



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

---

**Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»**

**В. В. Бабицкий  
С. Н. Ковшар**

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА  
И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ  
БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

*Конспект лекций*

**Минск  
БНТУ  
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

В. В. Бабицкий  
С. Н. Ковшар

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ  
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОННЫХ  
И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

Конспект лекций

для студентов дневной и заочной формы обучения специальности  
1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 624.012.45:658.562(075.8)

ББК 38.53я7

Б12

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология бетона и строительные материалы» Белорусского национального технического университета *В. В. Опекунов*;  
канд. техн. наук, зав. кафедрой «Организация строительства и управление недвижимостью» Белорусского национального технического университета *Р. А. Минеев*

**Бабицкий, В. В.**

Б12 Контроль качества и эксплуатационная долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций : конспект лекций для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» / В. В. Бабицкий, С. Н. Ковшар. – Минск : БНТУ, 2014. – 94 с.  
ISBN 978-985-550-139-9.

В настоящем издании приведен текст лекций по дисциплине «Контроль качества и эксплуатационная долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций» для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций».

Конспект лекций состоит из двух частей. Первая часть посвящена вопросам организации контроля качества сырья и готовой продукции на предприятия по производству бетонных и железобетонных изделий. Вторая часть посвящена рассмотрению коррозионных процессов и агрессивных сред, воздействующих на бетонные и железобетонные конструкции, а также технико-экономических аспектов коррозии. Подробно рассматриваются разновидности коррозии бетона и железобетона, методы защиты от коррозии, методы исследования коррозионных процессов бетона и железобетона.

УДК 624.012.45:658.562(075.8)

ББК 38.53я7

ISBN 978-985-550-139-9

© Бабицкий В. В., Ковшар С. Н., 2014

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Часть 1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	6
1.1. Понятие о качестве продукции.....	6
1.2. Система показателей качества.....	7
1.3. Основные требования к качеству сборных бетонных и железобетонных изделий в соответствии с ГОСТ 13015.0.....	10
1.4. Контроль качества изделий.....	17
1.5. Маркировка изделий.....	22
1.6. Документ о качестве изделия.....	24
1.7. Хранение и транспортирование изделий.....	25
1.8. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов.....	27
1.9. Контроль точности геометрических параметров.....	29
1.10. Неразрушающий контроль прочности бетона.....	31
1.11. Лаборатория предприятия.....	34
1.12. Отдел технического контроля предприятия (ОТК).....	37
1.13. Однородность бетона.....	40
1.14. Назначение и общие положения ГОСТ 18105.....	41
1.15. Порядок расчетов согласно ГОСТ 18105.....	42
1.16. Испытание конструкций на прочность, жесткость и трещиностойкость.....	46
Часть 2. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ.....	50
2.1. История развития науки о долговечности.....	50
2.2. Классификация коррозионных процессов и агрессивных сред.....	51
2.3. Техничко-экономические аспекты коррозии.....	58
2.4. Схема агрессивного воздействия на промышленное здание.....	61
2.5. Коррозия бетона I вида.....	61
2.6. Коррозия бетона II вида.....	65
2.7. Коррозия бетона III вида.....	69

2.8. Внутренняя коррозия бетона – коррозия бетона в результате взаимодействия щелочей цемента с кремнеземом заполнителя.....	75
2.9. Биокоррозия бетона. Защита от биокоррозии.....	76
2.10. Коррозия стальной арматуры железобетонных конструкций.....	77
2.11. Газовая коррозия бетона.....	79
2.12. Коррозия арматуры под действием ионов хлора.....	83
2.13. Методы защиты металлов от коррозии.....	83
2.14. Методы исследования коррозионных процессов бетона и железобетона.....	85

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящем конспекте лекций изложен материал по дисциплине «Контроль качества и эксплуатационная долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций» для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций».

Целью изучения студентами дисциплины является овладение основами оценки качества готовой продукции и теоретическими знаниями процессов коррозии бетона и железобетона, освоение методов обеспечения долговечности.

Задачами курса являются изучение вопросов, которые определяют систему контроля качества бетонных и железобетонных изделий и конструкций, ознакомление с методами контроля коррозионного состояния бетона и стальной арматуры, знакомство с основными видами коррозионного поражения бетона и стали, получение понятий о прогнозировании долговечности строительных материалов.

Для успешного изучения дисциплины студент должен предварительно усвоить бетоноведение, неразрушающие методы исследования качества строительных материалов, изучить железобетонные конструкции.

# Часть 1. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

## 1.1. Понятие о качестве продукции

Понятие качества является одним из основных в теории и практике стандартизации. Качество продукции стало в настоящее время решающим фактором, по которому судят о развитии производства. В ТНПА сконцентрированы наиболее прогрессивные показатели качества каждого изделия, определяемые с учетом отечественного и зарубежного опыта и последних достижений науки и техники. Требования к качеству продукции, устанавливаемые в ТНПА, являются обязательными для всех изготовителей данной продукции.

Под **качеством продукции** принято понимать совокупность свойств, определяющих пригодность продукции для использования по назначению.

Каждый вид продукции обладает вполне определенными свойствами (проявлениями), представляющими интерес для потребителей. Для продукции строительной индустрии это – прочность, объемная масса, степень точности размеров изделий, теплопроводность, морозостойкость, стойкость по отношению к действию воды, агрессивных жидкостей и газов и т. д. Любое из этих свойств продукции определяется тремя числовыми параметрами: размером (абсолютным показателем), оценкой (относительным показателем) и весомостью.

*Размер* свойства обычно определяется измерением физико-механических и иных характеристик материала или изделия и выражается в соответствующих единицах.

*Оценка* характеризует степень удовлетворения групповой потребности в данном свойстве и носит общественный характер. В процессе оценки сопоставляют значение некоторого показателя продукции с базовым (показателем эталонного изделия).

*Весомость* определяет важность данного свойства среди остальных свойств, составляющих качество. Весомости единичных свойств, входящих в одно более сложное свойство, связаны обычно так, что увеличение весомости любого свойства может происходить лишь за счет уменьшения весомости других свойств.

Определены три группы количественных показателей, используемых при оценке качества продукции: единичные, комплексные и интегральные.

Измерением качества продукции занимается **квалиметрия**. Предметом квалиметрии является разработка научно обоснованной методологии измерения и количественной оценки качества продукции. Квалиметрия тесно связана со стандартизацией. Именно стандартизация обеспечивает сопоставимость результатов измерения и оценки качества продукции. В ТНПА установлены единые методы контроля качества, которые облегчают использование методов квалиметрии.

Для измерения свойств качества продукции квалиметрия использует три типа методов: инструментальный, органолептический и комбинированный.

*Инструментальные методы* основаны на использовании приборов для оценки показателей свойств продукции. Они имеют сложившуюся научную базу и широко применяются при проектировании, производстве и использовании продукции. В основе инструментальных методов лежит метрология.

*Органолептические методы* основаны на анализе ощущений человека. Эти методы применяют для измерения таких свойств продукции, которые пока не поддаются измерению с помощью приборов и аппаратов (оценка качества пищевых продуктов на основе дегустации, оценка качества интерьеров помещений и т. п.).

*Комбинированные методы* заключаются в сочетании инструментальных и органолептических методов оценки качества продукции. Теория комбинированного метода разработана пока недостаточно, но его применяют на практике довольно широко.

## **1.2. Система показателей качества**

С точки зрения оценки качества вся промышленная продукция разделяется на два класса: *продукция, расходуемая при использовании; продукция, расходуемая при использовании свой ресурс.*

Эти классы продукции включают в свою очередь, пять групп. К *группе 1* относят сырье и природное топливо. Например, полезные ископаемые, жидкое, твердое и газообразное топливо, строительные материалы из горных пород. К *группе 2* относятся материалы и продукты. Например, смазочные масла, металлические заготовки, химические продукты, большинство строительных материалов (цемент, заполнители бетона, лесные материалы, нефтяные битумы, полимеры и т. д.). В *группу 3* входят так называемые расходные изделия (пищевые продукты, провода и кабели в катушках, закладные детали в же-



лезобетонных изделиях). *Группу 4* составляют неремонтируемые (невосстанавливаемые) изделия, а именно: болты, гайки, кирпич, керамические плитки, облицовочные плитки из полистирола и т. п. К *группе 5* относят ремонтируемые (восстанавливаемые) изделия. Это технологическое оборудование, применяемое на предприятиях промышленности строительных материалов (виброплощадки, бетоносмесители, камеры тепловой обработки, каландры, мостовые краны и т. д.), измерительная и испытательная техника. К ремонтируемым изделиям следует отнести также различные здания, инженерные сооружения и некоторые строительные конструкции.

*Показатели надежности и долговечности* характеризуют свойства надежности и долговечности материалов и изделий в конкретных условиях эксплуатации. Свойство надежности закладывается на стадии разработки продукции, обеспечивается на стадии ее производства и поддерживается на стадии эксплуатации. Для контроля большинства свойств строительных изделий (прочности, водонепроницаемости, теплопроводности, отсутствия трещин и т. д.) достаточно проверить выходные технические характеристики и их отклонения. Если отклонения находятся в допустимых пределах, установленных ТНПА, изделия выпускают с завода и поставляют на строительство.

Строительные изделия подразделяют на **восстанавливаемые** и **невосстанавливаемые**. Восстанавливаемые изделия в случае возникновения отказа можно отремонтировать или заменить. Невосстанавливаемые изделия (например, связи стеновых панелей, закладные детали, скрытую электропроводку) отремонтировать или заменить не представляется возможным.

Каждому строительному изделию, элементу или системе присущи определенное состояние и свойства. Важнейшими состояниями являются: исправность, неисправность и работоспособность.

**Исправность** характеризуется таким состоянием изделия, при котором оно в данный момент полностью соответствует всем требованиям, установленным как в отношении основных параметров (прочность, влажность, теплопроводность, размеры), так и в отношении второстепенных параметров, характеризующих удобство эксплуатации, внешний вид и т. д.

**Неисправность** характеризуется состоянием изделия, при котором оно не соответствует на данный момент хотя бы одному из требований в отношении основных или второстепенных параметров.

**Работоспособность** – состояние изделия, при котором оно в данный момент времени соответствует всем требованиям в отношении только основных параметров, характеризующих нормальное выполнение функций. В этом состоит отличие работоспособности от исправности – исправность обязательно включает в себя работоспособность.

**Отказом** называют событие, при котором система, элемент или изделие полностью или частично теряют работоспособность. Потеря работоспособности вызывается такой неисправностью, при которой хотя бы один из основных параметров выходит за пределы установленных допусков. Отказы могут быть *внезапными* и *постепенными*. Внезапные отказы возникают в результате резкого, скачкообразного изменения параметров (поломки, отслаивания и т. д.). Постепенные (износосвые) отказы появляются вследствие медленного изменения параметров, которое вызывается, например, износом и деформацией материалов под влиянием окружающей среды.

Важнейшими свойствами, из которых складывается надежность изделий, элементов или систем являются: безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

**Безотказностью** называют свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безотказности относят вероятность безотказной работы, среднюю наработку до первого отказа, наработку на отказ, интенсивность отказов и др.

Нарботка на отказ – это среднее время нормальной работы изделия между двумя последовательными отказами. Нарботка на отказ измеряется в единицах времени (при непрерывном режиме работы изделия) либо в циклах, когда изделие работает с интервалами. Показатель наработки на отказ применяют для оценки надежности ремонтируемых изделий, т. е. относящихся к группе 5.

Средняя наработка до первого отказа характеризуется средним временем наработки неремонтируемого (невосстанавливаемого) изделия в партии до первого отказа. Неремонтируемые изделия группы 4 (например, облицовочная керамическая плитка) характеризуются, как правило, внезапными отказами (поломкой), после которых дальнейшая эксплуатация нецелесообразна.

Для количественного выражения безотказности неремонтируемых изделий используют показатель интенсивности отказов. Ин-

тенсивность отказов представляет собой вероятность отказа невосстанавливаемого изделия в единицу времени. В простейшем случае интенсивность отказов обратно пропорциональна наработке на отказ.

Под **долговечностью** подразумевается свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами «на ремонт». Предельное состояние определяется разрушением изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями. Долговечность строительных изделий обычно измеряют календарным сроком службы.

**Ремонтопригодность** – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Показателями ремонтпригодности служат среднее время ремонта на один отказ данного вида, а также трудоемкость и стоимость устранения отказов. Ремонтпригодность относится главным образом к восстанавливаемым изделиям, системам и элементам.

**Сохраняемость** – свойство изделия сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования, установленного технической документацией. Сохраняемость количественно оценивают временем хранения и транспортирования до возникновения неисправности.

### **1.3. Основные требования к качеству сборных бетонных и железобетонных изделий в соответствии с ГОСТ 13015.0**

К основным показателям качества бетона сборных бетонных и железобетонных изделий (далее конструкций) в соответствии с ГОСТ 13015.0 относятся:

- фактическая прочность бетона (в проектном возрасте, отпускная, передаточная);
- морозостойкость бетона;
- водонепроницаемость бетона;
- средняя плотность (для легкого и автоклавного ячеистого бетона);
- влажность по объему (для легкого и автоклавного ячеистого бетона);
- теплопроводность (для легкого и автоклавного ячеистого бетона);
- истираемость.

ГОСТ 13015.0 предусматривает, что к бетону конструкций также могут быть установлены дополнительные требования к качеству в зависимости от условий эксплуатации (воздействия агрессивной среды).

Также в ГОСТ 13015.0 устанавливаются требования к арматурным стальям и закладным изделиям, к точности изготовления конструкций, толщине защитного слоя, качеству поверхностей и внешнему виду конструкций.

*Отпускная прочность бетона* в железобетонных изделиях назначается с учетом условий транспортировки, монтажа и срока загрузки изделий, а также с учетом технологии их изготовления и возможности дальнейшего роста прочности бетона в изделиях в зависимости от климатических условий района строительства и времени года.

*Фактическая прочность бетона* (в проектном возрасте, передаточная и отпускная) должна соответствовать требуемой, назначаемой по ГОСТ 18105 в зависимости от нормируемой прочности бетона, указанной в ТНПА, с учетом показателя фактической однородности прочности бетона.

Для предприятий, где возможно обеспечить высокую однородность прочности бетона, с целью экономии цемента ГОСТ 13015.0 рекомендует снижать фактическую прочность бетона по сравнению с нормируемой (но не менее требуемой) путем соответствующего подбора его состава.

Коэффициент вариации прочности бетона по сжатию в партии для конструкций высшей категории качества устанавливается в ТНПА на конструкции конкретных видов и должен быть не более:

- 9 % – для тяжелого бетона всех классов или марок и легкого бетона класса В12,5 и выше;
- 10 % – для легкого бетона (за исключением бетона крупнопористой структуры) класса В10 и ниже, а также для плотного силикатного бетона;
- 12 % – для автоклавного ячеистого бетона.

Поставка конструкций потребителю допускается после достижения требуемой отпускной прочности бетона.

Значение нормируемой отпускной прочности бетона на сжатие должно устанавливаться предварительным расчетом, с учетом технологии изготовления конструкций, их транспортирования и мон-

тажа, возможности дальнейшего нарастания прочности бетона в конструкции и сроков ее фактического нагружения полной расчетной нагрузкой.

Минимальное значение нормируемой отпускной прочности бетона на сжатие должно быть не менее:

- 50 % – для конструкций из бетона класса С12/15 и выше;
- 70 % – для конструкций из бетона класса С8/10 и ниже (кроме конструкций из легкого бетона);
- 80 % – для конструкций из легкого бетона класса В10 и ниже;
- 100 % – для конструкций из бетона автоклавного твердения.

Для предварительно напряженных конструкций значение нормируемой отпускной прочности бетона должно быть не ниже нормируемой передаточной прочности бетона.

Значение нормируемой отпускной прочности бетона на сжатие следует назначать (кроме конструкций из бетона автоклавного твердения) согласно обязательному приложению 1 к ГОСТ 13015.0.

Если нормируемая отпускная прочность бетона на сжатие отсутствует в ТНПА на конструкцию конкретного вида, то она должна быть указана в проекте конкретного здания (сооружения) или при заказе конструкций. При необходимости допускается снижать нормируемую отпускную прочность, или повышать ее, но не более чем до 90 % класса бетона по прочности на сжатие при условии согласования с проектной организацией, изготовителем и потребителем конструкций.

Для специальных конструкций (свай, шпунта, мостов, блоков, тубингов тоннелей и конструкций, для которых определяющим является расчет на усилия, возникающие при монтаже здания) при соответствующем обосновании допускается устанавливать значение нормируемой отпускной прочности бетона равное 100 % от класса бетона по прочности на сжатие.

Значение нормируемой отпускной прочности бетона в зависимости от класса по прочности на осевое растяжение или растяжение при изгибе (при их нормировании) следует устанавливать в ТНПА на конструкции конкретных видов.

При назначении отпускной прочности бетона следует учитывать период года: холодный или теплый.

Согласно ГОСТ 13015.0 за холодный период года принимают период, начиная и кончая месяцами, характеризующимися среднемесячной температурой наружного воздуха 0 °С, а за теплый период – остальное время года.

Поставка конструкций потребителю с отпускной прочностью бетона ниже прочности, соответствующей его классу по прочности, может производиться при условии, если изготовитель гарантирует достижение бетоном конструкции требуемой прочности в проектном возрасте, которую определяют по результатам испытания контрольных образцов, изготовленных из бетонной смеси рабочего состава и хранившихся в условиях согласно ГОСТ 18105.

*Морозостойкость и водонепроницаемость бетона* конструкций должна соответствовать маркам по морозостойкости и водонепроницаемости, установленным в ТНПА или указываться при заказе конструкции.

*Фактическая средняя плотность легкого и автоклавного ячеистого бетонов* не должна превышать указанной в ТНПА в зависимости от коэффициента требуемой плотности, характеризующего фактическую однородность бетона по плотности.

*Влажность (по объему) легкого бетона* (кроме бетона на вспученном перлитовом песке или золе) наружных ограждающих конструкций при отпуске их потребителю не должна превышать:

- 13 % – для жилых, общественных и вспомогательных зданий и сооружений;
- 15 % – для производственных зданий.

*Отпускная влажность легкого бетона* на вспученном перлитовом песке или золе не должна превышать:

- 15 % – для жилых, общественных и вспомогательных зданий и сооружений;
- 18 % – для производственных зданий.

*Влажность (по массе) автоклавного ячеистого бетона* при отпуске конструкций потребителю не должна превышать:

- 25 % – для автоклавного ячеистого бетона на песке;
- 35 % – для автоклавного ячеистого бетона на золе.

*Теплопроводность (коэффициент теплопроводности) легкого бетона и автоклавного ячеистого бетона* наружных ограждающих конструкций (в высушенном до постоянной массы состоянии) не должна более чем на 10 % превышать значений, установленных в ТНПА на бетоны этих видов.

*Истираемость бетона* должна соответствовать установленной в ТНПА на конструкции конкретных видов и быть не более:

- $0,7 \text{ г/см}^2$  – для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения (плиты тротуаров на магистральных улицах и т. п.);
- $0,8 \text{ г/см}^2$  – для конструкций, работающих в условиях средней интенсивности движения (элементы лестниц общественных и производственных зданий и сооружений, плиты для полов в подземных пешеходных переходах и т. п.);
- $0,9 \text{ г/см}^2$  – для конструкций, работающих в условиях малой интенсивности движения (элементы лестниц жилых зданий, плиты для покрытий тротуаров по внутриквартальных проездах и т. п.).

В ГОСТ 13015.0 установлены требования к *арматурным сталям и закладным изделиям*.

Виды и классы арматурной стали, применяемой для армирования конструкций, должны соответствовать требованиям ТНПА на конструкции конкретных видов.

Арматурная сталь должна удовлетворять требованиям ТНПА на эти стали.

Форма и размеры арматурных и закладных изделий и их положение в конструкциях должны соответствовать указанным в ТНПА или в проектной документации.

Сварные арматурные и закладные изделия должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10922.

Установлены также требования к закладным деталям, монтажным петлям, к антикоррозионному покрытию арматурных изделий для автоклавного ячеистого бетона.

Для конструкций в ГОСТ 13015.0 установлены *требования к точности изготовления*. Значения действительных отклонений геометрических параметров не должны превышать предельных, установленных ТНПА на конструкции конкретных видов в зависимости от значений допусков для соответствующих классов точности по ГОСТ 21779 с учетом табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения действительных отклонений геометрических параметров  
согласно ГОСТ 13015.0

Виды отклонения геометрического параметра	Геометрический параметр	Класс точности
Отклонение от линейного размера	<p>Длина, ширина, высота, толщина или диаметр конструкции, размеры и положение выступов, выемок, отверстий, проемов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• длина, ширина, толщина (диаметр) и положение закладных и соединительных изделий в конструкциях;</li> <li>• положение ориентиров (мест строповки и опирания, установочных рисок), наносимых на конструкции</li> </ul>	От 5-го до 8-го включительно
Отклонение от прямолинейности	<p>Прямолинейность реального профиля поверхности конструкции в любом сечении:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• на заданной длине;</li> <li>• на всей длине</li> </ul>	<p>От 1-го до 3-го включительно</p> <p>От 3-го до 6-го включительно</p>
Отклонение от плоскостности	<p>Плоскостность поверхности конструкции относительно:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• прилегающей плоскости;</li> <li>• условной плоскости</li> </ul>	<p>От 1-го до 3-го включительно</p> <p>От 3-го до 5-го включительно</p>
Отклонение от перпендикулярности	Перпендикулярность смежных поверхностей конструкции	От 5-го до 8-го включительно
Отклонение от равенства диагоналей (для крупноразмерных конструкций)	Разность длин диагоналей	3-й и 4-й



На поверхности конструкций не допускается обнажение рабочей и конструктивной арматуры, за исключением арматурных выпусков. Значения действительных отклонений *толщины защитного слоя бетона* до рабочей арматуры не должны превышать предельных, указанных в табл. 1.2.

Бетонные поверхности конструкций подразделяют на категории А1–А7. При этом размеры раковин, местных наплывов и впадин на бетонной поверхности и околос бетона ребер конструкций не должны превышать значений, указанных в табл. 1.3.

Таблица 1.2

Предельные отклонения толщины защитного слоя бетона, мм

Номинальная толщина защитного слоя бетона до поверхности стержня арматуры, мм	Линейные размеры поперечного сечения конструкции или ее элемента, мм			
	до 100	101–200	201–300	свыше 300
10,0–14,0	+4	+5	+6	
14,1–19,0	+4; –3	+8; –3	+10; –3	+15; –5
19,1 и более	±5	+8; –5	+10; –5	+15; –5

Таблица 1.3

Размеры раковин, местных наплывов, впадин и околос ребер для категории бетонной поверхности А1-А7, мм

Категория бетонной поверхности конструкции	Диаметр или наибольший размер раковины, мм	Высота местного наплыва (выступа) или глубина впадины, мм	Глубина окола бетона на ребре,* мм	Суммарная длина околос бетона на 1 м ребра, мм
А1	Глянцевая (по эталону)		2	20
А2	1	1	5	50
А3	4	2	5	50
А4	10	1	5	50
А5	Не регламентируется	3	10	100
А6	15	5	10	100
А7	20	Не регламентируется	20	Не регламентируется

\* Измеряется по поверхности конструкции.

Качество рельефных, шероховатых, зернистых, камневидных, шлифованных, глянцевых поверхностей, поверхностей с обнаженным заполнителем или облицованных плиткой и других поверхностей, не подлежащих дальнейшей отделке (окраске, оклейке, облицовке и т. д.) на строительной площадке, должно соответствовать эталону отделки (в виде поверхности целой конструкции или ее фрагмента), утвержденному предприятием-изготовителем конструкции по согласованию с заказчиком.

В бетоне конструкций, поставляемых потребителю, не допускаются трещины, за исключением поперечных трещин от обжатия бетона в предварительно напряженных железобетонных конструкциях, а также усадочных и других поверхностных технологических трещин, ширина которых не должна превышать значений, установленных ТНПА на конструкции конкретных видов. При этом ширина усадочных и других поверхностных технологических трещин не должна превышать, мм:

- 0,1 – в конструкциях из тяжелого бетона, подвергаемых попеременному замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии или в условиях эпизодического водонасыщения; в предварительно напряженных железобетонных конструкциях; в колоннах и стойках;
- 0,2 – в остальных видах конструкций из тяжелого бетона; в конструкциях из легкого или ячеистого бетонов с ненапрягаемой арматурой или неармированных.

На лицевых поверхностях конструкций не допускаются жировые и ржавые пятна.

Открытые поверхности стальных закладных изделий, выпуски арматуры, монтажные петли и строповочные отверстия должны быть очищены от наплывов бетона или раствора.

#### **1.4. Контроль качества изделий**

Для эффективной реализации контроля каждое предприятие обязано обобщить в технологических картах с учетом конкретных особенностей производства все ТНПА на методы и средства контроля показателей технологии и качества конкретной продукции.

Производственный контроль охватывает все стадии основного и подсобного производства и является неотъемлемой частью технологического процесса. *Основными задачами контроля являются:*

- контроль за качеством поступающих на завод материалов и полуфабрикатов;
- контроль за соблюдением всех установленных режимов на каждой операции технологического процесса в соответствии со стандартами и ТУ;
- контроль за соответствием качества выпускаемой продукции требованиям технической документации (рабочим чертежам, ТУ, стандартам и т. д.);
- маркировка принятой, анализ и оформление забракованной продукции.

В зависимости от контролируемого производственного этапа контроль подразделяют:

- на входной;
- технологический;
- приемочный.

**Входной контроль** заключается в проверке соответствия поступающих материалов и изделий установленным требованиям.

При входном контроле проводятся необходимые испытания материалов и полуфабрикатов и определяется соответствие показателей их качества требованиям ТНПА.

**Технологический контроль** состоит в проверке соответствия характеристик, режимов и других показателей технологического процесса установленным требованиям. Разновидностью технологического контроля является *операционный контроль*, т. е. контроль продукции или технологического процесса после завершения определенной технологической операции.

В ходе операционного контроля на заводах железобетонных изделий проверяют режимы приготовления, укладки и уплотнения бетонной смеси, размеры и качество сборки стальных форм, расположение арматуры и закладных деталей, а также заданные режимы тепловой обработки бетона. На заключительной стадии технологии проверяют качество отделки распалубленных изделий.

Использование операционного контроля дает возможность выявить причины возникновения брака изделий. Методика операци-

онного контроля разрабатывается применительно к данной технологии и типу изделий, вместе с тем любая методика базируется на использовании ряда общих основополагающих принципов.

**Приемочный контроль** заключается в проверке соответствия готовых изделий требованиям стандартов или технических условий. Лаборатория и ОТК проверяют физико-механические свойства материалов и изделий, оценивают внешний вид и геометрические параметры продукции. В необходимых случаях готовые изделия испытывают на прочность, жесткость и трещиностойкость.

Порядок проведения приемочного контроля определен ГОСТ 13015.1. При приемочном контроле, проводимом в порядке, установленном настоящим стандартом, осуществляют приемку готовых конструкций по качеству на основании данных входного и операционного контроля, а также периодических и приемосдаточных испытаний продукции, устанавливая соответствие ее качества требованиям ТНПА.

Результаты всех видов контроля (входного, операционного и приемочного) должны быть зафиксированы в соответствующих журналах ОТК, заводской лаборатории или других документах.

Приемку конструкций осуществляют партиями. В состав партии включают конструкции одного типа, последовательно изготовленные предприятием по одной технологии в течение не более одних суток из материалов одного вида.

При изготовлении конструкций нерегулярно или в небольшом количестве, при обеспечении однородности качества продукции, в состав партии допускается включать конструкции, изготовленные в течение нескольких суток, но не более одной недели.

Периодические испытания по показателям морозостойкости, водонепроницаемости, плотности, водопоглощению, теплопроводности, истираемости, отпускной влажности и пористости бетона, а также по показателям точности отдельных геометрических параметров проводят перед началом массового изготовления конструкций, при внесении в них конструктивных изменений или изменении технологии изготовления, а также не реже одного раза в 6 мес.

При необходимости для отдельных показателей в ТНПА на конструкции конкретных видов допускается устанавливать другие периоды между испытаниями.

Периодические испытания по прочности, жесткости и трещиностойкости предварительно напряженных ответственных изгибаемых конструкций (стропильных и подстропильных ферм и балок, плит покрытий и перекрытий пролетом 12 м и более, ригелей и балок пролетом 9 м и более, подкрановых балок, стоек опор ЛЭП, освещения, автоблокировки) проводят нагружением перед началом массового изготовления, при внесении в них конструктивных изменений или изменении технологии изготовления, а также в процессе серийного производства, если это предусмотрено ТНПА на конструкции конкретных видов.

Периодические испытания других конструкций нагружением проводят, если это предусмотрено ТНПА на эти конструкции, перед началом их массового изготовления и в дальнейшем при внесении в них конструктивных изменений или изменении технологии изготовления, а также в процессе серийного производства в сроки, установленные в рабочих чертежах. Испытания этих конструкций нагружением могут не проводиться, если осуществляется неразрушающий контроль прочности бетона, расположения и диаметра арматуры, а также толщины защитного слоя бетона конструкций.

Приемочный контроль по показателям физико-механических свойств бетона при периодических испытаниях производят по среднему значению результатов испытаний серии образцов, изготовленных из одной пробы бетона в одной из партий или выбуренных (выпиленных) из разных конструкций одной из принятых партий продукции.

Количество образцов в серии принимают по стандартам на методы соответствующих испытаний.

При неудовлетворительных результатах периодических испытаний изготовление конструкций должно быть прекращено и должны быть приняты меры, обеспечивающие соблюдение установленных требований.

Приемку конструкций по показателям точности геометрических параметров, ширины раскрытия трещин, категории бетонной поверхности, внешнего вида конструкций и их соответствие эталону осуществляют по результатам *сплошного* или *выборочного контроля*.

*Сплошной контроль осуществляют:*

- для всех видов железобетонных конструкций – по наличию заводских и комплектующих изделий, монтажных петель и строп-

вочных отверстий, по очистке их от наплывов бетона или раствора, наличию жировых и ржавых пятен на лицевых поверхностях конструкций, правильности нанесения маркировочных надписей и знаков, соответствию вида защитно-декоративных покрытий и отделки установленным требованиям и эталону отделки;

- для крупноразмерных конструкций – по всем показателям, а для других конструкций – по наиболее ответственным показателям, если это установлено в стандартах или технических условиях на эти конструкции.

*Сплошной контроль следует назначать:*

- при небольших объемах производства, когда выборочный контроль неосуществим;
- при нестабильном характере производства, в том числе в период наладки технологических процессов;
- при повышенных требованиях к обеспечению заданной точности, связанных с необходимостью применения выборок большого объема.

При сплошном контроле точность данного геометрического параметра проверяют в каждом объекте контроля (единице продукции).

Контроль производят по мере завершения соответствующих технологических операций или выпуска готового изделия либо после формирования партий продукции или выполнения определенного объема строительно-монтажных работ.

Для *выборочного контроля* из потока конструкций в процессе их выпуска или после окончания изготовления всей партии, в соответствии с принятым планом контроля, отбирают выборку и определяют количество дефектных конструкций в ней по каждому показателю.

Конструкцию считают дефектной по данному показателю, если она не удовлетворяет требованиям ТНПА по этому показателю.

*Выборочный контроль следует назначать* при налаженном стабильном производстве, когда обеспечена статистическая однородность технологического процесса.

При выборочном методе преимущественно следует применять контроль по альтернативному признаку.

Контроль по количественному признаку применяют для наиболее ответственных параметров, когда их количество невелико и имеется необходимость в дальнейшей отработке процесса, а также

если по условиям производства целесообразно сократить объем выборок по сравнению с контролем по альтернативному признаку. Этот метод применим, когда контролируемые параметры независимы друг от друга и имеют нормальное распределение.

Может быть принят одноступенчатый или двухступенчатый способ контроля, которые равнозначны по получаемой оценке.

Партия принимается, если количество дефектных объектов контроля в выборке меньше или равно приемочному числу  $A_{c1}$ , и не принимается, если это количество больше или равно браковочному числу  $R_{e1}$ .

При двухступенчатом контроле в случаях, когда число дефектных объектов контроля в выборке больше  $A_{c1}$  и меньше  $R_{e1}$ , извлекается вторая выборка. Если общее число дефектных единиц в двух выборках меньше или равно приемочному числу  $A_{c2}$ , партия принимается, если больше или равно браковочному числу  $R_{e2}$  – не принимается.

Приемку партии конструкций при выборочном контроле осуществляют при одно- или двухступенчатом контроле по плану контроля или другим планам согласно ГОСТ 23616.

В случае, когда количество дефектных конструкций в первой выборке меньше указанного для нее браковочного числа, то для этой партии конструкций назначают вторую выборку, количество конструкций в которой должно быть таким же, как и в первой. Если общее число дефектных конструкций в двух выборках меньше браковочного числа для двух выборок, партию конструкций принимают.

### **1.5. Маркировка изделий**

Общие правила нанесения маркировочных надписей и знаков установлены ГОСТ 13015.2.

Маркировочные надписи подразделяют:

- на основные;
- информационные.

Основные надписи должны содержать:

- марку конструкции;
- товарный знак или краткое наименование предприятия-изготовителя;
- штамп технического контроля.

Информационные надписи должны содержать:

- дату изготовления конструкции;
- величину массы конструкции (для конструкций, масса которых превышает 0,5 т).

К маркировочным знакам относят монтажные знаки – изображения, указывающие:

- место строповки конструкции;
- верх конструкции;
- место опирания конструкции;
- установочные риски на конструкции.

Допускается применение маркировочных надписей и знаков, не предусмотренных ГОСТ 13015.2. Изображение, наименование и назначение дополнительных маркировочных надписей и знаков устанавливаются ТНПА на конструкции конкретных видов.

#### ***Требования к маркировке***

На каждой конструкции, поставляемой потребителю, в месте, установленном ТНПА на эти изделия, должны быть нанесены основные и информационные надписи. Необходимость нанесения монтажных знаков устанавливается ТНПА на конструкции конкретных видов.

Маркировку тротуарных и фасадных плит, бортовых камней и других мелкогабаритных конструкций допускается производить только на 10 % этих конструкций каждой партии; при этом, в соответствии с требованиями стандартов или технических условий, на эти конструкции допускается наносить отдельные маркировочные надписи из числа указанных.

Маркировочные надписи и знаки на конструкции должны быть видимыми при хранении и монтаже этих конструкций.

Не допускается наносить надписи и знаки на отделанные или предназначенные под окраску лицевые поверхности конструкций, за исключением случаев, оговоренных стандартами или техническими условиями на конструкции конкретных видов.

Маркировку конструкций следует производить следующими способами:

- окраской по трафарету;
- краской при помощи штампов;
- маркировочными машинами;
- штампованием при формовании конструкций.



Маркировочные надписи и знаки должны быть темного цвета (черного, темно-коричневого, темно-зеленого и др.).

Краски, применяемые для маркировки конструкций, должны быть водостойкими, быстровысыхающими, светостойкими, устойчивыми к воздействию низких температур, прочными на истирание и размазывание.

Маркировочные надписи следует выполнять шрифтом высотой 15, 30, 50 и 100 мм.

### **1.6. Документ о качестве изделия**

Требования к документу о качестве изделия изложены в ГОСТ 13015.3.

Документом о качестве следует сопровождать (или направлять его в адрес потребителя) каждую принятую техническим контролем предприятия-изготовителя партию конструкций, часть партии, группу конструкций из разных партий или отдельные конструкции, принимаемые и поставляемые поштучно. Документ о качестве должен храниться на строительной площадке, а по окончании строительства – у заказчика. На предприятии-изготовителе должен храниться дубликат этого документа или должны фиксироваться в журнале сведения о его выдаче (с записью данных, содержащихся в документе о качестве).

На предприятиях-изготовителях, работающих по системе домостроительных комбинатов, взамен документа о качестве готовых конструкций производят записи данных о качестве в журнале отпусков конструкций.

В документе о качестве должны быть указаны:

- наименование и адрес предприятия-изготовителя;
- номер и дата выдачи документа;
- номер партии или конструкции (при поштучной поставке);
- наименование и марки конструкций;
- число конструкций каждой марки;
- дата изготовления конструкций;
- класс бетона по прочности;
- отпускная прочность бетона (нормируемая, требуемая с учетом фактической однородности бетона по ГОСТ 18105 и фактическая);
- обозначение ТНПА.

Кроме указанных показателей, в документе о качестве должны быть приведены и другие показатели, если это предусмотрено ТНПА на конструкции конкретных видов.

Паспорт выписывается в двух экземплярах. Первый отправляется потребителю продукции, второй хранится на заводе в отделе технического контроля.

В паспорте указывается фактическая категория лицевой поверхности.

В пунктах паспорта для дополнительных требований заполняются фактические данные.

Дополнительные данные (фактические): марка бетона по морозостойкости, водонепроницаемости, водопоглощению, объемная масса, отпускная влажность бетона, теплопроводность, истираемость, вид утеплителя с указанием его марки, объемной массы, отпускной влажности, категория лицевой поверхности неотделываемой, вписываются в паспорт, если регламентированы ТНПА.

Паспорт подписывается начальником отдела технического контроля предприятия.

### **1.7. Хранение и транспортирование изделий**

Конструкции следует транспортировать и хранить в соответствии с требованиями ГОСТ 13015.4 и ТНПА на конструкции конкретных видов.

Конструкции при транспортировании и хранении следует укладывать (устанавливать) способом (в штабели, кассеты и др.), установленным ТНПА на конструкции конкретных видов в зависимости от их формы, размеров и назначения.

Малогабаритные и легковесные конструкции следует транспортировать и хранить, как правило, в специализированных контейнерах или пакетах.

Погрузку, транспортирование, разгрузку и хранение конструкций следует производить, соблюдая меры, исключающие возможность их повреждения.

При погрузочно-разгрузочных работах не допускается:

- разгружать конструкции со свободным их падением;
- перемещать конструкции по земле волоком;
- свободно (без торможения) перекачивать конструкции круглого поперечного сечения по наклонной плоскости, а также перемещать их без катков или без подкладок.

Подъем, погрузку и разгрузку конструкций следует производить кранами при помощи траверс или стропов в соответствии со схемами строповки, приведенными в проектной документации на эти конструкции.

Конструкции при транспортировании и хранении следует опирать на инвентарные подкладки или опоры другого типа, а между рядами конструкций в штабеле – на инвентарные прокладки прямоугольного (трапецеидального) поперечного сечения из дерева или других материалов, обеспечивающих сохранность конструкций.

Толщина подкладок и прокладок должна быть не менее 30 мм. При наличии в конструкциях выступающих деталей или монтажных петель толщина подкладок и прокладок должна превышать размер выступающих деталей или петель не менее чем на 20 мм.

Для конструкций круглого поперечного сечения подкладки и прокладки должны иметь упоры против раскатывания.

Минимальную толщину подкладок и прокладок изменяют, а также прокладки между рядами конструкций конкретных видов не устанавливают в случаях, указанных в стандартах или технических условиях на эти конструкции в зависимости от их формы, размеров и способа укладки.

Расположение подкладок (опор) и прокладок под конструкциями должно соответствовать установленному стандартом техническими условиями на конструкции конкретных видов или проектной документацией на эти конструкции.

При укладке конструкций в штабели подкладки и прокладки по высоте штабеля следует располагать по вертикали одна над другой.

Конструкции или отдельные их элементы, показатели качества которых снижаются от попадания атмосферной влаги, должны быть защищены от увлажнения на период транспортирования и хранения.

Транспортированию подлежат только те конструкции, прочность бетона которых достигла отпускной прочности в соответствии с требованиями ГОСТ 13015.0 и ТНПА на конструкции конкретных видов.

Конструкции транспортируют, как правило, автодорожным, железнодорожным и водным транспортом в соответствии с действующими на этих видах транспорта правилами, утвержденными в установленном порядке.

Транспортирование конструкций следует производить, как правило, с учетом обеспечения их монтажа непосредственно с транспортными средствами.

Высоту штабеля конструкций при их транспортировании устанавливают в зависимости от грузоподъемности транспортных средств и допускаемых габаритов погрузки, но не более высоты штабеля конструкций конкретных видов при их хранении.

При транспортировании конструкций пакетами должны соблюдаться требования «Правил перевозки грузов».

Конструкции следует хранить на специально оборудованных складах рассортированными по видам и маркам.

Площадка склада должна иметь плотную, выровненную поверхность с небольшим уклоном для водоотвода.

Конструкции следует укладывать (устанавливать) на складе так, чтобы были видны маркировочные надписи и знаки, а также обеспечена возможность захвата каждой отдельно стоящей конструкции (или верхней конструкции в штабеле), контейнера или пакета крапом и свободный подъем для погрузки на транспортные средства.

Высота штабеля конструкций должна соответствовать установленной ТНПА на конструкции конкретных видов.

### **1.8. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов**

Для определения безопасной области применения строительных материалов и изделий в зависимости от показателя удельной эффективной активности естественных радионуклидов используют ГОСТ 30108. Настоящий стандарт распространяется на неорганические сыпучие строительные материалы (щебень, гравий, песок, цемент, гипс и др.) и строительные изделия (плиты облицовочные, декоративные и другие изделия из природного камня, кирпич и камни стеновые), а также на отходы промышленного производства, используемые непосредственно в качестве строительных материалов или как сырье для их производства. ГОСТ 30108 устанавливает методы определения удельной эффективной активности естественных радионуклидов для оценки строительных материалов и изделий в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 1.4, и порядок проведения контроля.

Таблица 1.4

Область применения и классы материала в зависимости от удельной эффективной активности естественных радионуклидов

Удельная эффективная активность ( $A_{эф}$ ), Бк/кг	Класс материала	Область применения
До 370	I	Все виды строительства
От 370 до 740	II	Дорожное строительство в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки, строительство производственных сооружений
От 740 до 1350	III	Дорожное строительство вне населенных пунктов
Свыше 1350	IV	Вопрос об использовании материала решается по согласованию с Госкомсанэпиднадзором

Основные термины с соответствующими определениями используемые в ГОСТ 30108.

**Естественные радионуклиды (ЕРН)** – основные радиоактивные нуклиды природного происхождения, содержащиеся в строительных материалах: радий ( $^{226}\text{Ra}$ ), торий ( $^{232}\text{Th}$ ), калий ( $^{40}\text{K}$ );

**Удельная активность радионуклида (A)** – отношение активности радионуклида в образце к массе образца, Бк/кг;

**Удельная эффективная активность ЕРН ( $A_{эф}$ )** – суммарная удельная активность ЕРН в материале с учетом их биологического воздействия на организм человека определяемая по формуле:

$$A_{эф} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}},$$

где  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$ ,  $A_{\text{K}}$  – удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

### 1.9. Контроль точности геометрических параметров

Контроль точности геометрических параметров является обязательной составной частью контроля качества и производится посредством сопоставления действительных значений параметров или характеристик точности с установленными.

Для определения соответствия геометрических параметров контрольным нормативам и установленным правилам измерений (ГОСТ 23616) находят действительные отклонения  $\delta x_i$  или действительные размеры  $x_i$ .

Объект контроля считают годным по данному контролируемому параметру, если соблюдено одно из следующих условий (рис. 1.1):

$$\delta x_{i\text{inf}} \leq \delta x_i \leq \delta x_{i\text{sup}};$$

$$x_{\text{min}} \leq x_i \leq x_{\text{max}}.$$

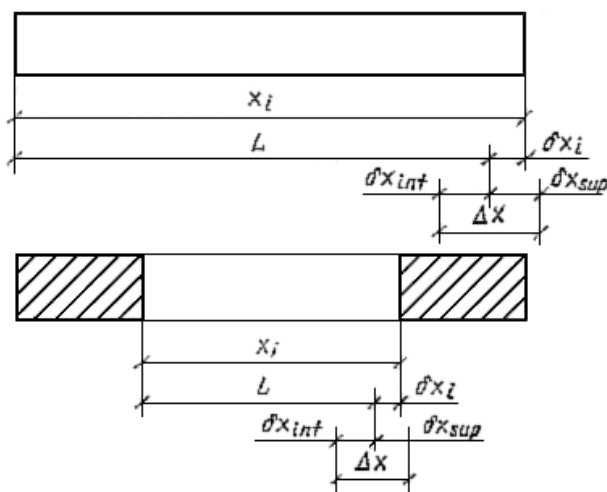


Рис. 1.1. Определение действительных отклонений и размеров

Точность изготовления элементов характеризуют допусками и предельными отклонениями их линейных размеров, а также формами и взаимным положением поверхностей (ГОСТ 21779).

ГОСТ 26433.1 устанавливает правила выполнения измерений линейных и угловых размеров, отклонений формы и взаимного положения поверхностей деталей, изделий, конструкций и технологической оснастки, изготавливаемых на заводах, строительных площадках и полигонах.

Для измерения линейных размеров и их отклонений применяют линейки, рулетки, нутромеры, скобы, штангенциркули, штангенглубиномеры, индикаторы часового типа, щупы и микроскопы.

В необходимых случаях следует применять средства специального изготовления с отсчетными устройствами в виде индикаторов часового типа, микрометрических головок и линейных шкал: рулетки со встроенным динамометром, длинномеры, нутромеры, скобы и клиновые щупы.

Для измерения отклонений форм профиля поверхности применяют нивелиры, теодолиты или поверочные линейки совместно со средствами линейных измерений (линейками, индикаторами, штангенинструментом и т. д.), а также оптические струны, визирные трубы, оптические плоскомеры и гидростатические высотомеры по действующим техническим условиям. Могут применяться также средства специального изготовления: контрольные рейки, отвес-рейки, струны из стальной проволоки диаметром 0,2–0,5 мм или синтетической лески диаметром 0,8–1,0 мм.

Угловые размеры проверяют угломерами, а их отклонения, выраженные линейными единицами, – линейками и щупами с применением угольников, калибров, шаблонов.

Если в ТНПА или рабочих чертежах не установлены места измерений размеров элемента, то длину, ширину, толщину, диаметр, а также угловые размеры или их отклонения измеряют в двух крайних сечениях элемента на расстоянии 50–100 мм от краев, а при длине или ширине элемента более 2,5 м – в соответствующем среднем его сечении.

Отклонения от прямолинейности на лицевой поверхности плоских элементов измеряют не менее чем в двух любых сечениях элемента, как правило, в направлении светового потока, падающего на эту поверхность в условиях эксплуатации.

Отклонения от прямолинейности боковых граней плоских элементов измеряют в одном из сечений вдоль каждой из граней, а для элементов цилиндрической формы – вдоль не менее двух образующих, расположенных во взаимно перпендикулярных сечениях.

Отклонения от прямолинейности ребра элемента измеряют в сечениях по обеим поверхностям, образующим это ребро, на расстоянии не более 50 мм от него или непосредственно в месте пересечения этих поверхностей.

Схемы измерений линейных размеров, диаметра и межосевого расстояния, дефектов и отклонений от перпендикулярности, непрямолинейности и пропеллерности приведены в ГОСТ 26433.1.

### **1.10. Неразрушающий контроль прочности бетона**

Неразрушающие методы классифицируют:

- *по назначению*: методы контроля прочности бетона; методы контроля положения арматуры в железобетонных конструкциях; методы обнаружения плохо уплотненных участков бетона внутри конструкций, раковины и т. п. (методы дефектоскопии); методы контроля плотности бетона; методы контроля влажности бетона и заполнителей; методы контроля натяжения арматуры;

- *по физическим признакам*: механические, в том числе основанные на измерении свойств поверхности бетона и местном разрушении поверхности бетона; ультразвуковой; магнитный; основанный на использовании ионизирующих излучений; диэлькометрический.

Неразрушающие методы применяют для контроля прочности и плотности бетона, контроля нарастания прочности бетона, обнаружения внутренних дефектов конструкции, положения арматуры, влажности бетона и заполнителя, качества сварных соединений, натяжения арматуры. В совокупности неразрушающие методы служат для оценки прочности, жесткости и трещиностойкости массовых железобетонных конструкций, например, плоских, многослойных и ребристых плит перекрытий и покрытий, внутренних и наружных стеновых панелей.

*Контроль прочности бетона.* Неразрушающие методы применяют для контроля отпускной прочности бетона, перед отпуском натяжения арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций (передаточной прочности). При проверке прочности и однородности бетона в конструкциях, изготовляемых в кассетах или с использованием центрифугирования, проката, гидропрессования и других способов уплотнения бетонной смеси, когда



условия уплотнения и твердения бетона не могут быть воспроизведены при изготовлении образцов-кубов.

*Контроль нарастания прочности бетона.* Для регулирования режима тепловой обработки бетона применяют неразрушающие методы контроля нарастания прочности бетона. В этом случае можно обеспечить наиболее экономичные по расходу пара режимы обработки, позволяющие получить заданную прочность бетона в наиболее короткие сроки.

**Ультразвуковой импульсный метод** – один из самых распространенных неразрушающих методов, используемый для контроля прочности бетона и дефектоскопии железобетонных конструкций.

Сущность ультразвукового метода состоит в том, что измеряют скорость распространения через бетон переднего фронта продольной ультразвуковой волны (в дальнейшем называемой скоростью ультразвука). Между скоростью ультразвука и прочностью бетона существует корреляционная зависимость, на которую влияют различные факторы: возраст бетона, его влажность, водоцементное отношение и тип заполнителя, условия уплотнения бетона и его хранения, вид применяемых добавок. Поэтому при использовании ультразвукового метода для контроля прочности бетона необходимо устанавливать градуировочную зависимость для каждого конкретного бетона.

Скорость ультразвука в бетоне колеблется от 2500 до 4500 м/с (в зависимости от его прочности). Поэтому приходится определять очень малые интервалы времени, измеряемые в микросекундах.

Ультразвуковой метод используют также для контроля нарастания прочности бетона в процессе, его твердения.

При контроле нарастания прочности можно не только регулировать режим тепловлажностной обработки по стабилизации времени, но и определять прочность бетона. Для этого следует построить градуировочные зависимости «скорость–прочность».

Существует несколько *механических неразрушающих методов контроля прочности бетона*. Они различаются совокупностью тех механических свойств, которые непосредственно определяют величину косвенного показателя прочности бетона. По этому признаку механические неразрушающие методы можно разбить на три группы:

I группа – основана на существующей зависимости между прочностью бетона на сжатие и поверхностной твердостью, называемая методом пластической деформации;

II группа – основана на зависимости между прочностью бетона и его упругими свойствами;

III группа – основана на зависимости между прочностью бетона и усилием, необходимым для местного разрушения с помощью специальных приспособлений небольшого участка бетона.

*Метод пластической деформации.* **Твердость** – это сопротивление поверхности материала местному деформированию при введении в материал более твердого тела – наконечника (индентора). В зависимости от метода испытания, свойств наконечника и испытываемого материала твердость может быть оценена различными величинами. В большинстве случаев твердость оценивают по размерам оставшегося на поверхности отпечатка. Эти методы уже более 100 лет тому назад начали использовать для определения твердости металлов (методы Бринелля, Роквелла). В дальнейшем они нашли широкое распространение и при определении твердости других материалов, в частности бетона. Твердость связана с прочностью на сжатие. Чем выше твердость материала, тем выше его прочность. На этом основана первая группа механических неразрушающих методов определения прочности бетона. Различают метод пластической деформации при динамическом воздействии или вдавливании. При динамическом воздействии производится удар по поверхности бетона индентором в виде шарика. При вдавливании в поверхность бетона вдавливаются индентор обычно в виде сферы или шарика. Косвенным показателем служит диаметр отпечатка, а при вдавливании – иногда и его глубина.

*Методы, основанные на зависимости между прочностью бетона и его упругими свойствами.* Если на бетонную поверхность бросить стальной шарик, он отскочит. Причем чем выше упругие свойства бетона, тем выше высота отскока. Упругие свойства связаны с прочностью бетона на сжатие: чем выше прочность, тем большую упругость имеет материал. В настоящее время применяют методы упругого отскока и ударного импульса, при которых удар производится о поверхность бетона. При упругом отскоке измеряют высоту отскока ударяющегося элемента прибора, а при ударном импульсе – электрический импульс, возбуждаемый при отскоке.

*Методы, основанные на местном разрушении бетона.* Прочность бетона влияет на усилие, необходимое для местного разрушения бетона, например, при вырыве из бетона заделанного в него стержня (метод отрыва со скалыванием), при сколе ребра конструкции или при отрыве от конструкции приклеенного металлического диска.

### **1.11. Лаборатория предприятия**

В обязанности заводской лаборатории входит проведение текущих испытаний и проведение исследований в целях совершенствования технологического процесса и организации производства.

Лаборатория проводит приемочные испытания сырья, материалов и полуфабрикатов, обеспечивает частично пооперационный контроль технологического процесса, контролирует качество готовой продукции путем испытания образцов и готовых изделий разрушением и неразрушающими методами.

Все методы контроля и натурные испытания осуществляются в соответствии с требованиями действующих ТНПА и специальных методических указаний. Результаты испытаний фиксируются в специальных журналах, в которых отмечается качество материалов, технология изготовления, твердения образцов, условия испытания и анализ полученных результатов. По результатам испытаний устанавливается качество выпускаемых изделий, и выписываются паспорта на готовую продукцию и ведется отбраковка изделий низкого качества.

Персонал лаборатории должен следить за исправностью гидравлических прессов, разрывных машин, контрольно-измерительного оборудования. Оборудование должно проходить периодическую поверку, аттестацию или калибровку. Поверка, аттестация или калибровка также необходима после каждого ремонта или перемещения оборудования на новое место.

Лаборатория является самостоятельным структурным подразделением предприятия, возглавляется начальником и подчиняется главному инженеру.

В своей практической деятельности лаборатория должна руководствоваться требованиями действующих ТНПА и соответствующими положениями о порядке организации приемки продукции на предприятии.

Штаты лаборатории разрабатываются предприятиями с учетом объема выпускаемой продукции в утверждаются в установленном порядке.

Лаборатория должна быть обеспечена помещениями, соответствующими требованиям ТНПА к методам испытаний и техники безопасности.

Лаборатория должна быть обеспечена оборудованием, приборами, инвентарем и материалами в соответствии с объемами и видами работ.

Основной целью лаборатории является обеспечение стабильности высокого качества продукции, выпускаемой предприятием.

Основными задачами лаборатории являются:

- выполнение лабораторных испытаний материалов, применяемых для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, товарных бетонов и растворов;
- подбор составов бетонов и растворов;
- оценка качества бетона по прочности и однородности статистическими методами;
- поиски путей повышения качества сборного железобетона;
- входной контроль;
- технологический контроль операций, приведенных в схеме операционного контроля.

Лаборатория обязана:

- осуществлять входной и частично операционный контроль поступающих материалов и готовить соответствующие данные для оформления рекламаций при поставке некачественных материалов;
- подбирать составы бетонов и корректировать их в зависимости от изменения свойств материалов, с выдачей соответствующих дозировочных листов, с записью в журнале расхода материалов на замес;
- испытывать контрольные образцы для определения нормируемых характеристик бетона;
- проводить оценку качества бетона по прочности и однородности статистическими методами;
- участвовать в составлении производственно-технологических норм расхода цемента и заполнителей и в определении фактических норм по итогам работы за месяц для списания материалов;
- по требованию ОТК готовить дополнительные образцы на конструкции, подлежащие испытанию;

- участвовать в составлении мероприятий по уменьшению технологических потерь и использованию отходов от производства;
- осуществлять испытание арматурных и закладных изделий;
- участвовать в изыскании путей повышения качества сборного железобетона, экономии материалов, тепловых ресурсов;
- участвовать во внедрении мероприятий по плану новой техники, плану аттестации продукции;
- ежедневно выдавать данные ОТК о фактической прочности бетона, а ежемесячно – о коэффициенте вариации за анализируемый период.

Лаборатория имеет право:

- контролировать правильность складирования и хранения материалов для производства железобетонных конструкций, товарных бетонов и растворов;
- контролировать дозирование составляющих бетонной смеси и концентрацию дозирования раствора добавок;
- контролировать правильность использования бетонных смесей;
- участвовать в выявлении причин брака, в разработке и выполнении мероприятий по их устранению;
- разрабатывать совместно с технологами режим тепловлажностной обработки изделий;
- проверять производственный отчет БСУ в части правильности применения норм расхода составляющих бетона;
- контролировать все производственные операции в цехах и на складах завода;
- при необходимости, по согласованию с руководством предприятия, привлекать для проведения экспертиз, отдельных испытаний и консультаций, специалистов из других организаций.

Ответственность сотрудников лаборатории:

- работники лаборатории несут ответственность за качество проводимых ими исследований и испытаний, правильность выдаваемых составов бетонов, состояние лабораторного оборудования, а также соблюдение требований нормативных документов в области деятельности лаборатории;
- начальник лаборатории несет ответственность за состояние средств измерения и испытаний, находящихся в лаборатории.

### **1.12. Отдел технического контроля предприятия (ОТК)**

ОТК – структурная часть предприятия. Структура и штаты определяются для каждого предприятия в зависимости от объема работ, требований технологического процесса, специфики предприятия, численности ИТР и конкретных условий организации производства.

В состав ОТК входят начальник и контролеры. Начальник ОТК независим от начальников других цехов и подчиняется непосредственно директору предприятия.

Начальник ОТК должен быть высококвалифицированным инженером, специалистом в области технологии производства изделий, методики их испытаний и условий эксплуатации. Стаж работы в данной отрасли производства – не менее пяти лет.

Основная задача ОТК – организация постоянно действующего производственного контроля на всех этапах технологического процесса и устранение причин, нарушающих заданный технологический процесс и вызывающих появление брака.

В своих действиях ОТК должен руководствоваться только требованиями ТНПА на выпускаемую продукцию. При нарушении этих требований ОТК имеет право останавливать работу отдельных агрегатов или технологических линий, прекращать выдачу готовой продукции, требовать от начальников цехов и сменных мастеров объяснений за каждое нарушение и через директора завода привлекать к ответственности виновных в этом нарушении.

Начальники цехов и сменные мастера должны совместно с ОТК следить за соблюдением принятой технологии и за исправностью оборудования, выявлять причины брака и принимать меры по их устранению.

Контролеры подчиняются только начальнику ОТК, следят за соблюдением всех требований, предъявляемых к качеству материалов, технологии производства и качеству готовой продукции. При обнаружении нарушений или отклонений в технологическом процессе контролеры обязаны немедленно ставить об этом в известность начальника ОТК, сменных мастеров и начальника цеха. Заключение контролеров о нарушении технологического процесса или о плохом качестве выпускаемой продукции является обязательным для цеха и может быть изменено только начальником ОТК.

Отдел технического контроля возглавляется заместителем директора предприятия по качеству – начальником ОТК.

ОТК является самостоятельным структурным подразделением предприятия и подчиняется первому руководителю.

Назначение на должность начальника ОТК предприятия и производства, находящегося на строительном балансе, освобождение от занимаемой должности производится руководителем объединения, домостроительного комбината или строительного треста по представлению первого руководителя предприятия.

Применение к начальнику ОТК мер поощрения и дисциплинарного взыскания производится руководителем объединения, домостроительного комбината, строительного треста.

Возложение на работников ОТК производственных обязанностей, не связанных с осуществлением технического контроля, не допускается.

Требования ОТК по качеству выпускаемой продукции в соответствии с ТНПА обязательны для исполнения всеми подразделениями предприятия и могут быть отменены только письменным распорядительным документом первого руководителя предприятия.

По предложению заместителя директора по качеству (начальника ОТК) или согласованию с ним руководство предприятия имеет право возлагать контрольные функции на непосредственных изготовителей продукции (бригадиров и мастеров цехов и производственных участков), что должно предусматриваться технологическими картами, утвержденными в установленном порядке.

Для выполнения всего комплекса работ по контролю качества продукции руководство предприятия обязано обеспечить ОТК необходимой рабочей площадью, инвентарем, контрольно-измерительными приборами, оборудованием и инструментом, транспортом, средствами механизации трудоемких работ, а также следующей документацией:

- положением об ОТК;
- действующими на предприятии технологическими картами;
- рабочими чертежами изготавливаемых изделий, их узлов и используемой оснастки;
- ТНПА на изготавливаемую продукцию, ее применение, поставляемые сырьевые материалы и комплектующие изделия, а также на порядок контроля, анализа и испытания продукции.

С целью обеспечения ОТК лабораторными данными, требуемыми для принятия решения о признании соответствия изготовленной продукции требованиям ТНПА, лаборатория предприятия или испытательная организация по договору обязана проводить соответствующие анализы и испытания.

Результаты анализов и испытаний должны фиксироваться в соответствующих журналах.

Предприятие может реализовать лишь продукцию, принятую ОТК.

Контроль качества готовой продукции, осуществляемый ОТК, не освобождает руководителей производственных цехов от ответственности за качество изготавливаемой под их руководством продукции и от их обязанностей по руководству производством с целью изготовления и сдачи на склад только качественной продукции.

Система технического контроля (объекты контроля, контрольные операции и их последовательность, техническое оснащение, режим, методы, средства механизации и автоматизации контрольных операций) является неотъемлемой частью производственного процесса, разрабатывается (определяется) одновременно с разработкой технологии производства службой главного технолога предприятия (объединения) или соответствующими проектно-технологическими организациями при участии ОТК либо по его согласованию и в обязательном порядке фиксируется в утверждаемых технологических картах.

Система технического контроля должна обеспечить соблюдение требований операционного и приемочного контроля.

Штампы ОТК должны соответствовать ГОСТ 13015.2, а их номера закрепляются приказом руководителя предприятия за работниками ОТК.

Структура и штаты ОТК определяются руководством предприятия по согласованию с вышестоящей организацией в зависимости от объема выпускаемой продукции, количества производственных цехов, номенклатуры продукции, уровня механизации контрольных операций и других факторов с таким расчетом, чтобы был обеспечен постоянный посменный контроль выпускаемой продукции.

*Основной целью ОТК* предприятия является предупреждение выпуска предприятием продукции, не соответствующей требованиям рабочих чертежей и ТНПА, а также укрепление производственной дисциплины и повышение ответственности всех звеньев производства за качество выпускаемой продукции.



Основные задачи ОТК:

- организация и выполнение контроля технологических процессов, укомплектованности продукции, ее упаковки и маркировки, оформление документации по результатам контроля;
- координация деятельности подразделений технического контроля предприятия;
- контроль качества готовой продукции;
- организация разработки и внедрение прогрессивных методов и эффективных средств контроля;
- участие в разработке организационно-технических мероприятий по государственной аттестации продукции;
- анализ и учет претензий потребителей продукции;
- совершенствование организации технического контроля.

### 1.13. Однородность бетона

Оценка однородности бетона осуществляется по коэффициенту вариации.

*Коэффициент вариации* является относительной величиной и не зависит от абсолютных значений ряда. Коэффициент вариации может быть использован для сравнения однородности продукции различных партий, стабильности технологических процессов или свойств материалов на различных заводах. Применительно к прочности бетона на сжатие стабильность качества продукции ориентировочно может быть оценена различными показателями (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Показатели качества продукции

Оценка однородности бетона по прочности	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Коэффициент вариации, %	Менее 6	6–12	12–16	Более 16

При изготовлении и отпуске потребителям изделий допускается отличие фактической средней прочности от нормируемой, которое зависит от величины коэффициента однородности. При этом предусматривается система постоянного статистического контроля однородности и прочности бетона на заводе.

### 1.14. Назначение и общие положения ГОСТ 18105

Основные термины с соответствующими, определениями применяемые в ГОСТ 18105:

**Нормируемая прочность** – заданное в ТНПА или проектной документации значение прочности (в проектном и промежуточном возрасте, отпускная, передаточная).

**Требуемая прочность ( $R_T$ )** – минимально допустимое значение фактической прочности бетона в партии, устанавливаемое лабораториями предприятий и строек в соответствии с достигнутой ею однородностью.

**Фактическая прочность бетона в партии ( $R_m$ )** – среднее значение прочности бетона в партии, определяемое по результатам испытания контрольных образцов или неразрушающими методами непосредственно в конструкции.

**Средний уровень прочности бетона ( $R_y$ )** – среднее значение прочности бетона, устанавливаемое на контролируемый период в соответствии с достигнутой однородностью бетона по прочности и поддерживаемое в производстве, для которого подбирают состав бетона.

**Проектный возраст бетона** – время твердения бетона, в течение которого должна быть достигнута прочность, соответствующая его классу.

**Партия** – включает бетон сборных или монолитных конструкций, формируемых на одном технологическом комплексе из бетонной смеси одного номинального состава по одной технологии в течение не менее одной смены и не более одной недели.

**Единичное значение прочности бетона** – при контроле по образцам средняя прочность бетона в одной серии образцов, а при контроле неразрушающим методом – средняя прочность бетона конструкции или контролируемого участка.

**Серия образцов бетона** – контрольные образцы бетона, изготовленные из бетонной смеси, использованной при изготовлении конструкции и твердевшие в одинаковых с конструкцией условиях до определения отпускной или передаточной прочности. При определении прочности бетона в проектном возрасте твердение должно осуществляться в нормальных условиях при температуре  $20 \pm 2$  °С и влажности  $\phi$  не менее 95 %.

**Анализируемый период** – период времени, за который вычисляют средний по партиям коэффициент вариации прочности. Анализируемый период устанавливают продолжительностью от одной недели до двух месяцев. При этом общее число единичных значений должно быть не менее 30.

**Контролируемый период** – период времени, в течение которого требуемую прочность принимают постоянной в соответствии с коэффициентом вариации за предыдущий анализируемый период. Продолжительность контролируемого периода следует принимать от одной недели до одного месяца.

**Технологический комплекс** – одна из нескольких технологических линий завода, для которых контроль прочности бетона одного номинального состава, приготовленного по одной технологии и твердевшего в одинаковых условиях, производят по одному партионному коэффициенту вариации  $V_{п}$ , вычисляемому за анализируемый период.

Согласно ГОСТ 18105 контролю подлежат:

- отпускная прочность для сборных конструкций без предварительного напряжения или с предварительным напряжением при условии, что отпускная прочность выше передаточной;
- передаточная прочность для преднапряженных конструкций;
- прочность бетона в промежуточном возрасте для монолитных конструкций (например, при снятии опалубки);
- прочность бетона в проектном возрасте для сборных и монолитных конструкций.

Если отпускная или передаточная прочность более либо равна 90 %, то контроль в проектном возрасте не производят. Допускается коэффициент вариации прочности бетона в проектном возрасте не вычислять, а принимать его равным 85 % от коэффициента вариации отпускной прочности.

### **1.15. Порядок расчетов согласно ГОСТ 18105**

В начальный период, до накопления необходимого для ведения статистического контроля числа результатов испытаний, *требуемую прочность бетона* следует определять так:

$$R_m = 1,1 \frac{B_{\text{норм}}}{K_6}, \text{ МПа},$$

где  $K_6$  – коэффициент, принимаемый для всех видов бетона, кроме ячеистого и плотного силикатного, равным 0,78.

После накопления результатов испытаний *определяют прочность бетона в партии*:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \text{ МПа},$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

Далее рассчитывают *среднее квадратическое отклонение прочности бетона в партии* ( $S_m$ ).

Если  $n < 6$ , то вначале рассчитывают *размах единичных значений в партии*

$$W_m = R_i^{\max} - R_i^{\min}, \text{ МПа}, \quad (1.1)$$

где  $R_i^{\max}$ ,  $R_i^{\min}$  – максимальное и минимальное единичное значение прочности бетона в партии, МПа.

Затем по табл.1.6 определяют поправочный коэффициент  $\alpha$ .

Таблица 1.6

Значение поправочного коэффициента в зависимости от числа единичных значений

Число единичных значений $n$	2	3	4	5	6
Значение коэффициента $\alpha$	1,13	1,69	2,06	2,33	2,50

И, наконец, по формуле (1.1) вычисляют величину  $S_m$ :

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \text{ МПа.}$$

При  $n > 6$  расчет ведут по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}}, \text{ МПа.}$$

Далее рассчитывают коэффициент вариации прочности бетона в партии (так называемый партионный коэффициент вариации прочности бетона):

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} 100, \% \quad (1.2)$$

Затем по всем партиям за анализируемый период определяют среднее значение партионного коэффициента вариации прочности бетона

$$V_n = \frac{\sum_{i=1}^n V_{m,i} n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \% \quad (1.3)$$

где  $V_{m,i}$  – коэффициенты вариации прочности бетона в каждой  $i$ -й из  $n$  партий бетона, проконтролированных в течение анализируемого периода, вычисляемые по формуле (1.2);

$n_i$  – число единичных значений прочности бетона в каждой  $i$ -й из  $n$  партий бетона, проконтролированных в течение анализируемого периода;

$\sum_{i=1}^n n_i$  – общее число единичных значений прочности бетона за анализируемый период (не менее 30).

Полученное значение  $V_n$  является основой для всех последующих расчетов.

Далее определяют *требуемую прочность бетона*  $R_T$  (отпускную, передаточную и т. д.):

$$R_T = K_T B_{\text{норм}},$$

где  $B_{\text{норм}}$  – нормируемое значение прочности (отпускной, передаточной, в промежуточном или проектном возрасте) для бетона данного класса по прочности на сжатие, осевое растяжение или растяжение при изгибе в МПа;

$K_T$  – коэффициент требуемой прочности, принимаемый в соответствии с табл. 1.7 в зависимости от среднего коэффициента вариации прочности бетона  $V_n$  по всем партиям за анализируемый период, вычисляемого по формуле (1.3).

Таблица 1.7

Значение коэффициента требуемой прочности в зависимости от среднего коэффициента вариации по всем партиям

$V_n, \%$	6 и менее	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Не допускается
$K_T$	1,07	1,08	1,09	1,11	1,14	1,18	1,23	1,28	1,33	1,38	1,43	

Затем определяют *средний уровень прочности бетона*:

$$R_y = K_{\text{мп}} R_T,$$

Коэффициент  $K_{\text{мп}}$  принимают по таблице 1.8 в зависимости от среднего коэффициента вариации.

Таблица 1.8

Значение коэффициента  $K_{\text{мп}}$  в зависимости от среднего коэффициента вариации

$V_n, \%$	6 и менее	От 6 до 7	От 7 до 8	От 8 до 10	От 10 до 12	От 12 до 14	14 и более
$K_{\text{мп}}$	1,03	1,04	1,05	1,07	1,09	1,12	1,15

Бетон, подбираемый лабораторией, при обеспечении требований по морозостойкости, водонепроницаемости и др. может иметь среднюю прочность выше чем средний уровень прочности бетона в проектном возрасте. В этом случае за средний уровень прочности бетона принимают прочность, определенную при подборе его состава.

Партии бетона сборных конструкций принимают по отпускной и передаточной прочности, а монолитных конструкций – по прочности бетона в проектном возрасте.

Партия бетона подлежит приемке, если фактическая прочность бетона в партии  $R_m$  будет не ниже только что определенной  $R_T$ :

$$R_m \geq R_T.$$

Контроль прочности бетона в проектном возрасте проводят сравнением требуемой прочности в проектном возрасте со средней прочностью бетона в этом возрасте всех проконтролированных за неделю партий. Прочность бетона в проектном возрасте считается отвечающей требованиям ГОСТ 18105, если выполняется условие  $R_o \geq R_o$ , а результаты проверки относят ко всем партиям бетона, изготовленным за неделю.

В случае нарушения условия изготовитель обязан в трехдневный срок после окончания всех испытаний поставить в известность потребителя.

Возможность использования партии конструкций, не отвечающих условию  $R_o \geq R_o$ , должна быть согласована с проектной организацией.

Согласование с проектной организацией возможности изготовления и использования конструкций необходимо и в том случае, если средний партионный коэффициент вариации на последующий контролируемый период попадает в область недопустимых значений.

### **1.16. Испытание конструкций на прочность, жесткость и трещиностойкость**

Испытания бетонных и железобетонных изделий нагружением выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 8829 с целью комплексной проверки достижения технологическими процессами производства изделий требуемых показателей прочности, жестко-

сти и трещиностойкости, предусмотренных в проектной документации на эти изделия. В результате испытаний должны определяться фактические значения разрушающих нагрузок при испытаниях изделий по прочности (первая группа предельных состояний) и фактические значения прогибов и ширины раскрытия трещин под контрольной нагрузкой при испытаниях по жесткости и трещиностойкости (вторая группа предельных состояний).

Оценка прочности, жесткости и трещиностойкости изделия осуществляется по результатам испытаний на основании сопоставления фактических значений разрушающей нагрузки, прогиба и ширины раскрытия трещин под контрольной нагрузкой соответствующими контрольными значениями, установленными в проектной документации на изделие.

Контрольные испытания нагружением проводят по схемам, предусмотренным в проектной документации, перед началом массового изготовления изделий, при внесении в них конструктивных изменений или при изменении технологии изготовления, вида и качества применяемых материалов, а также периодически в процессе производства изделий в соответствии с ГОСТ 13015.1.

Проведение предусмотренных в ГОСТ 8829 контрольных испытаний изделий не освобождает предприятие-изготовитель от выполнения в процессе производства операционного и приемочного контроля изделий по показателям, характеризующим их соответствие техническим требованиям, установленным в ТНПА на эти изделия.

При контрольных испытаниях изделия следует доводить до исчерпания несущей способности (до разрушения), что характеризуется следующими признаками:

а) *при испытаниях в гидравлических и пневматических установках*: непрерывное нарастание прогибов, развитие и раскрытие трещин в бетоне при практически неизменной достигнутой максимальной нагрузке либо резкое снижение нагрузки после достижения ее максимального значения, при котором происходит разрыв арматуры, проскальзывание ее в бетоне или раздробление бетона сжатой зоны;

б) *при испытаниях нагружением штучными грузами*: резкое нарастание прогибов, развитие и раскрытие трещин при последнем этапе нагрузки, разрыв арматуры, проскальзывание арматуры в бетоне или раздробление бетона.



Нагружение испытываемых изделий должно соответствовать схемам испытаний, приведенным в ТНПА или проектной документации на эти изделия. По согласованию с проектной организацией-разработчиком рабочих чертежей изделий допускается указанную на схемах испытаний равномерно распределенную нагрузку заменять эквивалентными нагрузками, создаваемыми равными сосредоточенными силами.

Прочность испытываемого изделия оценивают по значениям максимальной (разрушающей) нагрузки, зарегистрированной к моменту проявления признаков, свидетельствующих об исчерпании несущей способности.

Изделия признают удовлетворяющими предъявляемые требования по прочности, если выполняются следующие условия:

- при испытании одного изделия разрушающая нагрузка должна составлять не менее 100 % контрольной;
- при испытании двух изделий минимальная разрушающая нагрузка должна составлять не менее 95 %;
- при испытании трех изделий и более – не менее 90 % контрольной.

Жесткость следует оценивать, сравнивая фактический прогиб изделия под контрольной нагрузкой с контрольным значением прогиба.

Изделия признают выдержавшими испытание при выполнении следующих условий:

- при испытании одного изделия фактический прогиб не превышает контрольный более чем на 10 %;
- при испытании двух изделий максимальный фактический прогиб не превышает контрольный более чем на 15 %;
- при испытании трех и большего количества изделий – более чем на 20 %.

Трещиностойкость испытываемых изделий следует оценивать по нагрузке, при которой образуются первые трещины в бетоне, и по ширине раскрытия трещин. Фактическую нагрузку образования трещин следует сопоставлять со значениями контрольной нагрузки по образованию трещин, а измеренные значения ширины раскрытия трещин – с контрольными величинами раскрытия.

Изделия, к трещиностойкости которых предъявляются требования *1-й категории*, признают выдержавшими испытания, если выполняются следующие условия:

- в случае испытаний одного изделия нагрузка при появлении первой трещины должна быть не менее 95 % контрольной;
- в случае испытаний двух изделий минимальная из нагрузок при появлении первой трещины составляет не менее 90 % контрольной;
- в случае испытаний трех изделий и более – не менее 85 % контрольной.

Изделия и (или) их части, к трещиностойкости которых предъявляются требования *2-й и 3-й категории*, признают годными, если при действии прикладываемой нагрузки выполняются следующие условия: в случае испытаний одного, двух, трех изделий и более максимальная ширина раскрытия трещин не должна превышать контрольную, умноженную соответственно на коэффициенты 1,05; 1,1; 1,15, и, кроме того, не должна превышать нормируемого значения предельно допустимой ширины непродолжительного раскрытия трещин.

## **Часть 2. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

### **2.1. История развития науки о долговечности**

Первое научное исследование процессов коррозии бетона на гидравлических вяжущих под действием морской воды датируется 1857 г. (работа Л. Вика «Исследования химических причин разрушения гидравлических составов морской водой и способов определения их сопротивляемости этому воздействию»). Л. Вика обнаружил химическое взаимодействие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с сульфатом магния ( $\text{MgSO}_4$ ), растворенным в воде с образованием гидроксиды магния ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) и гипса  $\text{CaSO}_4$ , что вызывало разрушение цементного камня.

С начала XIX в. началось массовое применение бетонов на основе гидравлических вяжущих в морских сооружениях. Поэтому первые исследования долговечности посвящены именно морским сооружениям. В Российской империи большую роль в становлении науки о долговечности сыграли обследования морских железобетонных сооружений, выполненные в течение 1902–1904 гг. А. Р. Шуляченко, В. И. Чарномским, А. А. Байковым.

В 1880–1890 гг. появились первые железобетонных конструкции и началось их массовое использование в промышленных зданиях и сооружениях. В начале XX в. проведены исследования поведения железобетонных конструкций в различных грунтах и атмосфере индустриальных районов.

В США в 1925 г. были начаты длительные исследования поведения железобетонных конструкций в естественных грунтах со значительным содержанием сульфатов с расчетом получения результатов через 25, 50 и более лет. В 1951 г. Г. Миллером опубликованы результаты исследований через 25 лет.

В России до революции коррозионные исследования относились в основном к морским сооружениям. Промышленность же была слаба. Лишь с началом индустриализации начался расцвет науки. Существенный вклад внесли П. П. Будников, Ю. М. Бутт, Ф. М. Иванов, В. А. Кинд, К. Г. Красильников, В. М. Москвин, С. В. Шестоперов и др. До Второй мировой войны разработаны нормы агрессивности воды-среды и проведены основополагающие исследования. В 1937 г. проведена первая конференция по коррозии бетона, а с 1954 г. конференции проходят регулярно, каждые 5–6 лет.

С 1950 г. начаты исследования коррозии стальной арматуры. Центральная лаборатория коррозии НИИЖБа – головная организация по изучению коррозии бетона и железобетона создана в 1954 г.

Основными направлениями развития науки о долговечности являются:

- разработка теории коррозии бетона и железобетона;
- исследования коррозии бетона в различных средах;
- исследование коррозии арматуры и повышение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре;
- исследование работы железобетонных конструкций в различных агрессивных средах и создание коррозионностойких конструкций;
- защита железобетонных конструкций лакокрасочными, пленочными и полимерными покрытиями;
- технико-экономическая оценка защиты железобетонных конструкций;
- изучение поведения железобетонных конструкций в натуральных условиях и разработка методов испытаний.

## **2.2. Классификация коррозионных процессов и агрессивных сред**

### *2.2.1. Классификация коррозионных процессов*

Коррозионные процессы весьма многообразны, поэтому их классификация весьма сложная задача. Классифицировать коррозионные процессы удастся только по сумме основных ведущих признаков их влияния на бетон. В 1952 г. В. М. Москвин предложил разделить процессы коррозии, протекающие в бетоне на три основных вида.

I вид – к данному виду относятся все процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии жидких сред (водных растворов), способных растворять составляющие цементного камня с последующим их удалением. Особенно интенсивно данный вид коррозии протекает при фильтрации воды через тело бетона.

II вид – к данному виду относятся процессы коррозии, при которых происходит химическое взаимодействие между компонентами цементного камня и агрессивного раствора. При этом продукты реакции могут либо удаляться, либо скапливаться в толще в виде аморфной массы.

III вид – к данному виду относятся процессы коррозии, при которых в порах бетона происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением объема твердой фазы, либо веществ, способных при фазовых переходах увеличивать объем твердой фазы, что приводит к возникновению внутренних напряжений в структуре.

Обычно коррозионные процессы, протекающие в бетоне, носят смешанный характер, поэтому, чтобы отнести процесс коррозии к одному из трех видов, стараются выделить преобладающие процессы, вызывающие разрушение материала.

Существуют также и специфические виды коррозии, к которым относятся:

- внутренняя коррозия бетона – взаимодействие заполнителя, содержащего реакционноспособный кремнезем, со щелочами цемента;
- биокоррозия – разрушение бетона при действии продуктов жизнедеятельности микроорганизмов;
- коррозия арматуры железобетонных конструкций;
- снижение прочности бетона ( $\delta R$ ) при действии адсорбционно-активных сред.

В табл. 2.1 представлены хорошо известные и изученные в настоящий момент процессы при взаимодействии бетона и железобетона с агрессивными средами.

Таблица 2.1

### Классификация коррозионных процессов бетона и железобетона

Природа определяющего коррозионного процесса	Вид коррозии по В. М. Москвину	Коррозионные процессы	Параметр количественной оценки коррозионного процесса	Факторы, определяющие кинетику коррозионного процесса	
				в условиях напорной фильтрации	при свободном омывании
Физико-химические процессы: растворение и кристаллизация	I	Выщелачивание водой не содержащей солей	Количество растворенных компонентов цементного камня, вынесенных из бетона	Скорость внутренней диффузии	
	II	Выщелачивание нейтральными солевыми растворами			

Окончание табл. 2.1

Природа определяющего коррозионного процесса	Вид коррозии по В. М. Москвину	Коррозионные процессы	Параметр количественной оценки коррозионного процесса	Факторы, определяющие кинетику коррозионного процесса	
				в условиях напорной фильтрации	при свободном омывании
Физико-химические процессы: растворение и кристаллизация	III	Кристаллизация	Количество внесенных агрессивных компонентов или продуктов их взаимодействия с цементным камнем	Скорость капиллярного поднятия жидкости к испаряющей поверхности	Скорость внутренней диффузии
Химическое взаимодействие агрессивной среды с компонентами цементного камня	III-II-I	Сульфатная коррозия	Количество внесенных агрессивных компонентов или продуктов их взаимодействия с цементным камнем	Объемная скорость фильтрации и процессы уплотнения цементного камня продуктами реакции	–
	II	Кислотная коррозия			Скорость диффузии в слое продуктов реакции
	II	Магнезиальная коррозия			
Электролиз цементного камня	–	Электрокоррозия	Количество электричества, прошедшего через элемент конструкции	Напряжение или сила тока, электропроводность бетона	
Адсорбция поверхностно-активных веществ	–	Адсорбция и понижение, поверхностной энергии твердого тела	Понижение прочности цементного камня	Концентрация поверхностно-активных веществ. Напряженное состояние бетона	
Физико-химические процессы на контакте цементного камня и заполнителя или арматуры	–	Взаимодействие активного кремнезема заполнителей и щелочей цемента	Деформации набухания	Соотношение между реагирующими компонентами	
	–	Взаимодействие доломита в заполнителе и растворов солей щелочных металлов			
	–	Электрохимическая коррозия стали	Глубина поражения металла	Характер контроля процесса коррозии: анодный, катодный, омический	
	–	Коррозия растрескивания стали	Напряжение, при котором происходит резкое ускорение разрушения	Состав и структура арматурной стали, ее напряженное состояние и содержание в среде агрессивных или пассивирующих ионов	

### 2.2.2. Классификация коррозионных сред

По степени воздействия на строительные конструкции среды делят на:

- слабоагрессивные (XA1);
- умеренно агрессивные (XA2);
- сильноагрессивные (XA3).

По физическому состоянию среды подразделяют на: газообразные, жидкие и твердые.

По характеру действия среды подразделяют на: химические и биологически активные.

В СНБ 5.03.01 приведены классы сред по условиям эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций и минимальные классы бетона по прочности на сжатие для обеспечения требуемой долговечности (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Классы среды по условиям эксплуатации

Класс среды	Характеристика среды	Примеры для идентификации классов среды	Минимальный класс бетона по прочности на сжатие
Коррозия арматуры вследствие карбонизации защитного слоя бетона			
XC1	Сухая или постоянно влажная	Элементы конструкций внутри помещений, включая кухни, ванны и прачечные	C12/15
		Элементы конструкций постоянно находящиеся в воде	
XC2	Влажная, редкое высыхание	Элементы резервуаров для воды	C16/20
		Элементы фундаментов	
XC3	Умеренно влажная	Элементы, к которым часто или постоянно поступает наружный воздух, элементы во внутренних помещениях с повышенной влажностью	C20/25
XC4	Переменное увлажнение и высыхание	Внешние элементы конструкций периодически орошаемые водой	C25/30
Коррозия арматуры под действием хлоридов			
XD1	Умеренно влажная	Элементы дорожных покрытий	C25/30
XD2	Мокрая, редко высыхаемая	Элементы конструкций при постоянном действии солевых растворов	C30/37
XD3	Переменно увлажняемая и высыхаемая	Дорожные покрытия, элементы мостов	C35/45

Окончание табл. 2.2

Класс среды	Характеристика среды	Примеры для идентификации классов среды	Минимальный класс бетона по прочности на сжатие
Агрессивное воздействие на бетон отрицательных температур при наличии или отсутствии антиобледенителей			
XF1	Умеренное водонасыщение без антиобледенителей	Внешние элементы конструкций	C25/30
XF2	То же с антиобледенителем	Элементы дорожных покрытий	C25/30
XF3	Интенсивное водонасыщение без антиобледенителей	Элементы конструкций в зоне поперечного увлажнения	C25/30
XF4	То же с антиобледенителями	Дорожные покрытия	C30/37
Агрессивное воздействие на бетон химически агрессивной среды			
XA1	Химически слабая агрессивная среда	Очистные сооружения, отстойники	C25/30
XA2	Химически умеренно агрессивная среда	Элементы бетонных полов	C30/37
XA3	Химически сильная агрессивная среда	Сооружения для сточных промышленных вод, кормушки для животных, градирни	C35/45
Воздействия, способствующие износу бетона			
XM1	Умеренный износ	Промышленные полы при движении транспорта на пневматических шинах	C25/30
XM2	Сильный износ	Промышленные полы при интенсивном движении транспорта	C30/37
XM3	Очень сильный износ	Промышленные полы при воздействии транспорта на гусеничном ходу	C30/37

В табл. 2.3 приведены типичные случаи взаимодействия агрессивных сред с бетонными и железобетонными конструкциями с указанием условий воздействия, преобладающих процессов, характера разрушения и способов защиты.



Таблица 2.3

Типичные случаи взаимодействия агрессивных сред с бетонными и железобетонными конструкциями

Среда	Условия воздействия	Преобладающие процессы в бетоне	Характер ограничения процессов в бетоне	Характер разрушения железобетонных конструкций (ведущий процесс)	Способы защиты конструкции
Кислые растворы	Постоянные, с образованием буферного слоя	Растворение и обменные реакции нейтрализации	Диффузионный процесс в слое продуктов коррозии	Послойный с образованием слоя продуктов коррозии бетона, затухающий	В зависимости от скорости коррозии без защиты или изоляция поверхности конструкции
	Постоянные, без образования буферного слоя		Диффузионно-кинетический		
Солевые растворы: – сульфаты и другие соли, дающие кристаллогидратные новообразования;  – хлориды	Постоянные	Обменные реакции с кристаллизацией новообразований	Диффузионный процесс в структуре бетона	Расстрескивание бетона	Использование низкоалюминатных цементов, повышение плотности бетона, уплотняющие пропитки, изоляция поверхности конструкций
	Периодическое увлажнение и подсос с испарением	То же	Диффузионно-конвективный процесс в структуре бетона	Ускоренное расстрескивание бетона	
	Постоянные	Диффузионный перенос с постоянным выравниванием концентрации солей	Диффузионный в структуре бетона	Депассивация и коррозия арматуры с сильным катодным ограничением	Повышение плотности и толщины защитного слоя бетона, насыщение пресной водой, уплотняющие пропитки, изоляция поверхности железобетонных конструкций, защитные покрытия арматуры
Периодическое увлажнение и подсос с испарением	Диффузионно-конвективный перенос с накоплением солей	Диффузионно-конвективный в структуре бетона	То же, с преобладанием катодного или анодного ограничения в зависимости от плотности и влажности бетона		

Окончание табл. 2.3

Среда	Условия воздействия	Преобладающие процессы в бетоне	Характер ограничения процессов в бетоне	Характер разрушения железобетонных конструкций (ведущий процесс)	Способы защиты конструкции
Воздушно-влажная	Постоянные	Нейтрализация кислотными газами	Диффузионный в нейтрализованном слое бетона	Депассивация и коррозия арматуры с преобладанием анодного или омического ограничения в зависимости от плотности и влажности бетона	Повышение плотности и толщины защитного слоя бетона; уплотняющие пропитки, изоляция поверхности конструкции

Далее рассмотрим наиболее распространенные химические вещества, воздействующие на конструкции и степень их агрессивности.

*Кислоты* – агрессивны по отношению к бетону. Степень агрессивного воздействия зависит от химического состава кислоты, ее концентрации и температуры.

*Вода-среда*, содержащая растворенные сульфаты – агрессивна по отношению к бетону. Степень агрессивности зависит от содержания растворенных сульфатов.

*Растворы солей* – при нормальной температуре обычно не агрессивны к бетону, а являются агрессивными по отношению к арматуре.

*Креозот* – агрессивность определяется содержанием фенолов, которые способны медленно разрушать бетон.

*Смазочные масла* – агрессивны, если содержат кислоты. Обладают высокой проникающей способностью и могут воздействовать на арматуру при наличии кислот, а также снижать прочность бетона при «промасливании».

*Продукты переработки нефти* – как правило, не агрессивны по отношению к бетону, если в составе нет кислот и серы. Обладают высокой проникающей способностью.

*Сера (расплавленная)* – неагрессивна.

Каустическая сода и другие едкие щелочи – при концентрации NaOH до 10 %, как правило, не агрессивны. При более высокой концентрации и повышении температуры агрессивность увеличивается.

*Соединения мышьяка* – не агрессивны.

*Мочевина* – агрессивна.

*Сульфат железа* – при растворении дает кислую реакцию, поэтому агрессивен по отношению к бетону.

*Гипохлорит кальция (отбеливающий порошок)* – агрессивен только при высокой концентрации.

*Сахар* – агрессивен даже по отношению к качественному бетону.

*Молоко* – свежее молоко не агрессивно. Агрессивны кисломо-  
лочные продукты.

*Фрукты и овощи* – в соках содержится сахар и кислоты, поэтому агрессивны по отношению к бетону.

*Вино* – как правило, не воздействует на бетон.

*Сточные воды* – жидкие бытовые отходы не агрессивны к бетону, однако при снижении  $\text{pH} < 6,5$  могут интенсивно разрушать бетон.

*Сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ )* – не оказывает агрессивного воздействия на высококачественный бетон. Но при растворении в воде образует сероводородную кислоту, которая оказывает незначительное воздействие на бетон. При определенных условиях, под воздействием аэробных бактерий он может перейти в серную кислоту ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

*Дистиллированная вода* – горячий дистиллят весьма агрессивен к бетону.

*Морская вода* – агрессивна за счет содержания, прежде всего сульфата магния.

### **2.3. Техничко-экономические аспекты коррозии**

Под **долговечностью** бетонных и железобетонных конструкций понимают способность конструкции длительно, с возможными перерывами на ремонт сохранять свою работоспособность вплоть до предельного состояния, при котором дальнейшая эксплуатация становится невозможной из-за физического износа, а ремонт и восстановление становятся экономически нецелесообразными. Для бетонных и железобетонных конструкций долговечность составляет до 100 лет, чаще всего в пределах 50–100 лет.

В агрессивных средах железобетонные конструкции более долговечны, чем металлические. Однако в ряде случаев разрушение столь интенсивно, что расходы на поддержание работоспособности конструкции уже за первые несколько лет эксплуатации превышают первоначальную стоимость конструкции.

Общая стоимость конструкций, подвергаемых агрессивным воздействиям, составляет около 16 % от стоимости основных фондов промышленности.

В табл. 2.4 приведены данные по распределению строительных конструкций промышленных зданий, подвергаемых агрессивным воздействиям в основных отраслях промышленности.

Таблица 2.4

Строительные конструкции, подвергаемые агрессивным воздействиям, %

Конструкции и сооружения	Отрасль промышленности				
	Металлургическая	Химическая	Машино-строительная	Целлюлозно-бумажная	Пищевая
Подземные конструкции зданий	20	52	22	20	20
Несущие и ограждающие конструкции зданий	30	70	15	30	20
Полы зданий	22	40	10	20	20
Инженерные сооружения	60	60	60	60	60

Обеспечение требуемой долговечности бетонных и железобетонных конструкций достигается использованием методов первичной или вторичной защиты и их сочетанием.

К методам первичной защиты относятся методы, которые позволяют обеспечить требуемую долговечность конструкции на стадии ее проектирования и изготовления.

К методам вторичной защиты относятся методы, которые позволяют обеспечить требуемую долговечность конструкции на стадии ее эксплуатации, путем использования различных способов дополнительной защиты.

Выбор тех или иных методов защиты бетонных и железобетонных конструкций (их сочетания) должен основываться, во-первых, на гарантированном обеспечении требуемой долговечности и, во-вторых, должен быть экономически оправданным.

Преимущество при выборе способов защиты следует отдавать таким методам, которые обеспечат требуемый срок службы конструкции без дополнительных затрат на ремонт.

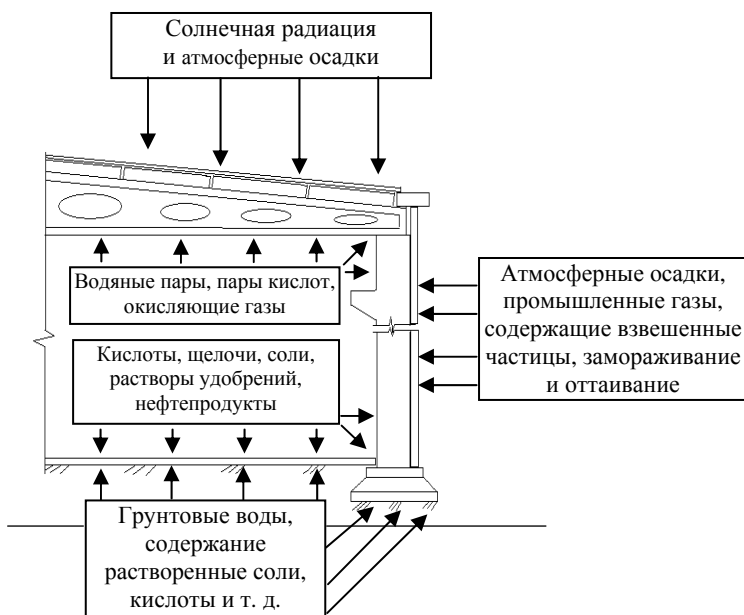
В табл. 2.5 приведено примерное соотношение различных способов повышения долговечности железобетонных конструкций в агрессивных средах.

Таблица 2.5

Примерное соотношение различных способов повышения долговечности железобетонных конструкций в агрессивных средах, % к сметной стоимости противокоррозионных работ

Способы повышения долговечности	Частота применения, %
1. Снижение степени агрессивности среды:	25
• герметизация технологического оборудования;	10
• вентиляция, фильтрация и прочие способы очистки среды	15
2. Повышение коррозионной стойкости бетона и арматуры:	22
• повышение стойкости сырьевых материалов, плотности и водонепроницаемости бетона;	15
• применение коррозионностойкой и неметаллической арматуры;	1
• использование новых видов бетона (полимербетона и пр.);	5
• новые конструктивные решения	1
3. Защита химически стойкими покрытиями:	53
• защита арматуры и металлических деталей;	10
• защита бетонных поверхностей пленочными, плиточными и прочими видами оклеечной и обмазочной изоляции;	30
• защита лакокрасочными химически стойкими покрытиями;	10
• прочие виды защиты	3

## 2.4. Схема агрессивного воздействия на промышленное здание



## 2.5. Коррозия бетона I вида

### 2.5.1. Описание механизма коррозии

К коррозии бетона I вида относятся процессы, которые возникают при фильтрации через тело бетона воды или водных растворов. Процесс коррозии обусловлен растворимостью продуктов гидратации портландцемента в воде. Наиболее растворимым компонентом является гидроксид кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), который в избыточном количестве присутствует в поровой структуре. Поэтому данный вид коррозии получил название «коррозия выщелачивания». Интенсивность коррозии определяется проницаемостью (плотностью) бетона и минералогическим составом цемента. Данный вид коррозии наиболее интенсивно проявляется в случае постоянной фильтрации жидкости через тело бетона. Интенсивность коррозии возрастает при наличии в фильтрующей воде сульфат ионов, ионов хлора, натрия и калия.

Количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементном камне составляет примерно:

- 9–11 % – в возрасте один месяц;
- 15 % – в возрасте трех месяцев.

Растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в дистиллированной воде при 20 °С – 1,18 г/л (в расчете на  $\text{CaO}$ ). При действии воды на цементный камень образуется пересыщение раствора с концентрацией  $\text{CaO}$  до 1,6–1,7 и даже 1,9 г/л. Присутствие одноименных ионов ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{OH}^-$ ) снижает растворимость, а посторонних ( $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) – повышает. Увеличение растворимости усиливает процесс коррозии.

Если создаются благоприятные условия для процесса выщелачивания (рис. 2.1), то вначале в раствор переходит и удаляется свободный гидроксид кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), а затем при уменьшении водородного показателя происходит гидролиз гидросиликатов ( $\text{CSH}$ ) и гидроалюминатов ( $\text{CAH}$ ) кальция с выделением гидроксида кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Также происходит гидролиз и других гидратов, одновременно гидратируются и зерна клинкера.

#### *2.5.2. Методы исследования*

Для исследования процесса коррозии I вида наибольшее распространение получили следующие методы:

- экстрагирование водой цементного камня;
- фильтрация воды через раздробленный цементный камень;
- напорная фильтрация воды через образцы ненарушенного цементного камня и бетона;
- растворение извести при омывании водой наружной поверхности образцов.

Метод исследования на раздробленных образцах дает лишь ориентировочную картину и не может использоваться для оценки интенсивности коррозии. Для изучения процесса коррозии предпочтение отдают методу напорной фильтрации воды через образцы (рис. 2.1). Но можно использовать и метод «омывания», например, при имитационных исследованиях.

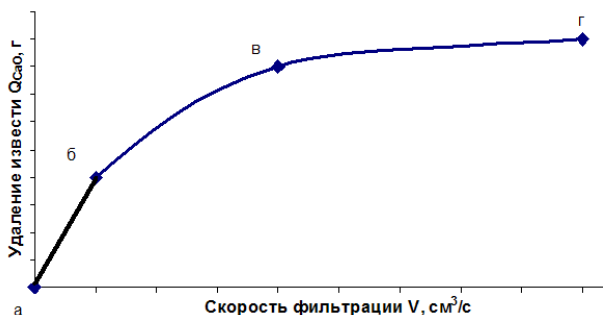


Рис. 2.1. Зависимость количества удаленной извести от скорости фильтрации воды через образец

На рис. 2.1:  $a-b$  – прямопропорциональная зависимость (при малой скорости фильтрации и большой толщине изделия). Скорость коррозии определяется количеством фильтрующейся воды (в расчете на единицу поверхности);  $b-в$  – концентрация растворенной извести уменьшается с увеличением скорости фильтрации, так как процесс лимитируется временем диффузии извести из глубины микрокапилляров в водный фильтрационный поток;  $в-г$  – количество растворенной извести остается постоянным, не зависящим от скорости воды и определяется только скоростью диффузии  $Ca(OH)_2$  в цементном камне данной структуры (в случае омывания бетонной поверхности большими количествами воды).

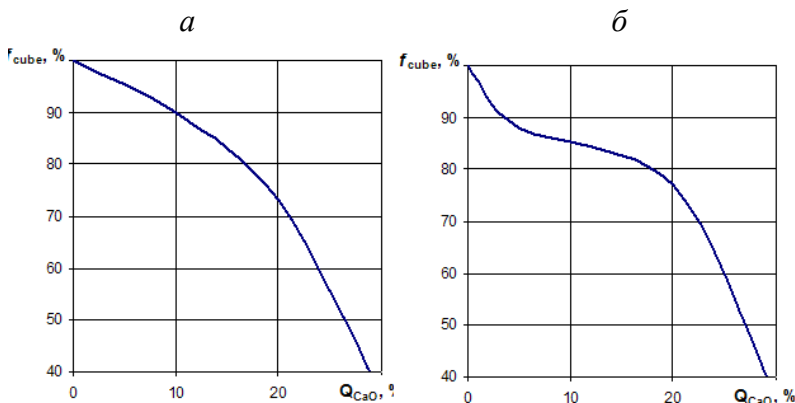


Рис. 2.2. Снижение прочности цементного раствора (а) и бетона (б) при выщелачивании



2.5.3. Факторы, оказывающие влияние на стойкость цементного камня и бетона

2.5.3.1. Вяжущие

Стойкость цементного камня и бетона при коррозии I вида зависит от:

- минерального и вещественного состава цемента;
- микроструктуры цементного клинкера (определяемой скоростью охлаждения клинкера, тонкостью помола и др.).

Например, при ограничении содержания  $C_3S$  стойкость цементного камня повышается. Лучшая стойкость к коррозии у белитовых цементов. С увеличением отношения  $C_3S/C_2S$  стойкость снижается.

С возрастанием содержания в цементе добавок, связывающих  $Ca(OH)_2$ , стойкость возрастает.

По возрастанию стойкости вяжущие можно расположить следующим образом:

- песчаный портландцемент;
- портландцемент;
- гипсошлаковый цемент;
- пуццолановый портландцемент;
- песчано-пуццолановый портландцемент;
- глиноземистый цемент (прежде всего за счет высокой плотности).

Введение в состав цемента активной гидравлической добавки, способной к связыванию гидроксида кальция, существенно повышает его стойкость. Минеральные добавки к цементу не только изменяют химический состав цементного камня, придавая ему большую стойкость к воздействию воды, но и повышают плотность бетона (снижают водонепроницаемость).

По убыванию способности связывать гидроксид кальция добавки можно расположить в следующей последовательности (по доле активности в мг СаО на 1 г добавки в течение 28 суток)

- сиштофф – 364;
- бренский трепел – 300;
- вольский трепел – 296;
- карадачский трас – 105
- английская пемза – 40;
- нальчинский пепел – 36.

Процесс связывания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  добавками не ограничивается 28 сутками и является достаточно продолжительным.

#### *2.5.3.2. Технологические факторы*

Так как стойкость к первому виду коррозии зависит от степени связывания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и плотности бетона, следовательно, к основным технологическим параметрам можно отнести:

- повышение температуры и длительности твердения (позволяет связать больше  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Наиболее эффективна автоклавная обработка;
- обеспечение высокой относительной влажности среды при твердении бетона;
- увеличение продолжительности твердения в нормально-влажностных условиях (особенно эффективно при использовании пуццоланового портландцемента).

#### *2.5.4. Методы защиты от коррозии I вида*

Признаком коррозии I вида является наличие на поверхности бетона белого налета («высолова»), который образуется в результате того, что  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , вымываясь из бетона, попадает на поверхность изделия, карбонизируется и превращается в труднорастворимый карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ).

Наиболее часто коррозия I вида выявляется при эксплуатации: гидротехнических сооружений (плотины), тоннельной обделки, цементных швов, каналов, лотков, резервуаров, труб, штукатурок и т. д.

Наличие белых пятен не является свидетельством опасности коррозии, а лишь количество налета может служить оценкой скорости протекания коррозионного процесса.

К основным методам защиты конструкций от коррозии I вида относятся:

- искусственная либо естественная карбонизация бетона;
- обработка поверхности солями и слабыми кислотами с целью образования слоя малорастворимых солей кальция. Пример:  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , щавелевая  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , фосфорнокислый  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

## **2.6. Коррозия бетона II вида**

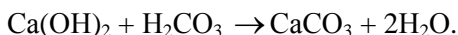
### *2.6.1. Описание механизма коррозии*

Этот вид коррозии связан с обменными реакциями между кислотами и солями окружающей среды и составными частями цемент-

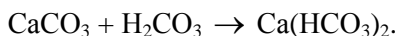
ного камня. Чем интенсивнее реакция, тем скорее разрушается бетон. Разрушение идет с поверхности вглубь изделия. Далее продукты реакции могут смываться механически, либо обладать некоторыми вяжущими свойствами, влияя на процесс коррозии.

Разновидностью II вида коррозии является уголекислотная коррозия. В природе она встречается наиболее часто, так как уголекислота ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) присутствует в грунтовых водах за счет биохимических процессов.

На первом этапе происходит реакция между агрессивной уголекислотой и карбонатом кальция:



При избытке ионов  $\text{OH}^-$  на поверхности цементного камня вначале образуется карбонат кальция в твердом виде, который затем переходит в раствор в виде бикарбоната:



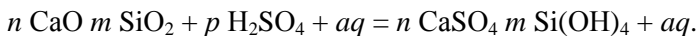
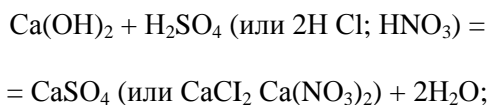
Характеристикой интенсивности коррозии служит количество  $\text{CaO}$  (в виде бикарбоната) в агрессивном растворе.

Пуццолановый портландцемент и глиноземистый несколько более стойкие, чем портландцемент, что объясняется уплотняющим действием продуктов коррозии, препятствующим свободной диффузии  $\text{Ca}^{++}$  к поверхности цементного камня.

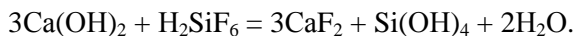
Агрессивность раствора возрастает с увеличением содержания агрессивной уголекислоты, т. е. со снижением водородного показателя (рН).

Типичным примером II вида коррозии является действие кислот на цементный камень.

Под воздействием кислоты цементный камень полностью разрушается:



В зависимости от растворимости продуктов реакции изменяется и скорость коррозионного процесса. Например: поверхностные слои можно обрабатывать слабым раствором кремнефтористоводородной кислоты для их уплотнения:



Гель  $\text{Si}(\text{OH})_4$  в порах слаборастворим, а фторид кальция уплотняет поверхность.

Скорость коррозии II вида возрастает при увеличении концентрации кислоты и скорости фильтрации. Опыты показали, что разрушение бетона происходит быстро, но в более концентрированных растворах ( $\text{pH} = 1$ ) пуццолановые портландцементы обладают равной с портландцементом или меньшей стойкостью, а в растворах слабой концентрации ( $\text{pH} = 4$ ) стойкость пуццоланового портландцемента равна (для  $\text{HCl}$ ) или выше (для  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) стойкости портландцемента.

Средние относительные скорости коррозии для различных видов вяжущих приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Средняя относительная скорость коррозии

Вяжущее	Кислота ( $\text{pH} = 2$ )	
	$\text{HCl}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$
Портландцемент	1	1
Пуццолановый портландцемент	1	0,94
Глиноземистый цемент	0,81	0,68
Кислотоупорный цемент	0,12	0,08

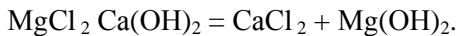
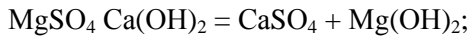
Влияние кислоты на скорость коррозии также определяется растворимостью продуктов коррозии. В табл. 2.7 приведена растворимость некоторых продуктов взаимодействия кислоты с цементным камнем.

Таблица 2.7

Растворимость продуктов взаимодействия кислоты с цементным камнем (солей)

Соли	Растворимость, г/100 г воды
Легкорастворимые соли: • уксусно-кислый кальций • муравьино-кислый • молочно-кислый	52 16,1 10,5
Среднерастворимые соли: • лимоннокислый (цитрат) кальция • винно-кислый	0,085 0,037
Труднорастворимые соли: • оксалат кальция (шавелевокислый)	0,00067

Следующей разновидностью коррозии II вида является действие на бетон растворов магниальных солей. В основном это серно-кислый и хлористый Mg, которые присутствуют в грунтовых водах и морской воде. Взаимодействие идет по следующей схеме:



$\text{Mg}(\text{OH})_2$  – трудно растворим (18,2 мг/л) и выпадает в осадок.

На поверхности бетона и в порах образуется белый налет, а затем происходит скопление белого аморфного вещества.

Действие растворов щелочей также относится к коррозии II вида.

Существуют утверждения, что щелочи безвредны для бетона. Однако на предприятиях по производству едкого натра и соды разрушаются не только бетон, но и кирпичная, каменная кладки.

Растворы щелочей низкой концентрации сами по себе не причиняют значительного вреда бетону, но если в бетоне возникает возможность карбонизация щелочей под действием углекислого газа воздуха ( $\text{CO}_2$ ), то происходит накопление в структуре кристаллизирующихся углекислых солей, что приводит к его разрушению.

При воздействии на цементный камень и бетон растворов щелочей высокой концентрации механизм коррозии заключается в том, что растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при этом значительно снижается, а растворимость других составляющих цементного камня (кремнезема и полуторных окислов) увеличивается в основном за счет образования силикатов и алюминатов натрия и калия. Отсюда следует, что воздействие щелочи высокой концентрации на элементы цементного камня и заполнителей, содержащих кремнезем или глинозем, может вызвать разрушение бетона.

Коррозия может происходить по одному из двух вариантов:

- при полном погружении бетона коррозия за счет растворения  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из цементного камня и заполнителя. Чем выше концентрация  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ , тем интенсивнее коррозия;
- при наличии испаряющей поверхности и доступе  $\text{CO}_2$  коррозия в основном вызывается кристаллизацией углекислых солей щелочных металлов в порах и капиллярах (механизм рассмотрен выше).

Повышение температуры среды увеличивает скорость коррозии при действии щелочей как высокой, так и низкой концентрации.

К технологическим приемам придания стойкости бетону при воздействии на него растворов щелочей высокой концентрации является повышение плотности (водонепроницаемости), а также использование в качестве вяжущего портландцемента (содержится меньше  $\text{SiO}_2$ , чем в пуццолановом и шлакопортландцементе).

### *2.6.2. Методы защиты от коррозии II вида*

К основным методам защиты от действия на бетон кислот относятся:

- применение кислотоупорных цемента;
- применение полимербетонов;
- изоляция поверхности окраской, облицовкой.

## **2.7. Коррозия бетона III вида**

### *2.7.1. Описание механизма коррозии*

Основным признаком этого вида коррозии является накопление в порах и капиллярах солей с последующей их кристаллизацией с увеличением объема твердой фазы. Соли образуются либо в результате реакции агрессивной среды с компонентами цементного камня,

либо привносятся извне и выделяются из раствора в результате испарения воды. Рост кристаллов в порах и капиллярах в некоторый момент вызывает значительные растягивающие усилия и разрушение структуры.

Коррозия III вида может наблюдаться и при проникании в бетон некоторых мономеров и их последующей полимеризации с увеличением объема (пример: мономер хлорпренового каучука – хлорбутена).

При коррозии практически всегда вначале уплотнение, поэтому экспресс-методы могут дать ложную картину благополучия.

В чистом виде коррозия III вида обычно не встречается, как правило накладывается коррозия I и II вида. III вид проявляется при попеременном высушивании-насыщении, а также при наличии испаряющей поверхности.

Основной разновидностью III вида коррозии является – сульфатная коррозия бетона. Сульфаты встречаются в пресных реках и озерах (содержание  $\text{SO}_4^{--}$  – до 100 мг/л), морской воде (до 2700 мг/л), минерализованных грунтовых водах (десятки тысяч мг/л). Это обусловлено наличием растворенных  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2(\text{K}_2)\text{SO}_4$ . Также сульфаты присутствуют в коксохимическом производстве, переработке калийных руд ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ), в химической ( $\text{N}_2\text{SO}_4$ ), целлюлозной, металлургической промышленности.

Сульфаты Na и K способны в значительной степени повысить растворимость составных частей цементного камня (I вид коррозии), вызвать развитие обменных реакций с замещением  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{++}$  в сульфате на ион  $\text{Ca}^{++}$  из цементного камня (II вид коррозии), а при накоплении в порах цементного камня  $\text{CaSO}_4$  возникает III вид коррозии.

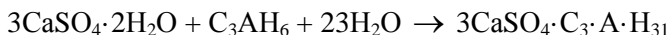
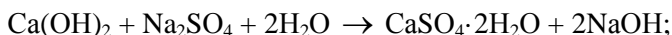
Наибольшее влияние на стойкость цементного камня при воздействии сульфатов оказывает гидросульфалоюминат кальция. В зависимости от условий может образовываться две формы гидросульфалоюмината:

- трехсульфатный –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$ ;
- моноссульфатный –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

Наиболее опасна трехсульфатная форма гидросульфалоюмината или «этрингит», «цементная бацилла». Рост его кристаллов вызывает коррозию.

В жидкой фазе, заполняющей поры цементного камня, этрингит кристаллизуется из раствора. Соль малорастворима, особенно в растворах сульфатов и гидроксида кальция.

Механизм образования этрингита следующий:



(с увеличением объема в 2 раза).

Коррозия интенсифицируется со снижением температуры  $t^\circ$ .

*2.7.2. Факторы, оказывающие влияние на стойкость цементного камня и бетона*

*2.7.2.1. Влияние вида вяжущего*

Содержание MgO в клинкере до 5 % не влияет на коррозионную стойкость цементного камня.

Содержание гипса в цементе оказывает существенное влияние на стойкость цементного камня. Существует прямая связь между сульфатостойкостью, количеством гипса и тонкостью помола цемента: чем тоньше помол, тем больше гипса может быть введено и химически связано в начальный период гидратации, тем выше сульфатостойкость бетона.

По влиянию на сульфатостойкость содержания  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$  в цементе существуют разногласия, но вероятнее всего в зависимости от соотношения  $\text{C}_3\text{S}/\text{C}_2\text{S}$  для выпускаемых в настоящее время цементов не оказывает существенного влияния. Но в случае если возможно одновременно протекание I вида коррозии, то предпочтение отдадут цементам с большим содержанием  $\text{C}_2\text{S}$ .

По последним данным  $\text{C}_4\text{AF}$  практически не влияет на сульфатостойкость, но данное утверждение требует дальнейшего изучения.

Существенное влияние на сульфатостойкость оказывает содержание  $\text{C}_3\text{A}$  в цементе. С увеличением  $\text{C}_3\text{A}$  стойкость цементного камня снижается. Наблюдение за морскими сооружениями показывают, что бетоны на высокоалюминатном цементе (14–16 %  $\text{C}_3\text{A}$ ) менее стойки, чем на низкоалюминатном (6 %  $\text{C}_3\text{A}$ ).

Для обеспечения требуемой сульфатостойкости цементного камня и бетона предпочтение отдадут глиноземистому и сульфатостойкому цементу. Согласно ГОСТ 22266 существуют следующие разновидности сульфатостойких цементов:



- сульфатостойкий цемент ( $C_3A$  – до 5 %,  $C_3A + C_4AF$  – до 22 %,  $C_3S$  – до 50 %);
- сульфатостойкий цемент с минеральной добавкой ( $C_3A$  – до 5 % – 10 % активных минеральных добавок);
- сульфатостойкий шлакопортландцемент (ШПЦ) ( $C_3A$  – до 8 %, шлака с  $Al_2O_3$  –  $\leq 8$  %).

Также, для обеспечения требуемой сульфатостойкости, предпочтение следует отдавать так называемым баритовым цементам (часть  $CaO$  заменена на  $BaO$ ).

Вопрос о стойкости пуццолановых и шлакопортландцементов зависит от концентрации в растворе вида иона ( $Na_2SO_4$ ,  $MgSO_4$  и др.) Пуццолановый раствор и шлакопортландцемент предпочтительнее применять, чем обычный портландцемент.

#### 2.7.2.2. Влияние химического состава агрессивной среды

По влиянию катиона сульфатные среды можно разделить на три группы (в зависимости от свойств продуктов, образующихся при взаимодействии с минералами цементного камня):

1. Сильнорастворимые гидроксиды –  $Na^+$ ,  $K^+$ . Металлы этой группы образуют гипс и высокорстворимые гидроксиды металлов. При фильтрации агрессивного раствора коррозия протекает интенсивнее, а при неподвижном растворе – менее интенсивное.

2. Малорастворимые гидроксиды –  $Mg^{++}$ ,  $Fe^{+++}$ . Металлы этой группы дают сульфаты повышенной агрессивности, разрушительно действующие на все цементные материалы. Лишь в плотном цементном камне и при образовании нерастворимых продуктов реакции может происходить уплотнение структуры, препятствующее дальнейшей коррозии.

3. Летучие или нейтральные соединения –  $NH_4^+$  или  $H^+$  (пример:  $Ca(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4 = CaSO_4 + 2NH_4OH$ ). При действии соединений этой группы идет не только сульфатная коррозия, но и растворение цементного камня в результате обменных реакций. Растворы с этими катионами весьма агрессивны. Основной метод исследования – измерение деформаций образцов.

При действии  $Na_2SO_4$  в основном образуются кристаллы гипса. ГСАК в виде крупных кристаллов в небольшом количестве.

Большое количество ГСАК образуется при действии  $CaSO_4$  и  $MgSO_4$ .

### *2.7.3. Признаки коррозии III вида*

Внешние признаки:

- для плотных бетонов поверхностное шелушение, отслоения, выкрашивание заполнителя и т. д.;
- для неплотных бетонов – растрескивание по всему объему, видимая деформация образца.

Выделяют следующие стадии разрушения:

- Стадия 1. В поверхностном слое цементного камня, соприкасающегося с раствором сульфата, образуется пленка из продуктов коррозии. Из кристаллов она представлена в основном гипсом. Пленка более развитая, если действует  $MgSO_4$ , так как откладывается много аморфного  $Mg(OH)_2$ .
- Стадия 2. В цементном камне образуются трещины, ориентированные параллельно поверхности, происходит заполнение их гипсом или гипсом и ГСАК. Трещины образуются на участках с повышенным содержанием  $Ca(OH)_2$  и менее однородной структурой.
- Стадия 3. Образуются трещины, нормальные к поверхности, и происходит распад цементного камня и бетона.

### *2.7.4. Коррозия бетона при кристаллизации солей в его порах*

*Вариант № 1. Частичное погружение конструкций в агрессивный раствор*

Кинетика коррозионного процесса определяется: интенсивностью поступления раствора; площадью открытой поверхности; расстоянием от открытой поверхности до уровня агрессивного раствора; температурой, влажностью воздуха.

Перенос агрессивной среды (раствора) в теле бетона в сторону испаряющей поверхности происходит по механизму капиллярного переноса, а особенности коррозии определяются соотношением влагопроводности (растворопроводности) бетона и интенсивности испарения. Возможны два случая:

а) влагопроводность бетона больше интенсивности испарения. В данном случае происходит капиллярный подсос раствора без изменения концентрации до испаряющей поверхности. Происходит накопление солей на испаряющей поверхности. Наиболее интенсивно разрушается поверхностный слой бетона, в первую очередь за счет выщелачивания (коррозия I вида), так как в присутствии солей растворимость  $Ca(OH)_2$  повышается;

б) влажпроводность бетона меньше интенсивности испарения. В этом случае испарение раствора начинается уже в глубине бетона. При испарении повышается концентрация агрессивного раствора и происходит кристаллизация солей. При накоплении солей может появиться кристаллизационное давление. Обычно оно невелико. Но полагают, что наибольшую опасность оказывает не просто кристаллизация солей, а увеличение объема соли при фазовом переходе от менее гидратированной формы к более гидратированной. Высыхание при температуре выше температуры точки фазового перехода, а затем увлажнение при повышении температуры ниже этой точки приводит к образованию кристаллогидрата с увеличением объема твердой фазы (по А. И. Минасу) (см. табл. 2.8).

Таблица 2.8

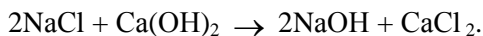
Увеличение объема твердой фазы при фазовом переходе

Исходная соль (выше $t^\circ$ сушки)	Кристаллогидрат (насыщение при $t^\circ$ ниже $t^\circ$ сушки)	Температура перехода, $^\circ\text{C}$	Увеличение объема, %
NaCl	NaCl·2H <sub>2</sub> O	0,15	130
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	32,3	311
MgSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	73	145
MgSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	47	110
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	33	148

*Вариант № 2. Поочередное смачивание бетона растворами солей и высушивание*

При погружении в агрессивный раствор происходит его поглощение за счет капиллярных сил. При сушке агрессивный раствор мигрирует к испаряющей поверхности. Коррозионные процессы в этих условиях значительно усиливаются и осложняются влиянием температуры движением жидкого фронта и др.

Часто разрушение осложняется коррозией I вида, которая наиболее интенсивно проявляется в условиях циклического воздействия. Например, при насыщении и высушивании образцов в растворе NaCl возможно химическое взаимодействие



### *2.7.5. Защита от коррозии III вида*

Основными способами защиты от коррозии III вида является:

- повышение плотности бетона;
- объемная гидрофобизация бетона;
- правильный выбор цемента;
- применение воздухововлекающих добавок;
- гидроизоляция поверхности бетона.

## **2.8. Внутренняя коррозия бетона – коррозия бетона в результате взаимодействия щелочей цемента с кремнеземом заполнителя**

### *2.8.1. Описание механизма внутренней коррозии*

Разрушение бетона происходит в результате реакции между щелочами цемента и кремнеземом, содержащимся в заполнителе. Впервые данный вид коррозии обнаружил и описал Т. Стэнтон в 1940 г.

В результате взаимодействия щелочей с кремнеземом образуются коллоидные растворы силикатов Na и K, которые создают внутренние напряжения в структуре материала. Как правило, возникают местные концентрированные деформации, что ведет к появлению трещин.

Максимум деформаций бетона отвечает максимуму увеличения количества продуктов реакций, кроме того, основное влияние оказывает местное накопление продуктов реакции на поверхности зерна реакционноспособного кремнезема. Опасность коррозии зависит от размера зерен заполнителя. У очень крупных зерен заполнителя достаточно малая удельная поверхность, и, наоборот, у очень мелких зерен заполнителя она достаточно высокая. В первом случае продуктов реакции будет настолько мало, что они не смогут привести к образованию опасных напряжений в структуре материала. Во втором случае продуктов реакции много, но они распределяются по большой поверхности, не вызывая концентрированных напряжений.

Кроме того, протекание коррозии лимитируется температурно-влажностными условиями. Благоприятные условия для протекания коррозии: влажность  $\varphi \approx 80\%$  и температура  $t^\circ > 10-15^\circ\text{C}$ .

Опасность коррозии возникает при содержании щелочей в цементе более 1,0 % по массе и использовании заполнителей, содержащих аморфный (активный) кремнезем.

### *2.8.2. Признаки внутренней коррозии*

Данный вид коррозии обычно проявляется в дорожных покрытиях, гидротехнических сооружениях, мостах и др. На поверхности бетона появляется мелкая сетка трещин, постепенно растущих. Иногда из трещин в виде капель выделяется жидкое стекло (силикат калия или натрия). Происходит полное разрушение.

### *2.8.3 Факторы, оказывающие влияние на стойкость бетона. Защита от коррозии*

К факторам, оказывающим влияние на стойкость бетона, относятся:

1) *вид вяжущего*. Разрушения наиболее часты при применении чисто клинкерных портландцементов без гидравлических добавок, с повышенным содержанием (более 1 %) щелочей.

Использование цементов с тонкодисперсными добавками аморфного кремнезема позволяет снизить или исключить опасность коррозии;

2) *вид заполнителя*. Опасность коррозии возникает в случае использования заполнителей содержащих реакционноспособный микрокремнезем. Ограничение его содержания в заполнителе или использование других заполнителей снижает опасность коррозии.

*Основным способом защиты от коррозии* является применение цементов с низким содержанием щелочей и заполнителей с минимальным содержанием реакционноспособного микрокремнезема.

## **2.9. Биокоррозия бетона. Защита от биокоррозии**

На сегодняшний день нет единого мнения относительно того, какие процессы следует относить к биокоррозии. В основном к бетону относятся как к биостойкому материалу. Бетон не является питательной средой для живых организмов. Биокоррозия возможна, если на поверхности бетона присутствуют органические соединения являющиеся питательной средой для микроорганизмов. Такие соединения могут появиться в бетоне при применении органических добавок или в процессе эксплуатации конструкции. Микроорганизмы, поселяясь на поверхности бетона или в теле бетона, в процессе жизнедеятельности выделяют продукты метаболизма. Так как процессы жизнедеятельности – это окислительные процессы, то главными продуктами метаболизма являются кислоты.

*Основным способом защиты от биокоррозии* является придание бетону биоцидности путем обработки поверхности специальными составами, что не только защищает бетон от коррозии, но и придает ему повышенные санитарно-гигиенические свойства.

## 2.10. Коррозия стальной арматуры железобетонных конструкций

### 2.10.1. Теория процесса коррозии стали в бетоне. Электрохимическая природа коррозии

**Коррозия металла** – это постепенное физико-химическое разрушение под действием окружающей среды.

Для электрохимического механизма коррозии металла характерны следующие условия:

1) наличие разности потенциалов ( $\phi$ ) между отдельными участками поверхности металла (т. е. электрохимическая неоднородность);

2) наличие электрохимической связи между этими участками;

3) активное состояние поверхности на анодных участках, где металл растворяется по реакции:  $n\text{H}_2\text{O} + \text{Me} \rightarrow \text{Me}^+ \cdot n\text{H}_2\text{O} + \bar{e}$ ;

4) наличие достаточного количества деполяризатора, в частности кислорода, необходимого для ассимиляции на катодных участках поверхности металла избыточных электролитов:  $4\bar{e} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$ .

*Схема электрохимической коррозии железа следующая.*

Поскольку существует электрохимическая неоднородность (неоднородность собственно стали и контактной с бетоном поверхности), то условие 1 выполняется. Выполняются также условие 2 и условие 4 (бетон электропроводен и кислородопроницаем). Следовательно, отсутствие коррозии обусловлено невыполнением условия 3.

Практическое отсутствие коррозии объясняется пассивностью стали в щелочной среде. Н. Д. Томашов определяет пассивность, как состояние повышенной коррозионной устойчивости металла, вызванное торможением анодного процесса. Наступление пассивности характеризуется обычно резким облагораживанием электродного потенциала металла.

Граница пассивирующего действия  $\text{Ca}(\text{OH})$  проходит около  $\text{pH} = 12$  при свободном и  $\text{pH} = 11,5$  при ограниченном доступе воздуха.

Если есть активизирующие ионы ( $\text{Cl}^-$ ), то явление пассивности не наступает вовсе, даже и при больших значениях  $\text{pH}$ .

Существует две *основные теории пассивности стали в бетоне*:

1. **Адсорбционный механизм** – наступление пассивности связывается с адсорбцией кислорода (или других атомов), изменяющих химические свойства поверхности, вследствие насыщения свободных валентностей металла атомами, или при изменении строения

двойного электрического слоя, в результате чего затрудняется протекание электрохимической реакции растворения металла.

2. **Пленочный механизм** – наступление пассивности связывается с образованием на поверхности металла фазовой защитной пленки, представляющей собой кислородное соединение металла.

Эти теории взаимно дополняют друг друга. Так, по мере того, как адсорбционная пленка, утолщаясь, переходит в фазовую, анодный процесс испытывает дополнительное торможение при прохождении ионов непосредственно через защитную пленку. Образовавшиеся пленки представляют собой  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  или  $\text{Fe}_2\text{O}_4$ , толщиной 20–100 Å.

### *2.10.2. Процессы и основные химические реакции, протекающие в бетоне*

Как известно, на катоде протекают восстановительные реакции, на аноде – окислительные.

**Анодный процесс** (коррозия) – переход металла в раствор в виде гидратированных ионов или окисление этого металла; при этом в металле остается соответствующее число электронов.

Анодная реакция

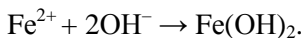


**Катодный процесс** – поглощение появившихся в металле избыточных электронов с помощью так называемых деполяризаторов, которыми могут явиться атомы, молекулы, ионы раствора, подвергающиеся восстановлению на всей поверхности металла или отдельных ее участках.

Катодная реакция:

- $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow 2\text{H} \rightarrow \text{H}_2\uparrow$  – восстановление водорода при  $\text{pH} < 4$ ;
- $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e \rightarrow 4\text{OH}^-$  восстановление кислорода с превращением его в ион гидроксила  $\text{D} + e \rightarrow \text{D}^-$  (в щелочной и нейтральных средах).

Скорости обоих процессов взаимосвязаны. Происходят и вторичные реакции. В растворе ионы металла вступают в реакцию с продуктами катодных реакций. При этом образуются гидроксиды металлов:



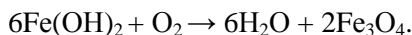
Труднорастворимая гидроокись Fe (II) выпадает в осадок.

При избытке кислорода гидроокись (II) окисляется в гидроокись Fe (III):



Гидроокись Fe (III) нестабильна и разлагается, образуя гидратированный окисел  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Если  $\text{O}_2$  мало, то образуется магнетит:



## 2.11. Газовая коррозия бетона

### 2.11.1. Описание механизма коррозии

Термин «газовая коррозия бетона» носит условный характер, так как на уровне элементарных процессов коррозия бетона в газовых средах не отличается от коррозии в жидкостях. Химические реакции между кислыми газами и минералами цементного камня протекают в пленках влаги. Газ вначале растворяется, а затем вступает в реакцию.

Самый распространенный вид газовой коррозии бетона – это коррозия карбонизации или воздействие углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). Углекислый газ содержится в атмосфере. Его содержание составляет приблизительно 0,03 % по объему. Также возможна коррозия и при действии других газовых сред. Например, в производственных помещениях присутствуют  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NO}_2$  и другие кислые газы, а также пары и аэрозоли кислот.

Коррозия арматуры в случае газовой коррозии возможна в трех случаях:

- защитный слой полностью разрушен;
- защитный слой нейтрализован (карбонизирован);
- защитный слой проникает для солей – активаторов.

### 2.11.2. Классификация газовых сред

Газы разделяют на группы (см. табл. 2.9):

• *I группа* – газы, образующие практически нерастворимые и малорастворимые соли кальция. Объем твердой фазы при этом несколько увеличивается, а проницаемость уменьшается. Малая растворимость продуктов реакции исключает их диффузию в глубь



бетона. Прочность бетона при этом практически не изменяется. Коррозия арматуры начинается после нейтрализации защитного слоя. Примеры: двуокись углерода, фтористый водород, фтористый кремний, фосфорный ангидрид, пары щавелевой кислоты;

- *II группа* – газы, образующие слаборастворимые соли, содержащие значительное количество кристаллизационной воды, что сопровождается увеличением *V* твердой фазы и уплотнением бетона. При этом возможна дегратация защитного слоя или его нейтрализация. Примеры: сернистый и серный ангидрит, сероводород;

- *III группа* – газы, образующие хорошо растворимые гигроскопические соли. При повышении относительной влажности воздуха гигроскопические соли образуют растворы, проникающие за счет капиллярного всасывания либо диффузии в глубину бетона. Образующиеся соли могут быть агрессивными (например: CaCl) или нейтральными (например: Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) по отношению к арматуре. Примеры: хлористый водород, хлор, двуокись хлора, пары брома и йода; окислы азота, поры азотной кислоты и др.

Таблица 2.9

### Классификация газовых сред

Группа	Вид газа, пара	Химическая формула соли
I	Двуокись углерода Фтористый водород Фосфорный ангидрид Щавелевая кислота (пары) Фтористый кремний	CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ; CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O CaF <sub>2</sub> +Si(OH) <sub>4</sub>
II	Сернистый ангидрид Серный ангидрид Сероводород Сероуглерод	CaSO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O переходит в CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O CaS переходит в CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O; CaSO <sub>3</sub>
IIIa	Хлористый водород Хлор Йод (пары) Бром (пары) Уксусная кислота (пары) Муравьиная кислота (пары)	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O CaI; CaI·6H <sub>2</sub> O CaBr <sub>2</sub> ; CaBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O Ca(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ; Ca(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O Ca(HCO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>

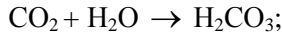
Группа	Вид газа, пара	Химическая формула соли
Шб	Окислы азота Пары азотной кислоты	Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O

### 2.11.3. Кинетика нейтрализации (карбонизации) бетона

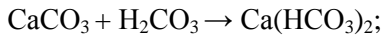
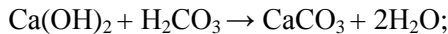
Опасность нейтрализации бетона связана в первую очередь с тем, что снижение pH среды вызывает депассивацию стальной арматуры. Также следует учитывать, что при карбонизации электропроводность бетона снижается в 3–4 раза.

Процесс карбонизации включает следующие стадии:

- диффузию CO<sub>2</sub> в порах и капиллярах бетона, заполненных воздухом;
- растворение CO<sub>2</sub> в жидкой фазе с образованием угольной кислоты:



- взаимодействие кислоты с образование карбоната и бикарбоната кальция:



- кристаллизацию карбоната кальция.

Общая формула для расчета кинетики карбонизации бетона имеет вид:

$$X = \sqrt{\frac{2DC_0}{m_0} \cdot t} \text{ или } X = A\sqrt{t},$$

где  $X$  – толщина карбонизированного слоя;

$D$  – эффективный коэффициент диффузии, характеризующий проницаемость;

$m_0$  – способность бетона поглощать углекислоту, зависящий от расхода цемента, степени гидратации, структуры пор;

$C_0$  – концентрация  $CO_2$ ;

$t$  – время.

При известных сроках эксплуатации  $t$  и глубине нейтрализации  $X_1$  легко рассчитать глубину нейтрализации бетона  $X_2$  в любой другой срок:

$$X_2 = X_1 \sqrt{\frac{t_2}{t_1}}.$$

Существуют зависимости, связывающие глубину карбонизации бетона  $X$  с технологическими параметрами. Например, по формуле Кашитамы можно определить продолжительность карбонизации бетона:

$$T = \frac{7,2}{4,6 \frac{B}{Ц} - 1,76} X^2.$$

#### 2.11.4. Влияние вида вяжущего на глубину нейтрализации бетона

Относительная глубина карбонизации для различных вяжущих:

Портландцемент	1
БТЦ	0,6
ШПЦ (30–40 % шлака)	0,6
Цемент с 20 % золы	1,9
Пуццолановый ПЦ с	
5 %	0,7
10 %	0,78
15 % и добавками	1,14
Без добавки	1
0,15 % ССБ	0,75
0,08 % милонифт	0,25
0,05 % ГКЖ-94	0,25
2,5–4 % НКК	0,35–0,40

## 2.12. Коррозия арматуры под действием ионов хлора

Хлор ( $\text{Cl}^-$ ) является наиболее агрессивным коррозионным агентом. Хлориды затрудняют или вообще исключают наступление пассивности стали. Причиной этого может быть затруднение протекающей стадии пассивирования, состоящей в образовании окисла по следующей реакции:



Эта реакция может замедляться из-за наличия в двойном электрическом слое наряду с ионами  $\text{OH}^-$  значительного количества легко адсорбирующихся ионов хлора ( $\text{Cl}^-$ ). Чем меньше рН, тем при меньшем количестве хлор-ионов начинается коррозия. Так, при рН = 12,5 в растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  коррозия начинается при количестве хлор-ионов 710 мг/л, при рН = 11,6 – 72 мг/л, а при рН = 13,2 в растворе  $\text{NaOH}$  8900 мг/л.

Ионы хлора нарушают и установившиеся значения пассивного состояния. Хлориды адсорбируются на границе «пассивирующий слой-раствор», причем более интенсивно с увеличением их концентрации. Происходит активация металла. Хлор хемосорбируется, вытесняя и замещая кислород, входящий в состав фазовой пленки. Активация происходит на тех участках поверхности, у которых концентрация хлоридов достигает некоторого критического значения. Для железобетонных конструкций критической считают концентрацию хлоридов  $\text{Cl}_{\text{кр}}^- = 0,15\text{--}0,20\%$  от массы растворной части.

Ионы хлора в процессе приготовления попадают в бетон с химическими добавками, а также с заполнителями и водой затворения в процессе эксплуатации конструкций из агрессивных сред.

## 2.13. Методы защиты металлов от коррозии

### 2.13.1. Электрохимические методы защиты металла от коррозии

1) *протекторная защита*. Протектор выполняется из сплава (металла) весьма электроотрицательного. В цепи появляется ток, анод растворяется, а на катоде происходит восстановление;

2) *катодная защита*. Анод выполняют из нерастворимого металла. Катодом является защищаемая конструкция. Происходит поляризация металлической конструкции;

3) *анодная защита*.

### 2.13.2. Химические методы (ингибиторы коррозии)

Ингибиторами называют вещества, при введении которых в коррозионную среду уменьшается опасность коррозии металла, находящегося в контакте с этой средой. Ингибиторы обычно используются в замкнутых системах.

По механизму действия ингибиторы подразделяют:

- на анодные (пассиваторы) – вызывают торможение анодного процесса. Наиболее распространенные – хроматы и нитриты. К анодным относятся и «кроющие» ингибиторы (образуют на поверхности металла труднорастворимые осадки:  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , фосфаты);
- катодные – влияют на скорость катодного процесса. Это могут быть вещества (сульфит натрия, гидрацин), активно связывающие  $\text{O}_2$  и уменьшающие его количество или вещества, уменьшающие  $S$  катода за счет образования пленок труднорастворимых соединений ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  или  $\text{ZnSO}_4$ );
- смешанного действия – сразу на две реакции (полифосфаты и силикаты).

### 2.13.3. Неметаллические защитные покрытия

Механизм действия заключается в отделении поверхности металла от коррозионной среды. Но если в составе есть металлический наполнитель (например, цинк или алюминий), то состав обладает и протекторным действием.

К неметаллическим защитным покрытиям относятся покрытия:

#### 1) органические:

- лакокрасочные покрытия. Получили наибольшее распространение. Наиболее экономически выгодная защита. Толщина лакокрасочного покрытия, как правило, не менее 120–150 мкм. Покрытие должно быть сплошным, без дефектов.
- полимерные покрытия с толщиной слоя около 1,5 мкм;
- покрытия из натурального и искусственного каучука (гумирование).

2) *тонкослойные*. Получают химическим или электрохимическим путем; представляют собой образовавшиеся на поверхности металла тонкие пленки химических соединений: фосфатов, хроматов или окислов.

#### 3) покрытия силикатные:

- керамические футеровки (плитки, кирпичи);
- эмали (стеклообразующие материалы, получаемые сплавлением песка, мела с бурой, содой);
- цементные покрытия (раствор, бетон).

#### 2.13.4. Металлические покрытия

Металлические покрытия подразделяют:

- на *анодные* (покрытие более электроотрицательное, чем металл). Например, цинковое, алюминиевое, кадмиевые.
- *катодные* (покрытия более электроположительное, чем основание). Например, медное, никелевое, хромовое.

### 2.14. Методы исследования коррозионных процессов бетона и железобетона.

#### 2.14.1. Оценка коррозионного состояния арматуры

##### *Гравиметрические методы*

Изготавливают образцы размером 7×7×14, 10×10×20, 15×15×45 и другие из бетона заданной плотности с защитным слоем 10, 15, 20, 25 мм и т. д. Образцы изготавливают одинаковые со специальными фиксаторами или зажимами в количестве не менее трех штук. Длина арматурного стержня принимается такой, чтобы толщина защитного слоя от конца стержня до торца образца равнялась или было больше, чем принятый защитный слой.

После нарезки стержней острые грани на их концах закругляют, шлифуют. Можно защищать и торцы. Перед укладкой в бетон стержни взвешивают с точностью до 0,01 г. Режим испытаний выбирают в зависимости от цели: приближенный к реальным условиям эксплуатации или ускоренный (насыщение в агрессивном растворе и высушивание при  $t = 40-60$  °С). Образцы не следует испытывать при полном погружении в раствор, так как коррозия значительно замедляется при отсутствии кислорода. Продолжительность ускоренных испытаний составляет – 3, 6, 12 и 24 месяца, длительных – один, три, семь и более лет. По окончании испытаний оценивают состояние образцов. При необходимости оценки кинетики проникновения агрессивных ионов, проводят послойный анализ, определяя глубину нейтрализации бетона.

Затем извлекают арматурные стержни и оценивают состояние (внешний вид, площадь коррозионного повреждения). Затем про-

травливают образец (10 % раствор соляной кислоты с 1 % уротропина), промывают образцы в воде. Кратковременно погружают в насыщенный раствор нитрита натрия ( $\text{NaNO}_2$ ) для пассивации стали и высушивают. Коррозионные потери выражают в  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$  или  $\text{кг}/\text{м}^2$ . При наличии язв определяют их глубину. Результаты испытаний представляют в виде графиков.

При определении глубины мелких язв и питтинга (3–100 мкм) используют оптический метод (двойной микроскоп). Определять можно и общее число язв. Затем строят графики различного вида.

#### *Электрохимические методы*

Так как процесс коррозии стали в бетоне носит электрохимический характер, это позволяет широко применять электрохимические методы. Данными методами изучают пассивирующее действие бетона и механизмы его защитного действия. Данные методы не исключают прямых коррозионных испытаний, а дополняют их.

#### *Метод измерения стационарных потенциалов*

Потенциал, установившийся на границе раздела «металл-электролит», нельзя измерить непосредственно. Обычно измеряют разность потенциалов поверхности образца и специального электрода сравнения (каломельного, хлорсеребряного, медносульфатного), дающего постоянный потенциал.

Под величиной стационарного потенциала понимают его значение, которое устанавливается самопроизвольно под воздействием факторов внешней среды. Аналогично измеряют и стационарный потенциал ( $\varphi_{\text{ст}}$ ) металла в растворе. В качестве потенциометра применяют приборы с большим входным сопротивлением. Величина стационарного потенциала ( $\varphi_{\text{ст}}$ ) является результирующей анодных и катодных реакций, протекающих одновременно на поверхности арматуры. Критерием оценки является величина стационарного потенциала, которая должна быть выше определенного значения. Однако метод эффективен для исследования кинетики коррозии, а оценка степени коррозии по данному критерию затруднена. Чтобы выделить влияние язвы, стержни должны быть малого диаметра.

#### *Метод снятия поляризационных кривых*

Этот метод получил наиболее широкое распространение в лабораторных исследованиях. Предназначен для быстрого определения пассивирующего действия бетона по отношению к стальной арматуре и применяется в основном для оценки эффективности добавок. При снятии

поляризационных кривых испытываемый электрод, погруженный в электролит или бетон, включают в электрическую цепь и, изменяя величину потенциала  $\phi$ , наблюдают за изменением тока  $J$  в цепи (потенциостатический метод) или, наоборот, изменяя ток, наблюдают за изменением потенциала (гальваностатический метод). По двум параметрам строят поляризационную кривую. При наличии сильной поляризации электрода, т. е. когда большому изменению потенциала соответствует небольшое изменение тока, сталь находится в пассивном состоянии, в противном случае сталь в активном состоянии. Оценку состояния арматуры в бетоне ведут по показателю плотности тока при потенциале +300 мВ, а также по значению установившегося потенциала, потенциала пассивации и потенциала пробоя пассивной пленки (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Критерии оценки анодных поляризационных кривых

Критерий	Величина критерия		
	Устойчивое Пассивное состояние	Неустойчивое пассивное состояние (возможна слабая коррозия)	Сталь в активном состоянии (возможна интенсивная коррозия)
Стационарный потенциал, мВ	> -350	< -350	< -350
Потенциал пассивный, мВ	> -350	> -350	-
Потенциал пробоя, мВ	> 450	> 300	< 300
Плотность потока при $E = 300$ мВ, мкА/см <sup>2</sup>	≤ 10	10–25	> 25

*Хроноамперометрический метод*

Предназначен для быстрого определения нужного содержания ингибитора или границ содержания агрессивного компонента. Практически не отличается от потенциостатического метода. Стальной электрод погружают в раствор ингибитора определенной концентрации, с помощью потенциостата накладывают потенциал +300 мВ по хлорсеребряному электроду и измеряют плотность тока. Последовательно добавляя агрессивные агенты, устанавливают момент, когда плотность тока резко увеличивается, т. е. развивается коррозионный процесс.



### *Хронопотенциостатический метод*

Аналогичен предыдущему, но ток накладывают плотностью 10 мкА/см<sup>2</sup> и рассматривают изменение потенциала. При потенциале, уходящем резко в положительную область, оценивают действие ингибитора как положительное.

### *Метод измерения скорости спада потенциала*

Пригоден в лабораторных и полевых условиях. Источник тока – выпрямитель или батарея напряжением 12 В, вольтметр с входным сопротивлением не менее 10<sup>8</sup> Ом. Электрод сравнения устанавливают вблизи каркаса. Метод применим, если электрическое сопротивление в цепи, состоящей из арматуры бетона – медносulfатного электрода, не превышает 100 кОм. Включают ток и в течение 1 мин поляризуют арматуру анодным током. Через 0,5; 1; 2 и 3 мин после отключения тока измеряют величину потенциала. Если потенциал за 1 мин опустился ниже нуля, сталь находится в пассивном состоянии. При более интенсивном спаде потенциала возможна коррозия (плохо формируется защитная пленка). Так проводят оценку в нескольких точках.

### *Прямые испытания*

Образцы или вырезанные из конструкции куски арматурной стали испытывают на растяжение (предел прочности и остаточное удлинение при разрыве) сопоставляя полученные значения с образцами непрочкорродировавшей стали.

### *Измерение и оценка блуждающих токов на эксплуатируемых железобетонных конструкциях*

Опасными с точки зрения коррозии арматуры являются анодные участки. Для обнаружения блуждающих токов производят замеры потенциалов «арматура–почва», «арматура–бетон» и градиентов потенциалов по поверхности бетона.

При обнаружении потенциала «арматура–почва» на каком-нибудь участке конструкции (более 1 В) можно произвести измерение тока утечки с конструкции в землю.

В естественном состоянии (без наличия блуждающих токов):

- потенциал «арматура–почва» составляет 0–0,5 В (по медно-сульфатному электроду);
- потенциал «арматура–бетон» – 0–0,3 В;
- градиент потенциалов по поверхности бетона – 0–0,1 В/м.

Если измеряемые величины выходят за указанные диапазоны, то существует опасность электрокоррозии.

*Оценка склонности высокопрочной арматуры к коррозионному растрескиванию*

Готовят раствор для испытаний, который состоит из нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (60 %); нитрата аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (5 %) и воды  $\text{H}_2\text{O}$  (35 %). В раствор помещают образцы, в которых с помощью специальных приспособлений создают напряжения изгиба или растяжения. Раствор кипятят. Критерием стойкости арматуры служит время (в часах) до разрушения образца.

*Сцепление арматуры с бетоном*

При проникновении агрессивной среды к поверхности арматуры вначале происходит увеличение прочности сцепления за счет накопления продуктов коррозии в слое «арматура–бетон», а затем резкое падение вплоть до образования трещины.

#### *2.14.2. Оценка коррозионного состояния бетона*

*Прямые испытания*

Проводят испытания бетонных образцов на прочность при сжатии, изгибе, раскалывании и т. д. и определяют снижение или изменение указанных показателей. Размеры образцов принимают применительно к эксперименту.

*Метод сорбции красителей из жидких сред*

Этот метод основан на предположении, что опасной для материала является лишь та пористость, в которую проникает агрессивная среда. Сорбция красителя (например, метиленового синего из ацетоновых растворов) позволяет определить удельную поверхность материала. Для проведения исследований отбирают гранулы материала 5–8 мм, которые помещают в раствор красителя, определенной концентрации, где выдерживают в течение 1 суток. Затем на фотоколориметре определяют количество красителя, адсорбированного на материале. Периодически проводя исследования, можно определить кинетику изменения удельной поверхности  $S_{\text{уд}}$ , т. е. проследить процесс разрушения материала.

*Вакуумный метод*

При коррозионном воздействии изменяется структура материала. Вакуумный метод позволяет путем изменения объема воды, поглощаемой материалом под вакуумом, судить о кинетике изменения структуры материала, т. е. о его разрушении.

### *Метод определения изменения массы образцов*

Метод основан на изучении изменения массы образцов при воздействии агрессивной среды. Например, происходит увеличение массы образцов при поглощении соли (соленаккумуляция) или снижение массы при их разрушении (шелушение поверхности, удаление продуктов коррозии и т. д.).

### *Метод определения коррозионной стойкости по изменению блеска поверхности образцов*

Данный метод пригоден, если разрушение начинается с поверхности. Одной из граней образца придается зеркальный блеск (например, формование на стекле). С помощью блескомера в процессе испытаний контролируют изменение блеска, что косвенно позволяет судить о коррозионном воздействии среды. Для измерений образцы должны быть сухими и чистыми.

### *Метод, основанный на определении микротвердости*

Определяют микротвердость поверхности образца до и после воздействия коррозионной среды. Для определения микротвердости применяют различные методы, например, диаметр отпечатка при вдавливании штампа при определенной нагрузке.

### *Методы, основанные на определении кинетики нейтрализации бетона*

Нейтрализация бетона – это изменение его водородного показателя.

Первый метод основан на послойном определении водородного показателя бетона после воздействия коррозионной среды. Образцы выдерживают в коррозионной среде (обычно газовой), затем послойно снимают слои определенной толщины (на токарном станке – снимают и выкальвают). Полученные пробы измельчают и просеивают через сито 900 отв/см<sup>2</sup>. Из них готовят водные вытяжки: в соотношении Ц : В = 1 : 5 готовят раствор, который взбалтывают на встряхивающем столике в течение трех часов. Эти пробы фильтруют, в вытяжках на рН-метре определяют рН.

Второй метод является более простым. На свежий скол бетона в нескольких точках (3–5 точек на одну конструкцию) наносят 0,1%-й раствор фенолфталеина в этиловом спирте. С помощью линейки измеряют толщину окрашенного в ярко-красный цвет слоя бетона. Изменение окраски происходит при рН = 10.

### *Методы, основанные на определении диффузной проницаемости бетона*

Метод для определения скорости диффузии агрессивных ионов через тело бетона. Изготавливают образец в виде стакана с толщиной стенок 20 мм. Нижнюю часть стакана изолируют. В образец заливают раствор соли. Подготовленный образец помещают в емкость с водой так, чтобы уровни раствора и воды совпадали. Периодически производят отбор проб воды из емкости для определения содержания продиффунирующего агрессивного иона.

Метод для определения послыонного содержания агрессивного иона. После выдержки образца в агрессивном растворе проводят послыонный химический анализ на интересующий ион.

Еще один метод основан на изучении диффузной проницаемости с помощью люминесцирующих индикаторов. Образцы пропитывают святящимися составами, а затем в ультрафиолетовом свете определяют глубину пропитки.

Изучение кинетики диффузии также можно производить при помощи пропитки материала радиоактивными изотопами. Глубину проникновения определяют по интенсивности бета-излучения в слое.

*Методы, основанные на определении скорости или времени прохождения УЗИ*

Данные методы позволяют непрерывно отслеживать изменение характеристик материала при воздействии коррозионной среды.

*Резонансные методы (продольные, изгибные и крутильные колебания)*

Резонанс – возникает при совпадении частоты внешних колебаний с собственной частотой колебаний образца. Методом оценивают динамический модуль упругости. Данный метод позволяет отслеживать изменение динамического модуля упругости при воздействии коррозионной среды.

*Дилатометрический метод*

Основан на изменении деформаций образцов при воздействии агрессивной среды и измерении температуры.

*Оптические методы*

Позволяют непосредственно наблюдать коррозионное разрушение материала, оценивать пористость материала и дифференцировать виды пор (оптический микроскоп).

*Метод электропроводности*

По изменению электропроводности оценивают разрушение структуры материала. Например, рост электропроводности при воздействии растворов неорганических солей свидетельствует об их накоплении в теле бетона.

### 2.14.3. Оценка свойств защитных покрытий на поверхности бетона

*Метод определения сплошности полимерного покрытия по степени выщелачивания СаО*

Изготавливают образцы из цементно-песчаного раствора. Образцы пропаривают и высушивают до постоянной массы. Затем на образцы наносят слой исследуемого полимерного покрытия. В возрасте 10 суток образцы помещают в ванночку с 1 %-м раствором соляной кислоты HCl (по одному в каждую ванночку). Периодически отбирают пробы из ванночек и по количеству соляной кислоты находят количество извести, которое проридиффунировало через покрытие.

*Метод определения сплошности полимерного покрытия по его газопроницаемости*

Изготавливают образцы цилиндрической формы из цементно-песчаного раствора Ц : П = 1 : 3,5 при В\Ц = 0,5. На одну из граней наносят полимерное покрытие. Образец помещают в резиновую обойму и устанавливают в прибор. Испытания обычно проводят при давлении газа  $P_2 = 1$  атм. Если покрытие не проницаемо, то давление увеличивают. Измеряют объем газа (задают  $P_1$ , равным 4, 6, 8 и 11 атм), прошедшего через образец, и определяют коэффициент газопроницаемости по формуле

$$K = \frac{Q l \mu 1000}{F(P_1 - P_2)t},$$

где  $Q$  – объем газа за 60 с;

$l$  – высота бетона, см;

$\mu$  – вязкость азота, сПз;

$F$  – площадь сечения, см<sup>2</sup>;

$t$  – время, с.

*Метод определения водонепроницаемости и паропроницаемости покрытия*

Водонепроницаемость оценивают по водопоглощению образцов с покрытием полностью погруженных в воду или по приросту массы образцов, которые выдерживаются в эксикаторе над поверхностью воды. Высушенные до постоянного веса образцы со всех сто-

рон покрывают полимерным покрытием, помещают в воду на 1, 3, 6, 24 и 72 часа или устанавливают образцы в эксикатор над водой на 1, 3, 5, 10 суток. По приросту массы определяют водонепроницаемость или паропроницаемость покрытия.

*Метод определения проницаемости покрытия для жидких агрессивных сред*

Изготавливают бетонный образец в виде усеченного конуса, который со стороны большего диаметра покрывают исследуемым покрытием. Образец помещают в специальную установку. Камеру установки заполняют агрессивной жидкостью. Давление создают механически при помощи штока, пружины и затяжной гайки. Давление измеряют с помощью манометра. Проницаемость покрытия определяют по величине падения давления в единицу времени, а также по появлению капель жидкости с обратной стороны образца.

*Метод определения диффузной проницаемости покрытия по изменению электропроводности подложки*

Данный метод предназначен для изучения диффузной проницаемости покрытий в зависимости от вида и количества пленкообразующего материала, пигмента и наполнителя, толщины и количества слоев, технологии нанесения, степени и вида агрессивного воздействия. Изготавливают образец из цементно-песчанного раствора ( $\text{Ц} : \text{П} = 1 : 2$  при  $\text{В/Ц} = 0,5$ ), центрально армированный металлическим стержнем. После набора прочности грани образца закругляют, образец сушат и покрывают изучаемым составом. Степень диффузной проницаемости характеризуют величиной изменения силы тока во времени.

*Метод определения диффузной проницаемости по изменению электропроводности бетона*

Метод основан на определении изменения электрического сопротивления и веса образцов с покрытием в результате их насыщения агрессивным раствором, который диффундирует через покрытие. Образцы из цементно-песчанного раствора с покрытием устанавливают в установку, где определяют изменение их сопротивления во времени.

*Метод определения диффузной проницаемости по изменению массы*

Образец цилиндрической формы ( $d = 75$  мм,  $h = 12$  мм) с покрытием и без покрытия приклеивают к стакану с поглотителем. Выдерживая образцы в эксикаторе при определенной влажности ( $\varphi = 75$  %), их периодически взвешивают, сравнивая с изменением массы образцов без покрытия.

Учебное издание

**БАБИЦКИЙ** Вячеслав Вацлавович  
**КОВШАР** Сергей Николаевич

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ  
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОННЫХ  
И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

Конспект лекций

для студентов дневной и заочной формы обучения специальности  
1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Редактор *Т. А. Зезюльчик*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 28.08.2013. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 4,27. Тираж 150. Заказ 1446.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.