4.

В предварительно прокаленный и взвешенный платиновый или фарфоровый тигель помещают 1–1,5 г пробы, высушенной при температуре 105–110 ºС и постепенно нагревают в муфельной печи до температуры 950–1000 ºС, выдерживают при этой температуре в течение 30 мин, а затем охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Для достижения постоянной массы испытуемой навески

образца, прокаливание повторяют выдерживая образец в печи в течение 5 минут, необходимое количество раз.

Потери при прокаливании в % вычисляют по формуле (9):

$$\text{ППП} = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100 , \quad (9)$$

где:

m_1 – масса тигля с прокаленной навеской, г;

m_0 – исходная масса тигля, г;

G – навеска, г.

6.7 Определение содержания цемента в растворной части бетона

Исходя из процентного содержания нерастворимого остатка (НО), и потерь при прокаливании (ППП) содержание цемента в % в испытуемом образце рассчитывается по формуле (10):

$$\text{ЦЕМЕНТ} = 100\% - (\text{НО} + \text{ППП}) \quad (10)$$

6.8 Расчет состава бетона

Для расчета содержания основных компонентов в бетоне в кг/м^3, необходимо выполнить пересчет содержания компонентов в растворной части по отношению к бетону в %, по формуле (11):

$$D_i = \frac{C_i \cdot (100 - M_{к.з.})}{100}, \quad (11)$$

где

C_i – концентрация компонента в растворной части бетона, %;

$M_{к.з.}$ – массовая доля крупного заполнителя в бетоне, %.

Содержания основных компонентов в бетоне в кг/м^3 рассчитывают по формуле (12):

$$B_i = \frac{\rho_б \cdot D_i}{100}, \quad (12)$$

где

D_i – концентрация компонента в бетоне, %;

$\rho_б$ – плотность бетона, кг/м^3.

6.9 Определение содержания натрийсодержащей водорастворимой добавки

Количество введенной в состав бетона натрийсодержащей водорастворимой добавки вычисляют на основе результатов определения вещественного состава анализируемого бетона и результатов определения содержания водорастворимых щелочей в водных вытяжках, полученных из пробы бетона и материалов, примененных при производстве бетона (цемента, крупного и мелкого заполнителей, натрийсодержащей водорастворимой добавки, воды затворения).

Используемые реактивы:

- вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Используемое оборудование и материалы:

- стеклянная посуда (стаканы, воронки) по ГОСТ 25336;
- сито лабораторное с размером ячейки 80 мкм по ГОСТ Р 51568;
- ступа и пест фарфоровые по ГОСТ 9147;
- весы лабораторные по ГОСТ Р 53228;
- шкаф сушильный;
- пламенный фотометр;
- фильтры беззольные белая лента.

В результате физико-химических исследований бетона рассчитывают состав бетона, т.е. количество цемента, крупного и мелкого заполнителей и гидратной воды в кг/м^3. Процентное содержание каждого компонента (цемент, крупный и мелкий заполнители, гидратная вода и проектное количество в пересчете на сухое вещество натрийсодержащей водорастворимой добавки), содержащегося в бетоне рассчитывают по формуле (13):

$$D_i = \frac{B_i \cdot 100}{\rho_б},\%, \quad (13)$$

где

B_i – количество отдельного компонента в бетоне, кг/м^3;

$\rho_б$ – плотность бетона, кг/м^3.

Пробу бетона массой 200 г высушивают до постоянной массы при температуре 100 – 105 °С и измельчают до прохождения через сито с размером ячейки 80 мкм.

Исходный цемент затворяют дистиллированной водой в водоцементном соотношении, равным 0,4. Масса образца цемента для затворения не менее 200 г. Затворенный образец цемента хранят в нормальных условиях в течение 7 суток. После процесса гидратации пробу измельчают до прохождения через сито с размером ячейки 80 мкм и высушивают до постоянной массы при температуре 100–105 °С.

Пробы крупного и мелкого заполнителей, по 100 г каждая, высушивают до постоянной массы при температуре 100–105 °С и измельчают до прохождения через сито с размером ячейки 80 мкм.

Для изготовления водных вытяжкек берут навеску материала 50 г (проба бетона, гидратированный цемент, крупный и мелкий заполнители), и помещают в сосуд со 100 мл дистиллированной воды. Выдерживание материала в дистиллированной воде проводят в течение 3 дней. Затем материал отфильтровывают через фильтр белая лента и проводят анализ полученной водной вытяжки (фильтрата).

Водорастворимый натрий определяют из водных вытяжек в соотношении 1:10.

Для проведения анализа исследуемой натрийсодержащей водорастворимой добавки ее количество подбирают таким образом, чтобы концентрация натрия в анализируемом водном растворе не превышала 70 мг/л.

Определение водорастворимого натрия в воде затворения бетонной смеси проводят без разбавления исследуемой воды.

Количество водорастворимого натрия определяют на пламенном фотометре любой марки и вычисляют по калибровочному графику, построенному на основании результатов фотометрирования эталонных растворов.

Количество натрия в исследуемых материалах вычисляют по формуле (14):

$$A_{Na} = \frac{C \cdot V}{G} \cdot 10^{-4}, \% \ , \qquad (14)$$

где

C – количество натрия определенное с помощью калибровочного графика, мг/л;

V – объем анализированного раствора, мл;

G – масса навески исследуемого материала, г.

На основании данных полученных по формуле (11) рассчитывают количество натрия, которое приходится на долю каждого компонента бетона по формуле (15):

$$A'_{Na} = \frac{A_{Na} \cdot D_i}{100}, \% \ , \qquad (15)$$

где

A_{Na} – содержание натрия в отдельном компоненте бетона, %;

D_i – содержание отдельного компонента по отношению к бетону, %.

Расчет количества натрийсодержащей водорастворимой добавки по отношению к цементу в исследуемом бетоне производят по формуле (16):

$$C_{доб} = \frac{\left(A'_б - \left(A'_ц + A'_{кз.} + A'_{мз.} + A'_{вода}\right)\right) \cdot 10^4}{A_{Na\,доб} \cdot D_ц}, \% \ , \qquad (16)$$

где

$A'_б$ – количество натрия а бетоне, %;

$A'_ц$, $A'_{кз.}$, $A'_{мз.}$, $A'_{вода}$ – количество натрия приходящегося на долю гидратированного цемента, крупного, мелкого заполнителей и воды затворения бетонной смеси, %;

$A_{Na\,доб}$ – количество натрия в натрийсодержащей водорастворимой добавке в пересчете на сухое вещество, %;

$D_ц$ – содержание цемента по отношению к бетону, %.

Расчет количества натрийсодержащей водорастворимой добавки в кг/м^3 бетона проводят по формуле (17):

$$B_{доб} = \frac{C_{доб} \cdot B_ц}{100}, \qquad (17)$$

где $B_ц$ – количество цемента в бетоне, кг/м^3.

Приложение 1

Примеры расчета вещественного состава бетона

Пример 1

Дано: образец бетона (керн).

Задача: оценить равномерность распределения компонентов бетона в конструкции.

Решение:

Для оценки равномерности распределения компонентов в бетоне необходимо определить вещественный состав бетона в образце на разной глубине.

Для установления вещественного состава бетона необходимо определить:

- плотность бетона

- количество крупного заполнителя

- выполнить химический анализ растворной составляющей бетона (т.е. установить количество мелкого заполнителя и вяжущего)

- рассчитать содержание компонентов бетона в кг/м^3.

Для исследования был взят керн бетона высотой 200 мм и диаметром 100 мм. Для сопоставления результатов керн разделили на 3 части: верхнюю, среднюю и нижнюю.

Масса верхней части – 830 г

Масса средней чисти – 910 г

Масса нижней части – 890 г.

1. Плотность бетона определили по сухому веществу согласно ГОСТ 12730.1

Плотность образца верхней части составила 2372 кг/м^3

Плотность образца средней части составила 2337 кг/м^3

Плотность образца нижней части составила 2359 кг/м^3

2. Для определения крупного заполнителя образец бетона высушивали при 100^{o}С до постоянной массы.

Масса высушенной верхней части бетона составила 820 г.

Масса высушенной средней части бетона составила 895 г.

Масса нижней части бетона составила 880 г.

3. Высушенные образцы бетона подвергали термической обработке при температуре 500±100 $^\circ$С в течении 3 ч, после чего резко охлаждают холодной водой

для дезагрегации. Пробы осторожно разминаем и просеиваем через сито с отверстием 5 мм. Остаток на сите высушиваем до постоянной массы и взвешиваем

Масса крупного заполнителя в верхней части бетона составила 328 г.

Масса крупного заполнителя в средней части бетона составила 367 г.

Масса крупного заполнителя в нижней части бетона составила 365 г.

4. Количество крупного заполнителя в % определяют по формуле:

$$M_{к.з.} = \frac{m_1}{m} \cdot 100\ \%,$$

где

m – масса пробы высушенного бетона, г;

m_1 – общая масса отделенного крупного заполнителя бетона, г.

В образце верхней части

$$M_{к.з.} = \frac{328}{820} \cdot 100 = 40\ \%.$$

В образце средней части

$$M_{к.з.} = \frac{367}{895} \cdot 100 = 41\ \%.$$

В образце нижней части

$$M_{к.з.} = \frac{365}{880} \cdot 100 = 41,5\%.$$

5. Количество растворной составляющей бетона в %, которая состоит из мелкого заполнителя и вяжущего, рассчитывается по формуле:

$$M_{раст.} = 100 - M_{к.з.}.$$

В образце верхней части

$$M_{раст.} = 100 - 40 = 60\ \%.$$

В образце средней части

$$M_{раст.} = 100 - 41 = 59\ \%.$$

В образце нижней части

$$M_{раст.} = 100 - 41,5 = 58,5\%.$$

6. Растворную составляющую выделяют из бетона в количестве 20–30 г и растирают в ступке до прохождения через сито 008. Пробы высушивают при температуре 110 °С до постоянной массы.

Для анализа отбирают две навески массой 1–1,5 г

- для определения потери при прокаливании (ППП) при 1000 °С;

- для химического определения состава растворной составляющей.

7. Потери при прокаливании в % вычисляют по формуле:

$$\text{ППП} = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100,$$

где

m_1 – масса тигля с прокаленной навеской, г;

m_0 – исходная масса тигля, г;

G – навеска, г.

Потеря при прокаливании состоит в основном из гидратной воды.

В верхней части бетона:

$$\text{ППП} = \frac{4{,}3542 - 4{,}2614}{1{,}2050} \cdot 100 = 7{,}7\%.$$

В средней части бетона:

$$\text{ППП} = \frac{4{,}6291 - 4{,}5520}{1{,}1254} \cdot 100 = 6{,}85\%.$$

В нижней части бетона:

$$\text{ППП} = \frac{5{,}4720 - 5{,}4117}{1{,}0012} \cdot 100 = 6{,}02\%.$$

8. Навески, отобранные для химического анализа, подвергают обработкой селективными растворителями и фильтруют через неплотный фильтр (белая лента), собирая фильтрат в стаканы емкостью 250 мл. В процессе обработки весь осадок должен быть перенесен на фильтр.

9. Фильтры с осадком помещают во взвешенный платиновый тигель, озоляют и прокаливают до постоянной массы в муфельной печи при температуре 1000 °С.

10. Массовую долю нерастворимого остатка (НО) в % вычисляют по формуле:

$$\text{НО} = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100,$$

где

m_1 – масса тигля с осадком, г;

m_0 – масса тигля, г;

G – навеска, г.

В верхней части:

$$\text{НО} = \frac{42,4560 - 41,8206}{1} \cdot 100 = 63,54\ \%.$$

В средней части:

$$\text{НО} = \frac{42,8246 - 42,1759}{1} \cdot 100 = 64,87\ \%.$$

В нижней части:

$$\text{НО} = \frac{41,9650 - 41,2997}{1} \cdot 100 = 66,53\ \%.$$

Нерастворимый остаток принимаем за мелкий заполнитель.

11. В фильтрате после отделения нерастворимого остатка (НО) определяем диоксид кремния, оксиды железа, алюминия, кальция и магния (т.е. основные оксиды содержащиеся в вяжущем).

12. Диоксид кремния определяют весовым методом, выпаривая фильтрат и осаждая SiO_2 раствором желатина.

Содержание растворимого диоксида кремния (SiO_2) в % определяют по формуле:

$$SiO_2 = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100,$$

где

m_1 – масса тигля с осадком, г;

m_0 – масса тигля, г;

G – навеска, г.

В верхней части:

$$SiO_2 = \frac{34,6149 - 34,5544}{1} \cdot 100 = 6,05\ \%.$$

В средней части:

$$SiO_2 = \frac{33,9753 - 33,9163}{1} \cdot 100 = 5,9\%$$

В нижней части:

$$SiO_2 = \frac{34,5784 - 34,5296}{1} \cdot 100 = 5,78\%$$

13. Фильтрат, полученный после промывания диоксида кремния помещают в мерную колбу вместимостью 250 мл, доводят водой до метки и в дальнейшем используют для определения оксидов железа, алюминия, кальция и магния.

14. Для определения оксидов железа и алюминия отбирают аликвотную часть 100 мл.

Содержание оксида железа в % вычисляют по формуле:

$$Fe_2O_3 = \frac{V \cdot T(Fe_2O_3)}{G} \cdot 100$$

где

V – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование, мл;

$T(Fe_2O_3)$ – титр раствора трилона Б по Fe_2O_3, г/мл;

G – навеска, г.

В верхней части:

$$Fe_2O_3 = \frac{1,2 \cdot 0,0040}{0,4} \cdot 100 = 1,2\%$$

В средней части:

$$Fe_2O_3 = \frac{1,25 \cdot 0,0040}{0,4} \cdot 100 = 1,25\%$$

В нижней части:

$$Fe_2O_3 = \frac{1,22 \cdot 0,0040}{0,4} \cdot 100 = 1,22\%$$

15. Содержание оксида алюминия в % вычисляют по формуле:

$$Al_2O_3 = \frac{(V_0 - V_1 \cdot k) \cdot T(Al_2O_3)}{G} \cdot 100,$$

где

V_1 – объем раствора хлорного железа, пошедшего на обратное титрование, мл;

V_0 – объем раствора трилона Б, добавленного после определения Fe_2O_3, мл;

$T(Al_2O_3)$ – титр раствора трилона Б по Al_2O_3, г/мл;

G – навеска, г.;

k – коэффициент соотношения между концентрациями растворов трилона Б и хлорного железа.

В верхней части:

$$Al_2O_3 = \frac{(15 - 13,0 \cdot 0,98) \cdot 0,00255}{0,4} \cdot 100 = 1,44\ \%$$

.

В средней части:

$$Al_2O_3 = \frac{(15 - 12,95 \cdot 0,98) \cdot 0,00255}{0,4} \cdot 100 = 1,47\ \%$$

.

В нижней части:

$$Al_2O_3 = \frac{(15 - 13,03 \cdot 0,98) \cdot 0,00255}{0,4} \cdot 100 = 1,42\ \%$$

.

16. Для определения оксида кальция и магния из колбы объемом 250 мл (фильтрат после отделения диоксида кремния) отбирают для анализа аликвотную часть (50мл).

17. Содержание оксида кальция в % вычисляют по формуле:

$$CaO = \frac{V \cdot T(CaO)}{G} \cdot 100$$

где

V – объем 0,025М раствора трилона Б, пошедшего на титрование, мл;

T(CaO) – титр трилона Б по CaO, г/мл;

G – навеска, г.

В верхней части:

$$CaO = \frac{12,9 \cdot 0,002804}{0,2} \cdot 100 = 18,15\ \%$$

.

Содержание оксида кальция в средней части:

$$CaO = \frac{12,65 \cdot 0,002804}{0,2} \cdot 100 = 17,70\ \%$$

.

Содержание оксида кальция в нижней части:

$$CaO = \frac{12,39 \cdot 0,002804}{0,2} \cdot 100 = 17,34\ \%$$

18. Массовую долю оксида магния в % вычисляют по формуле:

$$MgO = \frac{V_1 \cdot T(MgO)}{G} \cdot 100$$

где

V_1 – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование MgO, мл;

T(MgO) – титр раствора трилона Б по MgO, г/мл;

G – навеска, г.

В верхней части:

$$MgO = \frac{1,5 \cdot 0,001215}{0,2} \cdot 100 = 0,90\ \%$$

В верхней части:

$$MgO = \frac{1,5 \cdot 0,001215}{0,2} \cdot 100 = 0,90\ \%$$

В верхней части:

$$MgO = \frac{1,35 \cdot 0,001215}{0,2} \cdot 100 = 0,82\ \%$$

Результаты эксперимента представлены в таблицах П1.1, П1.2 и П1.3

На основании экспериментальных данных можно сделать заключение, что компоненты бетона распределены не достаточно равномерно в исследуемой бетонной конструкции.

Таблица П1.1 – Химический состав растворной составляющей бетона

Анализируемый материал	Вещественный состав растворной составляющей (цементно-песчаной матрицы), %							Ц : П : $В_{гидр}$
	ППП	НО (песок)	Растворная часть (вяжущее)					
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	
Верхний слой бетона	7,7	63,54	6,05	1,44	1,20	18,15	0,9	1 : 2,1 : 0,25
Средний слой бетона	6,85	64,87	5,90	1,48	1,25	17,70	0,9	1 : 2,2 : 0,23
Нижний слой бетона	6,02	66,53	5,78	1,42	1,22	17,34	0,82	1 : 2,4 : 0,22

Таблица П1.2 – Вещественный состав бетона

Анализируемый материал	Вещественный состав, %		Содержание цемента от массы бетона, %	Ц : П : Щ : $В_{гидр}$ (по массе)	Водопоглощение, %	Плотность по сухому веществу, кг/м^3
	Крупный заполнитель	Растворная составляющая (цементно-песчаная матрица)				
Верхний слой бетона	40	60	17,9	1 : 2,1 : 2,2 : 0,25	5,6	2372
Средний слой бетона	41	59	17,2	1 : 2,2 : 2,4 : 0,23	5,2	2337
Нижний слой бетона	41,5	58,5	16,44	1 : 2,4 : 2,5 : 0,22	4,5	2359

Таблица П1.3 – Содержание компонентов в бетоне

Компонент	Содержание компонента, кг/м^3		
	Верхний слой бетона	Средний слой бетона	Нижний слой бетона
Цемент	427	401	385
Песок	898	882	925
Щебень	940	962	964
Вода гидратная	107	92	85

Пример 2

Дано: образец бетона.

Задача: определить вещественный состав бетона при условии, что песок (мелкий заполнитель) содержит карбонатные зерна.

Решение:

Для установления вещественного состава бетона необходимо определить:

- плотность бетона

- количество крупного заполнителя

- выполнить химический анализ растворной составляющей бетона (т.е. установить количество мелкого заполнителя и вяжущего)

- рассчитать содержание компонентов бетона в кг/м^3.

Для исследования был взят керн бетона высотой 220 мм и диаметром 100 мм. Для проведения испытаний из керна отобрана средняя часть.

1. Плотность бетона определили по сухому веществу согласно ГОСТ 12730.1

Плотность образца составила 2261 кг/м^3

2. Для определения крупного заполнителя образец бетона высушивали при 100^{o}С до постоянной массы.

Масса высушенной части бетона составила 750 г.

3. Высушенный образец бетона подвергли термической обработке при температуре 500±100 °С в течение 3 ч, после чего резко охлаждили холодной водой для дезагрегации. Пробы осторожно разминали и просеивали через сито с отверстием 5 мм. Остаток на сите высушили до постоянной массы и взвесили.

Масса крупного заполнителя исследуемой части бетона составила 303 г.

4. Количество крупного заполнителя в % определяют по формуле:

$$M_{к.з.} = \frac{m_1}{m} \cdot 100\ \%,$$

где

m – масса пробы высушенного бетона, г;

m_1 – общая масса отделенного крупного заполнителя бетона, г.

Количество крупного заполнителя составило:

$$M_{к.з.} = \frac{303}{750} \cdot 100 = 40,4\%.$$

5. Количество растворной составляющей бетона в %, которая состоит из мелкого заполнителя и вяжущего рассчитывается по формуле:

$$M_{раст.} = 100 - M_{к.з.}.$$

Количество растворной части составило:

$$M_{раст.} = 100 - 40,4 = 59,6\%.$$

6. Растворную составляющую выделяют из бетона в количестве 20-30 г и растирают в ступке до прохождения через сито 008. Пробы высушивают при температуре 110°С до постоянной массы.

Для анализа отбирают две навески массой 1-1,5 г

- для определения потери при прокаливании (ППП) при 1000 °С;
- для химического определения состава растворной составляющей.

7. Потери при прокаливании в % вычисляют по формуле:

$$ППП = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100,$$

где

m_1 – масса тигля с прокаленной навеской, г;

m_0 – исходная масса тигля, г;

G – навеска, г.

Потери при прокаливании составляют:

$$ППП = \frac{4,7235 - 4,6187}{1,1204} \cdot 100 = 9,35\%.$$

8. Поскольку в мелком заполнителе бетона – песке, присутствуют карбонатные зерна, необходимо определить количество выделяющегося углекислого газа CO_2 из пробы бетона.

Количество выделяющегося CO_2 определяют в кальциметре. Количество выделившегося CO_2 составило 2,5 %.

9. Навески отобранные для химического анализа подвергают обработкой селективными растворителями и фильтруют через неплотный фильтр (белая лента)

собирая фильтрат в стаканы на 250 мл. В процессе обработки весь осадок должен быть перенесен на фильтр.

10. Фильтры с осадком помещают во взвешенный платиновый тигель, озоляют и прокаливают до постояноой массы в муфельной печи при температуре 1000 °С.

11. Массовую долю нерастворимого остатка (НО) в % вычисляют по формуле:

$$НО = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100 .$$

где

m_1 – масса тигля с осадком, г;

m_0 – масса тигля, г;

G – навеска, г.

Нерастворимый остаток составил:

$$НО = \frac{43,6596 - 43,1086}{1} \cdot 100 = 55,10\ \% .$$

12. Поскольку карбонатные зерна, входящие в состав песка растворились под действием селективного растворителя, необходимо определить количество карбоната кальция приходящегося на долю песка.

$$CaO = \frac{2,5 \cdot 56}{44} \cdot 100 = 3,18\ \% .$$

$$CaCO_3 = 2,5 + 3,18 = 5,68\ \% .$$

Таким образом, определяемое количество мелкого заполнителя составляет:

$$M_{м.з.} = 55,10 + 5,68 = 60,78\ \% .$$

13. В фильтрате после отделения нерастворимого остатка (НО) определяем диоксид кремния, оксиды железа, алюминия, кальция и магния (т.е. основные оксиды, содержащиеся в вяжущем).

14. Диоксид кремния определяют весовым методом, выпаривая фильтрат и осаждая SiO_2 раствором желатина.

Содержание растворимого диоксида кремния (SiO_2) в % определяют по формуле:

$$SiO_2 = \frac{m_1 - m_0}{G} \cdot 100 .$$

где

m_1 – масса тигля с осадком, г;

m_0 – масса тигля, г;

G – навеска, г.

Количество диоксида кремния составляет:

$$SiO_2 = \frac{35,2526 - 35,1843}{1} \cdot 100 = 6,83\ \%$$

15. Фильтрат, полученный после промывания диоксида кремния помещают в мерную колбу вместимостью 250 мл, доводят водой до метки и в дальнейшем используют для определения оксидов железа, алюминия, кальция и магния.

16. Для определения оксидов железа и алюминия отбирают аликвотную часть 100 мл.

Содержание оксида железа в % вычисляют по формуле:

$$Fe_2O_3 = \frac{V \cdot T(Fe_2O_3)}{G} \cdot 100 ,$$

где

V – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование, мл;

$T(Fe_2O_3)$ – титр раствора трилона Б по Fe_2O_3, г/мл;

G – навеска, г.

Содержание оксидов железа составило:

$$Fe_2O_3 = \frac{1,4 \cdot 0,0040}{0,4} \cdot 100 = 1,4\% .$$

17. Содержание оксида алюминия в % вычисляют по формуле:

$$Al_2O_3 = \frac{(V_0 - V_1 \cdot k) \cdot T(Al_2O_3)}{G} \cdot 100$$

где:

V_1 – объем раствора хлорного железа, пошедшего на обратное титрование, мл;

V_0 – объем раствора трилона Б, добавленного после определения Fe_2O_3, мл;

$T(Al_2O_3)$ – титр раствора трилона Б по Al_2O_3, г/мл;

G – навеска, г.;

k – коэффициент соотношения между концентрациями растворов трилона Б и хлорного железа.

Содержание оксидов алюминия составило:

$$Al_2O_3 = \frac{(15 - 12,76 \cdot 0,98) \cdot 0,00255}{0,4} \cdot 100 = 1,59\ \%$$

18. Для определения оксида кальция и магния из колбы объемом 250мл (фильтрат после отделения диоксида кремния)отбирают для анализа аликвотную часть (50 мл).

19. Содержание оксида кальция в % вычисляют по формуле:

$$CaO = \frac{V \cdot T(CaO)}{G} \cdot 100$$

где

V – объем 0,025М раствора трилона Б, пошедшего на титрование, мл;

T(CaO) – титр трилона Б по CaO, г/мл;

G – навеска, г.

Содержание оксида кальция составило:

$$CaO = \frac{16,78 \cdot 0,002804}{0,2} \cdot 100 = 23,49\ \%$$

20. Массовую долю оксида магния в % вычисляют по формуле:

$$MgO = \frac{V_1 \cdot T(MgO)}{G} \cdot 100,$$

где

V_1 – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование MgO, мл;

T(MgO) – титр раствора трилона Б по MgO, г/мл;

G – навеска, г.

Содержание оксида магния составило:

$$MgO = \frac{1,97 \cdot 0,001215}{0,2} \cdot 100 = 1,2\%$$

Результаты эксперимента представлены в таблицах П1.4, П1.5 и П1.6

Таблица П1.4 – Химический состав растворной составляющей бетона

Анализируемый материал	Вещественный состав растворной составляющей (цементно-песчаной матрицы), %							Ц : П : $В_{гидр}$
	ППП/ в том числе CO_2	НО (песок)	Растворная часть (вяжущее)					
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	
Бетон с мелким заполнителем, содержащим карбонатные зерна	9,35/2,5	55,1	6,83	1,59	1,40	23,49	1,2	1 : 1,9 : 0,21

Таблица П1.5 – Вещественный состав бетона

Анализируемый материал	Вещественный состав, %		Содержание цемента от массы бетона, %	Ц : П : Щ : $В_{гидр}$ (по массе)	Водопоглощение, %	Плотность по сухому веществу, кг/м^3
	Крупный заполнитель	Растворная составляющая (цементно-песчаная матрица)				
Бетон с мелким заполнителем, содержащим карбонатные зерна	40,4	59,6	19,16	1 : 1,9 : 2,1 : 0,21	5,2	2261

Таблица П1.6 – Содержание компонентов в бетоне

Компонент	Содержание компонента, кг/м^3
	Бетон с мелким заполнителем, содержащим карбонатные зерна
Цемент	434
Песок	825
Щебень	911
Вода гидратная	91

Пример 3

Дано: образец бетона.

Задача: определить вещественный состав мелкозернистого бетона. Заполнитель представлен фракцией с размером частиц до 5 мм.

Решение:

Поскольку основная часть заполнителя бетона представлена фракцией с размером частиц до 5 мм, определение вещественного состава выполняют из общей массы бетона.

Определить вещественный состав в данном случае возможно при условии наличия цемента и заполнителя, использованных при изготовлении бетонной смеси.

Для установления вещественного состава мелкозернистого бетона необходимо определить:

- плотность бетона
- выполнить химический анализ растворной составляющей бетона (т.е. установить количество мелкого заполнителя и вяжущего)
- рассчитать содержание компонентов бетона в кг/м^3.

Для исследования был взят керн бетона высотой 180 мм и диаметром 100 мм. Для проведения испытаний из керна отобрана средняя часть.

Плотность бетона определили по сухому веществу согласно ГОСТ 12730.1

Плотность образца составила 2873 кг/м^3

Последовательность выполнения испытания и формулы для расчета идентичны представленным в настоящих Методических рекомендациях, а также в Примерах 1 и 2.

Результаты эксперимента представлены в таблицах П1.7, П1.8, П1.9 и П1.10

Таблица П1.7 – Результаты химического анализа цемента

Испытуемый образец	Химический состав, % масс.									
	П.П.П.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl^-
Цемент, используемый при изготовлении мелкозернистого бетона	2,50	19,93	4,56	3,36	63,89	1,96	3,08	0,21	0,47	0,02

Таблица П1.8 – Результаты химического анализа заполнителя мелкозернистого бетона

Испытуемый образец	Химический состав, % масс.									
	П.П.П.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl^-
Заполнитель мелкозернистого бетона	1,55	44,98	0,51	47,20	1,68	1,01	0,35	0,24	0,35	0,02

Таблица П1.9 – Результаты определения вещественного состава мелкозернистого бетона

Испытуемый образец	ППП, % масс.	Заполнитель З % масс.	Химический состав растворимой части бетона (вяжущее), % масс.					Ц : З
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	
Мелкозернистый бетон	4,73	76,03	3,88	0,97	1,08	12,62	0,8	1 : 3,92

Таблица П1.10 – Содержание компонентов в мелкозернистом бетоне

Компонент	Содержание компонента, кг/м^3
Цемент	557
Заполнитель	2183
Вода гидратная	133

Приложение 2

Пример расчета количества натрийсодержащей водорастворимой добавки в бетоне

Дано: образец бетона, пробы цемента, мелкого и крупного заполнителей, воды затворения и пластифицирующей добавки (натрийсодержащая водорастворимая добавка). Проектное количество введенной при изготовлении бетонной смеси пластифицирующей добавки – 0,86% от массы цемента.

Задача: определить количество пластифицирующей добавки в бетоне.

Решение:

Для определения пластифицирующей добавки в бетоне определяем вещественный состав исследуемого бетона и содержание водорастворимых щелочей, полученных из пробы бетона и материалов, примененных при производстве бетона (цемент, крупный и мелкий заполнители, пластифицирующая добавка, вода затворения). Проектное количество введенной при изготовлении бетонной смеси пластифицирующей добавки – 0,86% от массы цемента.

Определение вещественного состава бетона по методике описанной выше.

1. Согласно п. 3.1 определяем плотность бетона. Плотность образца бетона составила 2204 кг/м^3.

2. Согласно п. 3.3 определяем количество крупного заполнителя и количество растворной части в образце бетона. Количество крупного заполнителя составило 42% масс., по количество растворной составляющей составило 58% масс.

3. Согласно п. 3.4 определяем количество мелкого заполнителя в растворной части бетона. Количество мелкого заполнителя составило 57%.

4. Результаты химического анализа, выполненные по п. 3.5, подтверждают, что вяжущим в исследуемом бетоне является цемент.

5. Согласно п. 3.6 определяем количество гидратной воды в растворной части бетоне. Количество гидратной воды составило 7%.

6. Согласно п. 3.7 определяем количество цемента в растворной части бетона. Количество цемента составило 36%.

7. С учетом плотности бетона, находим массу компонентов бетона выраженную в кг/м^3, (В)

- цемент – 459 кг;

- мелкий заполнитель – 727 кг;

- крупный заполнитель – 924 кг;

- вода гидратная – 90 кг;

- пластифицирующая добавка – 4 кг

8. Определяем содержание компонентов в бетоне (D)

- цемент – 20,83%;

- мелкий заполнитель – 32,99%;

- крупный заполнитель – 41,92%;

- гидратная вода – 4,08%.

-пластифицирующая добавка – 0,18%

ВАРИАНТ 1

Определяем количество водорастворимого натрия в бетоне и в каждом его компоненте из водных вытяжек (1 : 10)

Для проведения анализа исследуемой добавки ее количество подбирают таким образом, чтобы концентрация натрия в анализируемом водном растворе не превышала 70 мг/л

Определение водорастворимого натрия в воде затворения бетонной смеси проводят без разбавления исследуемой воды.

Количество водорастворимого натрия определяют на пламенном фотометре любой марки и вычисляют по калибровочному графику, построенному на основании результатов фотометрирования эталонных растворов.

Количество натрия в исследуемых материалах вычисляют по формуле:

$$A_{Na} = \frac{C \cdot V}{G} \cdot 10^{-4}, \%$$

где

C – количество натрия определенное с помощью калибровочного графика, мг/л;

V – объем анализированного раствора, мл;

G – масса навески исследуемого материала, г.

В гидратированном цементе:

$$A_{Na} = \frac{42,5 \cdot 100}{10} \cdot 10^{-4} = 0,0425 \ \%$$

В мелком заполнителе:

$$A_{Na} = \frac{0,70 \cdot 100}{10} \cdot 10^{-4} = 0,0007 \ \%$$

В крупном заполнителе:

$$A_{Na} = \frac{0,80 \cdot 100}{10} \cdot 10^{-4} = 0,0008 \ \%$$

В воде затворения:

$$A_{Na} = 0,001 \ \%$$

В пластифицирующей добавке:

$$A_{Na} = 8,0\%$$

В бетоне:

$$A_{Na} = \frac{23,86 \cdot 100}{10} \cdot 10^{-4} = 0,02386 \ \%$$

Рассчитывают количество натрия, которое приходится на долю каждого компонента бетона по формуле:

$$A'_{Na} = \frac{A_{Na} \cdot D_i}{100},\%$$

где

A_{Na} – содержание натрия в отдельном компоненте бетона, %;

D_i – содержание отдельного компонента по отношению к бетону, %.

В гидратированном цементе:

$$A'_{Na} = \frac{0,0425 \cdot 20,83}{100} = 0,00885 \ \%$$

В мелком заполнителе:

$$A'_{Na} = \frac{0,0007 \cdot 32,99}{100} = 0,00023 \ \%$$

В крупном заполнителе:

$$A'_{Na} = \frac{0,0008 \cdot 41,92}{100} = 0,00034 \ \%$$

В воде затворения:

$$A'_{Na} = \frac{0,001 \cdot 4,08}{100} = 0,0004 \ \%$$

В пластифицирующей добавке:

$$A'_{Na} = \frac{8,0 \cdot 0,18}{100} = 0,01440 \ \%$$

В бетоне:

$$A'_{Na} = \frac{0,02386 \cdot 100}{100} = 0,02386 \ \%$$

Расчет количества пластифицирующей добавки по отношению к цементу в исследуемом бетоне производят по формуле:

$$C_{доб} = \frac{\left(A'_{б} - \left(A'_{ц} + A'_{к.з.} + A'_{м.з.} + A'_{вода}\right)\right) \cdot 10^{4}}{A_{Na\,доб} \cdot D_{ц}}, \%$$

где $A'_{б}$ – количество натрия а бетоне, %;

$A'_{ц}$, $A'_{к.з.}$, $A'_{м.з.}$, $A'_{вода}$ – количество натрия приходящегося на долю гидратированного цемента, крупного, мелкого заполнителей и воды затворения бетонной смеси, %;

$A_{Na\,доб}$ – количество натрия в пластифицирующей добавке в пересчете на сухое вещество, %;

$D_{ц}$ – содержание цемента по отношению к бетону, %.

Результаты физико-химического анализа бетона представлены в таблице П2.1.

Таблица П2.1 – Результаты физико-химического анализа бетона

Материал	Содержание в бетоне		Содержание водорастворимого натрия, %	
	B, кг/м^3	D, %	в исследуемых компонентах бетона, A_{Na}	приходящееся на долю компонента в бетоне, A'_{Na}
Цемент	459	20,83	0,0425	0,00885
Мелкий заполнитель	727	32,99	0,0007	0,00023
Крупный заполнитель	924	41,92	0,0008	0,00034
Вода (гидратная)	90	4,08	0,001	0,00004
Пласт. добавка (проектная)	4	0,18	8,0	0,01440

Бетон	2204	100	0,02386	0,02386

Рассчитываем концентрацию пластифицирующей добавки в бетоне.

$$C_{доб} = \frac{(0,02386 - (0,00885 + 0,00023 + 0,00034 + 0,00004)) \cdot 10^4}{8,0 \cdot 20,83} = 0,86\ \%$$

Таким образом, расчетная концентрация добавки ($C_{доб}$) составляет 0,86% от массы цемента в бетоне, что соответствует проектному количеству вводимой при производстве бетона пластифицирующей добавки.

ВАРИАНТ 2

Данные по вещественному составу бетона и количеству водорастворимого натрия в компонентах бетона не меняются (см. вариант 1), кроме количества водорастворимого натрия в бетоне.

Количество натрия в исследуемом бетоне вычисляют по формуле:

$$A_{Na} = \frac{C \cdot V}{G} \cdot 10^{-4},\%\ ,$$

где

C – количество натрия определенное с помощью калибровочного графика, мг/л;

V – объем анализированного раствора, мл;

G – масса навески исследуемого материала, г.

Количество натрия составило:

$$A_{Na} = \frac{38,26 \cdot 100}{10} \cdot 10^{-4} = 0,03826\ \%\ .$$

Расчет количества пластифицирующей добавки по отношению к цементу в исследуемом бетоне производят по формуле:

$$C_{доб} = \frac{(A'_б - (A'_ц + A'_{кз.} + A'_{мз.} + A'_{вода})) \cdot 10^4}{A_{Na\ доб} \cdot D_ц},\%$$

где

$A'_б$ – количество натрия а бетоне, %;

$A'_ц$, $A'_{кз.}$, $A'_{мз.}$, $A'_{вода}$ – количество натрия приходящегося на долю гидратированного цемента, крупного, мелкого заполнителей и воды затворения бетонной смеси, %;

$A_{\text{Na доб}}$ – количество натрия в пластифицирующей добавке в пересчете на сухое вещество, %;

$D_{\text{ц}}$ – содержание цемента по отношению к бетону, %.

Результаты физико-химического анализа бетона представлены в таблице П2.2.

Таблица П2.2 – Результаты физико-химического анализа бетона

Материал	Содержание в бетоне		Содержание водорастворимого натрия, %	
	B, кг/м^3	D, %	в исследуемых компонентах бетона, A_{Na}	приходящееся на долю компонента в бетоне, A'_{Na}
Цемент	459	20,83	0,0425	0,00885
Мелкий заполнитель	727	32,99	0,0007	0,00023
Крупный заполнитель	924	41,92	0,0008	0,00034
Вода (гидратная)	90	4,08	0,001	0,00004
Пласт. добавка (проектная)	4	0,18	8,0	0,01440
Бетон	2204	100	0,03826	0,03826

Рассчитываем концентрацию пластифицирующей добавки в бетоне.

$$C_{\text{доб}} = \frac{(0,03826 - (0,00885 + 0,00023 + 0,00034 + 0,00004)) \cdot 10^4}{8,0 \cdot 20,83} = 1,73\ \%$$

Таким образом, расчетная концентрация добавки ($C_{\text{доб}}$) составляет 1,73% от массы цемента в бетоне, что в два раза превышает проектные значения.

ВАРИАНТ 3

Данные по вещественному составу бетона и количеству водорастворимого натрия в компонентах бетона не меняются (см. вариант 1), кроме количества водорастворимого натрия в бетоне.

Количество натрия в исследуемом бетоне вычисляют по формуле:

$$A_{\text{Na}} = \frac{C \cdot V}{G} \cdot 10^{-4},\%\ ,$$

где

C – количество натрия определенное с помощью калибровочного графика, мг/л;

V – объем анализированного раствора, мл;

G – масса навески исследуемого материала, г.

Количество натрия составило:

$$A_{Na} = \frac{12,46 \cdot 100}{10} \cdot 10^{-4} = 0,01246 \ \% .$$

Расчет количества пластифицирующей добавки по отношению к цементу в исследуемом бетоне производят по формуле:

$$C_{доб} = \frac{\left(A'_б - \left(A'_ц + A'_{кз.} + A'_{мз.} + A'_{вода}\right)\right) \cdot 10^4}{A_{Na\ доб} \cdot D_ц}, \%$$

где

$A'_б$ – количество натрия а бетоне, %;

$A'_ц$, $A'_{кз.}$, $A'_{мз.}$, $A'_{вода}$ – количество натрия приходящегося на долю гидратированного цемента, крупного, мелкого заполнителей и воды затворения бетонной смеси, %;

$A_{Na\ доб}$ – количество натрия в пластифицирующей добавке в пересчете на сухое вещество, %;

$D_ц$ – содержание цемента по отношению к бетону, %.

Результаты физико-химического анализа бетона представлены в таблице П2.3.

Таблица П2.3 – Результаты физико-химического анализа бетона

Материал	Содержание в бетоне		Содержание водорастворимого натрия, %	
	B, кг/м^3	D, %	в исследуемых компонентах бетона, A_{Na}	приходящееся на долю компонента в бетоне, A'_{Na}
Цемент	459	20,83	0,0425	0,00885
Мелкий заполнитель	727	32,99	0,0007	0,00023
Крупный заполнитель	924	41,92	0,0008	0,00034
Вода (гидратная)	90	4,08	0,001	0,00004
Пласт. добавка (проектная)	4	0,18	8,0	0,01440

Бетон	2204	100	0,01246	0,01246

Рассчитываем концентрацию пластифицирующей добавки в бетоне.

$$C_{доб} = \frac{(0,01246 - (0,00885 + 0,00023 + 0,00034 + 0,00004)) \cdot 10^4}{8,0 \cdot 20,83} = 0,18\ \%$$

.

Таким образом, расчетная концентрация добавки ($C_{доб}$) составляет 0,18% от массы цемента в бетоне, что ниже проектной в 4,8 раза.

Приложение 3

Общие сведения об основных компонентах бетона

Вяжущее

В большинстве случаев в строительном бетоне вяжущим является портландцемент. Портландцемент – это порошкообразное гидравлическое минеральное вяжущее вещество, получаемое путем совместного помола цементного клинкера, гипса и добавок.

Цементный клинкер является продуктом равномерного обжига до спекания однородной сырьевой смеси, состоящей из карбонатных (мел, известняк) и глинистых (глина, суглинки) пород, имеющих повышенное содержание оксида кальция CaO (карбонатные породы), оксида кремния SiO_2, оксида алюминия Al_2O_3 (глинистые породы), и оксида железа Fe_2O_3 (глинистые породы). Также при производстве клинкера возможно введение в сырьевую смесь корректирующих добавок, содержащих повышенное количество необходимого для получения клинкера оксида.

Часто термин «портландцемент» заменяют термином «цемент». В свою очередь термин «цемент» означает собирательное название группы вяжущих веществ, главной составной частью которых являются силикаты и алюминаты кальция, образовавшиеся при высокотемпературной обработке сырьевых материалов, доведенных до частичного или полного плавления.

В зависимости от необходимых строительно-технических свойств бетона выбирают портландцемент необходимой марки и состава согласно ГОСТ 31108-2016

Мелкий заполнитель

Наиболее распространенным мелким заполнителем бетона является песок. Песок представляет собой мелкообломочную рыхлую осадочную горную породу, состоящую из зерен минералов разрушенных горных пород.

Природный песок представляет собой рыхлую смесь зерен размером 0,14–5 мм, образовавшуюся в результате разрушения твердых горных пород. Песок главным образом состоит из зерен минералов (кварца, полевого шпата, слюд и др.),

мелких обломков пород и иногда частиц скелетов ископаемых организмов (кораллов и др.). Размеры зерен в песках колеблются обычно от 0,1 до 2,0 мм.

По величине зерен выделяют пески:

- грубозернистые (1,0–2,0 мм);
- крупнозернистые (0,5–1,0 мм);
- среднезернистые (0,25–0,5 мм);
- мелкозернистые (0,01–0,25 мм).

Форма зерен частиц песка бывает окатанная, полуокатанная, угловатая и остроугольная, в зависимости от происхождения и длительности переноса зерен.

По происхождению песок может быть речным, озерным, морским и донным. По составу песок может быть кварцевым, глауконитокварцевым, аркозовым, магнетитовым, нефелиновым, слюдистым, полимиктовым и др. Чаще всего встречаются кварцевые и полимиктовые пески с большей или меньшей примесью других минеральных компонентов (глина, слюды, хлорит, оксилы железа, полевой шпат, глауконит, карбонаты). Часто песок бывает мономинеральным кварцевым, т.е. состоящим из почти чистого кварца.

В зависимости от условий залегания природные пески могут быть речные, морские, горны, овражные. Речные и морские пески имеют округлую форму зерен, горные пески содержат остроугольные зерна. Горные пески обычно содержат большее количество вредных примесей по сравнению с речными и морскими.

В современном строительстве при производстве бетона чаще всего используют речной и карьерный пески.

Речной песок – это природный материал, добываемый со дна рек. Данный вид песка практически не содержит глинистых частиц, а так же камней. Модули крупности речного песка в основном средние. Частицы речного песка бывают мелкими (до 2 мм), средними (2,0–2,8 мм) и крупными (2,9–5 мм). Цвет речного песка может быть серым или желтым. Основным недостатком речного песка является его высокая себестоимость.

Карьерный песок в отличие от речного песка как правило содержит различные примеси, в частности, глину и пыль. В связи с этим для изготовления

бетона карьерный песок необходимо обрабатывать вымыванием большим количеством воды.

Также существует так называемый искусственный песок, который получают в результате дробления таких горных пород как гранит, мрамор, известняк, а также техногенных продуктов – шлаков. Искусственный песок обычно применяют для изготовления декоративных бетонных изделий.

Крупный заполнитель

В технологии производства бетона в качестве крупного заполнителя обычно применяют различные виды щебня. Щебень представляет собой материал, получаемый в результате измельчения и последующего просеивания горных пород.

Выделяют четыре вида щебня.

- Гранитный щебень.

Представляет собой нерудный строительный материал, который извлекается из твердой породы. Наиболее распространенной фракцией гранитного щебня, используемого при производстве бетона является фракция с размерами частиц 5–20 мм.

- Гравийный щебень.

Представляет собой материал, который производится в результате просеивания карьерной породы или дробления каменной скалы. По прочности на сжатие данный вид щебня уступает гранитному.

- Известняковый щебень.

Представляет собой продукт переработки осадочной горной породы – известняка. Используется в производстве мелкоштучных бетонных изделий.

- Вторичный щебень.

Данный вид щебня получают путем переработки строительного мусора – кирпича, бетона и асфальта. Технология производства вторичного щебня идентична технологиям для других видов щебня. По основных техническим характеристикам вторичный щебень уступает натуральным видам щебня.

Часто при производстве бетона используют смешанный щебень, представляющий собой смесь зерен щебня различного вида.

Химическая пластифицирующая добавка

При производстве современного бетона практически всегда используются различные химические добавки, улучшающие строительно-технические свойства бетона. Наиболее распространенной химической добавкой является пластифицирующая добавка (пластификатор), которая зачастую дополнительно оказывает водоредуцирующее действие в бетонной смеси.

Единого мнения о механизме действия пластификаторов в настоящее время нет, однако возможно выделить главные этапы процесса пластификации: адсорбция молекул олигомеров на поверхности твердой фазы частиц, изменение электрохимического потенциала поверхности, проницаемость образующейся адсорбционной оболочки и двойного электрического слоя полярными молекулами воды и продуктами растворения твердой фазы, а также изменение толщины водной прослойки, находящейся у поверхности твердого тела в адсорбционном слое. Необходимо принимать во внимание, что механизм пластификации в большей степени зависит от строения молекулы адсорбирующегося олигомера, от ее длины, количества и порядка расположения активных групп, а также ее гидрофильно-липофильных свойств.

Основываясь на главных этапах процесса пластификации, в настоящее время, существуют 4 главные теории разжижающего действия пластификаторов:

- Разжижающее действие добавок обусловлено появлением мельчайших воздушных пузырьков, выполняющих роль смазки;
- Действие пластификаторов объясняется снижением поверхностного натяжения воды, что приводит к улучшению смачивающей способности твердой фазы;
- Пластификаторы образуют на поверхности твердой фазы коллоидно-кальциевые соединения, выполняющие роль смазки – топохимическая реакция;

- Дисперсионный эффект, создаваемый пластификаторами, основан на адсорбции молекул пластификатора частицами цемента и передачи им отрицательного заряда, что приводит к их электростатическому отталкиванию и образованию между ними пространственного барьера, а значит, к дисперсии.

Гидратация цементных зерен и процесс пластификации взаимно влияют друг на друга, гидратация, в частности образование эттрингита, препятствует проявлению свойств пластификатора – ранее адсорбированные молекулы перекрываются слоем эттрингита, что снижает эффективность пластификатора. Однако молекулярная структура, в свою очередь, может препятствовать процессу гидратации, в случае пластификаторов на основе традиционного эфира поликарбоновых кислот, молекулы покрывают всю поверхность цементного зерна и образуют барьер, препятствующий контакту с водой.

Можно сделать вывод, что эффект пластификации органических добавок – разжижение цементно-водной суспензии определяется проявлением нескольких процессов: высвобождение адсорбируемой воды с поверхности зерен цемента и снижение внутреннего трения в суспензии из-за образования на поверхности зерен цемента пленки, состоящей из крупных полярных молекул, и возникновения одноименного электрического поверхностного заряда, отталкивающего частицы и облегчающего их скольжения.

В зависимости от пластифицирующего эффекта, добавки-пластификаторы делятся на следующие типы.

- Гиперпластификаторы

Представляют собой суперпластификаторы нового поколения на основе поликарбоксилатных полимеров. В отличии от традиционных суперпластификаторов, действие суперпластификаторов данного типа, в силу особенности используемых полимеров, в основном базируется на стерическом эффекте, благодаря которому снижается трение компонентов суспензии строительного раствора.

- Суперпластификаторы (например разжижитель С-3 ТУ 6-36-020429-625, разжижитель СМФ ТУ 6-14-929, суперпластификатор 10-03 ТУ 44-3-874, меламинформальдегидная анионоактивная смола марки МФ-АР ТУ 6-05-1926, и д.р.);
- Сильнопластифицирующие: (например аплассан АПЛ, лингопан Б-3, лингосульфанат технический модифицированный ЛСТМ-2 ТУ 13-0281036-16, и д.р.);
- Среднепластифицирующие: (например лингосульфанаты технические ЛСТ ОСТ 13-183-83, плав дикарбоновых кислот ПДК ТУ 6-03-20-70, С-1 ТУ 6-14-10-55 и д.р.);
- Слабопластифицирующие: (например нейтральный черный контакт НЧК ТУ 38-602-22-18, черный сульфатный щелок ЧСЩ, мылонафт М1 ГОСТ 13302, синтетическая пластифицирующая добавка СПДФ ТУ 38-502 и д.р.).

Из общего количества добавок пластификаторов бетонных смесей наиболее распространены нафталинформальдегидные соединения и соединения на основе поликарбоксилатов.

- Нафталинформальдегидные пластификаторы бетонных смесей.

Наиболее широко распространенной добавкой-пластификатором данного типа является суперпластификатор С-3, который выпускается большим количеством производителей добавок для бетонных смесей, часто с собственными коммерческими названиями. С-3 представляет собой смесь натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы.

В целом, С-3 является универсальной добавкой для цемента при производстве бетона и железобетона. С-3 легко смешивается с водой, с другими добавками-гидрофобизаторами, ускорителями или замедлителями схватывания и др., благодаря химически малоактивной формуле.

Структурная формула С-3 представлена на рисунке П3.1.

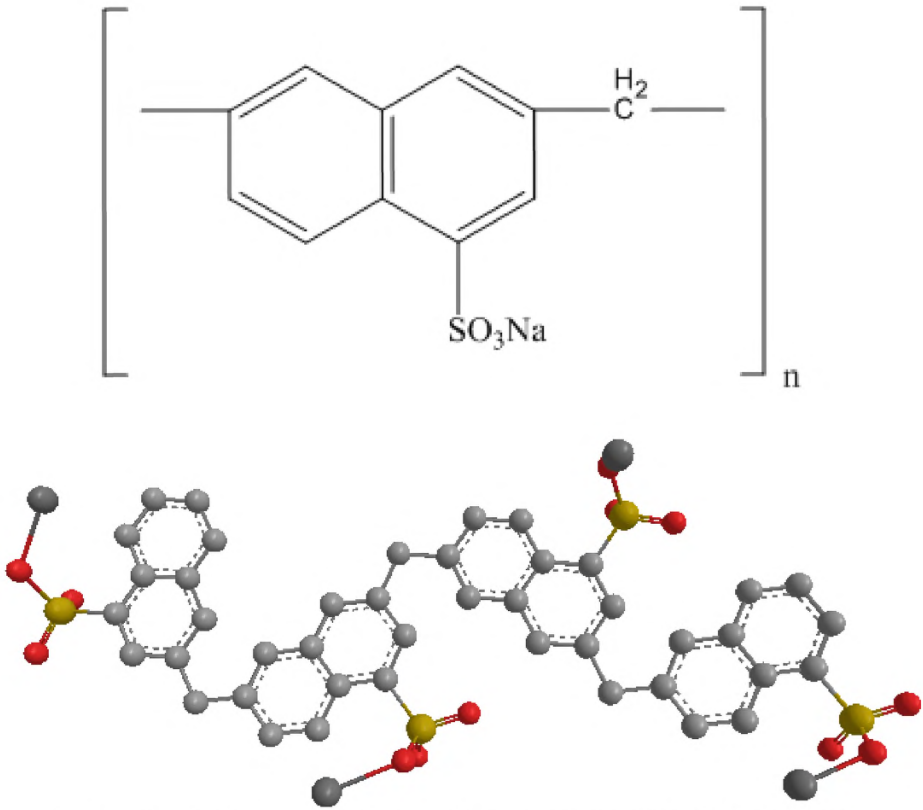
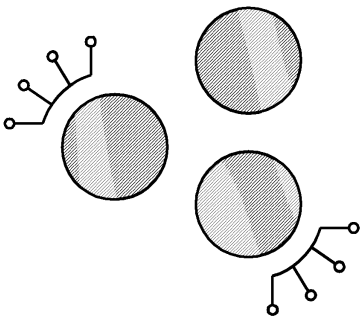


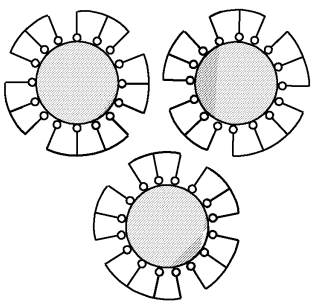
Рисунок П3.1 – Структурная формула суперпластификатора С-3; n обычно составляет от 4 до 200

Как видно из структурной формулы, С-3 является нафталинформальдегидным соединением. Принцип действия основывается на сильном смещении ξ-потенциала частиц цемента в отрицательную область. Диспергирование частиц цемента (рисунок П3.2) происходит в самом начале гидратации, при этом, имеет место хемосорбция молекул пластификатора на поверхности частиц цемента, особенно при повышенном содержании в составе цемента фаз C_3S и C_2S. При росте продуктов гидратации наблюдается резкое падение подвижности системы. Различные электронно-микроскопического

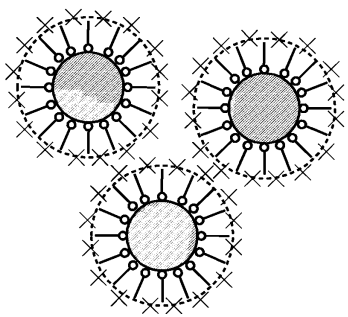
исследования показывают, что введение пластификатора С-3 приводит к диспергированию частичек цемента в цементно-водной суспензии, в то время как без добавки частички цемента в воде агрегированы.



а)



б)



в)

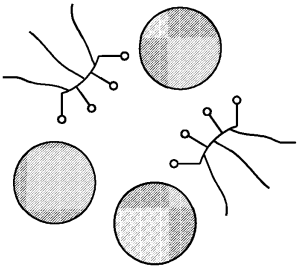
Рисунок П3.2 – Схематичное изображение процесса диспергирования: а) начальный этап гидратации, б) хемосорбция пластификатора на поверхности зерен цемента, в) частично гидратированные частицы цемента

- Пластификаторы бетонных смесей на основе поликарбоксилатов.

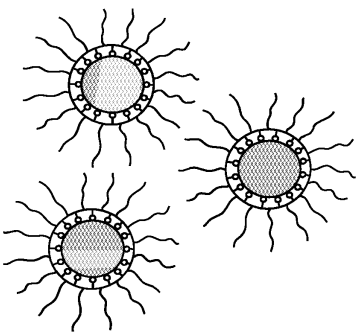
Пластификаторы на основе поликарбоксилатов относят к классу гиперпластификаторов и представляет собой порошковый продукт, полученный методом распылительной сушки

Действие пластификаторов поликарбоксилатного типа основано на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффекта, который достигается с помощью боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекулы поликарбоксилатного эфира (рисунок П3.3). За счет этого

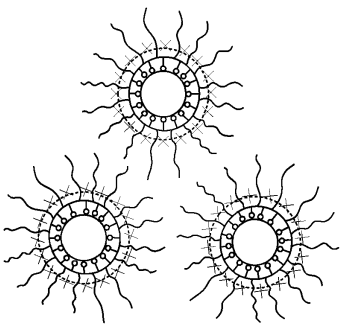
водоредуцирующее действие таких пластификаторов в несколько раз сильнее, чем у обычных.



а)



б)



в)

Рисунок П3.3 – Схематичное изображение процесса диспергирования: а) начальный этап гидратации, б) хемосорбция пластификатора на поверхности зерен цемента, в) частично гидратированные частицы цемента

Типовая структурная формула поликарбоксилатного пластификатора приведена на рисунке П3.4.

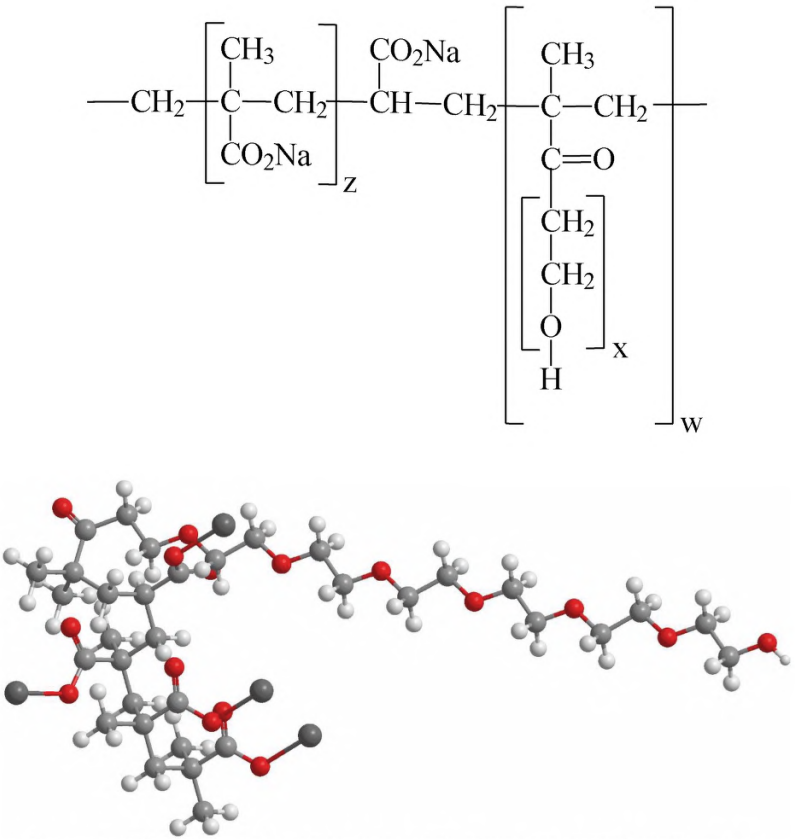


Рисунок П3.4 – Типовая структурная формула поликарбоксилатного пластификатора, отношение *z* к *w* обычно равно 3 к 1, *x* составляет от 7 до 200

Как видно из рисунка П3.3, при росте продуктов гидратации (рис. П3.3 в), подвижность системы сохраняется за счет длинных полиэфирных цепей. Именно данный эффект различает механизм действия нафталинформальдегидных пластификаторов типа С-3 от поликарбоксилатных пластификаторов.

Увеличение стерического эффекта позволяет уменьшить влияние поликарбоксилатного пластификатора на гидратацию цементных зерен (Рисунок П3.5).

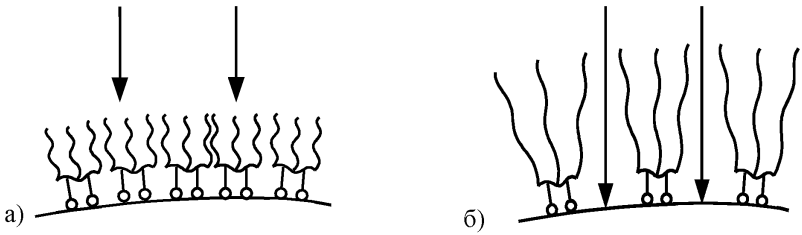


Рисунок П3.5 – Схематическое изображение поликарбоксилатных пластификаторов с различной длиной боковых полиэфирных цепочек: а) влияющие на гидратацию, б) не влияющие на гидратацию

Гиперпластификатор поликарбоксилатного типа из-за наличия коротких боковых цепей образует временный, но довольно плотный поверхностный слой, непроницаемый для воды. Таким образом, данный поликарбоксилатный пластификатор затормаживает гидратацию зерен цемента. В зависимости от условий синтеза получают поликарбоксилаты с различными длинами боковых полиэфирных цепочек (Рисунок П3.6). Это позволяет создавать пластификаторы с разным соотношением стерического эффекта и анионной активности.

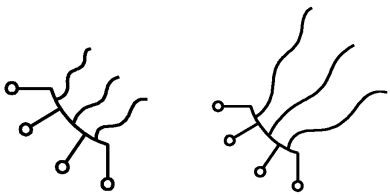


Рисунок П3.6 – Схематическое изображение поликарбоксилатных пластификаторов с различной длиной боковых полиэфирных цепочек

Точных состав химических пластифицирующих добавок для изготовления бетонных смесей является коммерческой тайной производителя. Однако можно утверждать, что большинство пластифицирующих добавок являются комплексными т.е. сочетающими различные эффекты воздействия на бетонную смесь, например пластифицирующий, водоредуцирующий и противоморозный эффект. Непосредственно пластифицирующие добавки для бетонных смесей часто состоят из смеси пластификаторов разного типа: например смеси нафталинформальдегидных и поликарбоксилатных.

Приложение 4

Фотоматериалы процесса определения вещественного состава бетона



Фото 1 – Работы по отбору пробы бетона – керна из железобетонной конструкции



Фото 2 – Работы по отбору пробы бетона – керна из железобетонной конструкции



Фото 3 –Работы по отбору пробы бетона – керна из железобетонной конструкции



Фото 4 – Работы по отбору пробы бетона – керна из железобетонной конструкции



Фото 5 – Работы по отбору пробы бетона – керна из железобетонной конструкции



Фото 6 – Работы по отбору пробы бетона – керна из железобетонной конструкции



Фото 7 – Отобранная проба бетона - керн



Фото 8 – Отобранная проба бетона - керн



Фото 9 – Проба бетона – керн в лаборатории



Фото 10 – Проба бетона после отбора растворной части на разной глубине образца



Фото 11 – Пример пробы бетона с карбонатным заполнителем



Фото 12 – Измельчение растворной составляющей бетона



Фото 13 м Пример гравийного щебня – крупного заполнителя бетона



Фото 14 – Пример смешанного щебня – крупного заполнителя бетона



Фото 15 – Пример мелкого заполнителя бетона – кварцевого песка



Фото 16 – Пример вяжущего для производства бетона - портландцемент



Фото 17 – Пример компонентов бетона

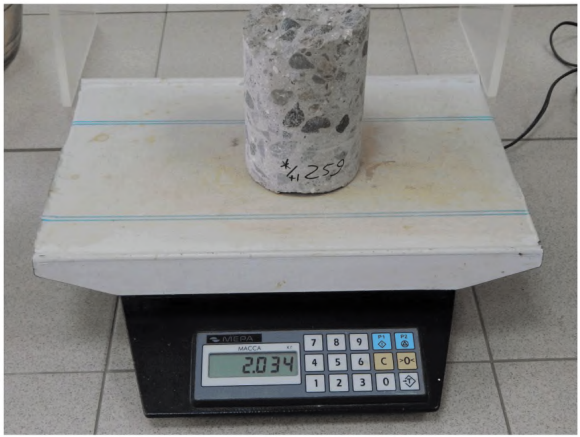


Фото 18 – Определение массы пробы керна

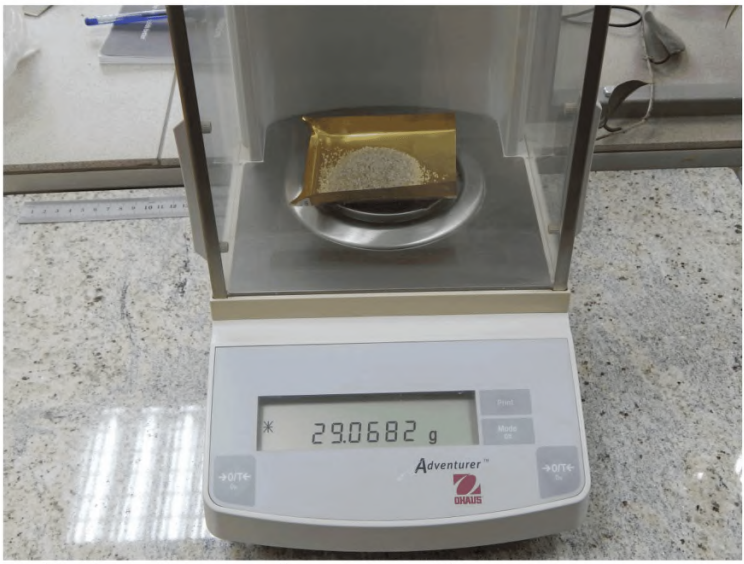


Фото 19 – Взвешивание проб компонентов бетона на аналитических весах


Фото 20 – Хранение проб в эксикаторах



Фото 21 м Обработка растворной части бетона селективными растворителями



Фото 22 – Нерастворимый остаток на бумажном фильтре



Фото 23 – Озоление фильтра с нерастворимым остатком

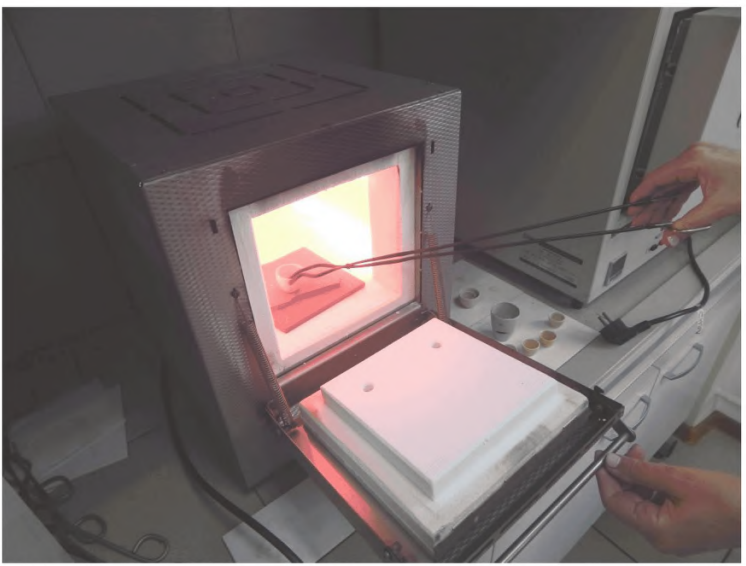


Фото 24 – Прокаливание тигля с нерастворимым остатком в муфельной печи

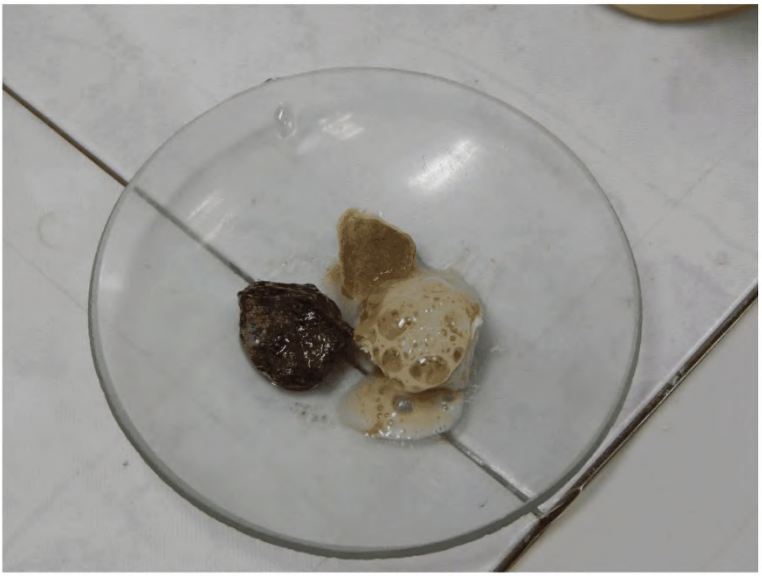


Фото 25 – Определение наличия карбонатных зерен в крупном заполнителе



Фото 26 – Определение наличия карбонатных зерен в крупном заполнителе



Фото 27 – Процесс титрования, определение основных оксидов



Фото 28 – Процесс титрования, определение основных оксидов



Фото 29 – Процесс титрования, определение основных оксидов



Фото 30 – Прокаливание тиглей с материалом



Фото 31 – Выпаривание растворов



Фото 32 – Осаждение оксидов алюминия и железа



Фото 33 – Селективные растворители



Фото 34 – Лабораторное оборудование. Калориметр



Фото 35 – Лабораторное оборудование. Пламенный фотометр



Фото 36 – Лабораторное оборудование. Пламенный фотометр



Фото 37 – Лабораторное оборудование. Рентгенофлуоресцентный спектрометр, предназначенный для анализа портландцемента

gost.e-ecolog.ru