

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

(наименование)

08.04.01 «Строительство»

(код и наименование направления подготовки)

Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Методы контроля качества железобетонных конструкций

Студент

И.П. Нижегородов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

д-р техн. наук, доцент, В.А. Ерышев

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	4
1 Контроль качества железобетонных изделий .....	7
1.1 Понятие о качестве продукции.....	7
1.2 Основные требования к качеству железобетонных изделий в соответствии с ГОСТ 13015-2012 .....	9
1.3 Контроль качества изделий.....	10
1.4 Неразрушающий контроль прочности бетона .....	11
2 Методики определения контролируемых параметров и испытания в процессе строительства .....	37
2.1 Виды и назначения испытаний.....	37
2.2 Методы контроля качества строительных конструкций.....	38
2.3 Параметры, определяемые неразрушающими методами контроля качества .....	41
3 Совершенствование особенности использования метода контроля качества в процессе возведения.....	52
3.1 Особенности контроля качества возводимых объектов.....	52
3.2 Контролируемые параметры качества при возведении .....	53
Заключение .....	59
Список используемой литературы и используемых источников.....	60
Приложение А Комплексное понятие качества.....	64
Приложение Б Технические характеристики прибора Proceq GPR Live .....	65
Приложение В Технические характеристики прибора ВИМС-2.1 .....	66
Приложение Г Технические характеристики прибора Термогигрометр ТЕМП-3.2 .....	67
Приложение Д Технические характеристики прибора «БЕТОН-ФРОСТ» ....	68
Приложение Е Технические характеристики прибора ОНИКС-1.ОС.....	69
Приложение Ж Технические характеристики прибора ПОИСК-2.5 .....	70
Приложение З Технические характеристики прибора АРМКОР-1 .....	71

Приложение И Технические характеристики прибора ИНК-2.4 .....	72
Приложение К Технические характеристики Склерометра ОМШ-1 .....	73

## Введение

Актуальность работы. Научное и технологическое развитие неразрушающего контроля (НК) материалов основан на междисциплинарной интеграции различных и взаимодополняющих научно-технических методов. Методы неразрушающего контроля широко используются в нескольких отраслях промышленности.

В последние годы быстрый, высокий уровень прогресса был достигнут в разработке технологий, анализа данных и реконструкции, автоматизации и стратегий измерения. Много знаний и приобретенного опыта упростили сбор данных.

Развитие теории и практики строительной науки приводит к необходимости совершенствования основ проектирования, строительства и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Несмотря на значительный прогресс, существует риск обрушения конструкций на разных этапах их жизненного цикла.

Проверка затвердевшего бетона на месте часто необходима для определения пригодности конструкции для ее предполагаемого использования. Неразрушающие методы испытаний используются для оценки свойств бетона путем оценки прочности и других свойств, таких как коррозия арматуры, проницаемость, растрескивание и пустотная структура. Этот тип тестирования важен для оценки как новых, так и старых структур. Для новых конструкций основные применения в основном используются для определения качества материалов.

Разрушение материалов происходит за счет внешних воздействий, связанных с чрезмерной энергией: механических нагрузок, циклического замораживания и размораживания, химических реакций и физических процессов. После приложения критического количества энергии, разрушения внутренних связей элементов конструкции материала. Надежность включает показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности.

Существующие изъяны, трещины, дефекты и повреждения негативно влияют на несущую способность элемента здания или сооружения. В настоящее время нормативными документами не могут быть учтены повреждения железобетонных конструкций, связанные с его изготовлением и последующей эксплуатацией, такие как: коррозия, воздействие высоких температур, усадочные микротрещины.

Бетонные конструкции могут быть прочными и долговечными, но, чтобы это условие выполнялось, должное внимание должно быть уделено на этапе проектирования, а также эффекту, который будет воздействовать от окружающей среды на бетон.

Для составных конструкций также остро стоит вопрос о контроле качества в новом состоянии. Поэтому в настоящее время разработка и совершенствование неразрушающих методов диагностики и контроля качества строительных конструкций из различных материалов, в том числе и составных конструкций, является актуальной научной проблемой.

Эти методы направлены на оценку прочности и других свойств; мониторинг и оценка коррозии; измерение размера трещины и покрытия; обнаружение и выявление относительно более уязвимых мест в бетонных конструкциях.

Цель работы: использование эффективных методов контроля качества строительных конструкций в эксплуатационной стадии.

Предметом исследования диссертационной работы являются методы диагностики и неразрушающего контроля качества строительных конструкций и новые динамические критерии оценки их состояния и качества.

Объект исследования диссертационной работы – железобетонные конструкции.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Обследовать виды неразрушающего контроля качества железобетонных конструкций;
2. Натурные испытания и методика определения контролируемых параметров;
3. Рассмотреть особенности использования метода контроля качества на возводимых объектах.

Научная новизна диссертационной работы:

1. В установлении соотношений прочностных параметров бетона в конструкциях в зависимости от условий эксплуатации.

Практическая значимость состоит в проведении испытаний и методики определения контролируемых параметров по установлению качества.

Апробация результатов исследования. Результаты работы обобщены и доложены с публикацией в сборнике трудов на конференциях различных уровней.

Основные результаты исследования представлены в следующих публикациях:

1. - Нижегородов И.П. Методика определения прочности бетона в железобетонных конструкциях в процессе строительства зданий.: Студенческие дни науки в ТГУ, Тольятти, 2019: материалы научно – практической конференции: Тольяттинский государственный университет, с. 39-41.

Степень разработанности темы. Вопросами по контролю качества железобетонных конструкций занимались Герасимов В.Г., Сухоруков В.В., Зацепин Н.Н., Шатерников В.Е., Федосенко Ю.К., Мизрохи Ю.И., Клевцов В.А., Воробьев В.А., и другие.

Структура работы. Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Основной текст работы изложен на 73 страницах.

# **1 Контроль качества железобетонных изделий**

## **1.1 Понятие о качестве продукции**

Такое понятие как качество считается одним из основных в теории и практике стандартизации. В настоящее время, качество продукции является решающим фактором, влияющим на развитие производства.

Качество означает совокупность свойств, которые, в свою очередь, определяют пригодность продукта для его предполагаемого использования.

«Каждый тип изделия или продукта имеет свои характеристики и свойства, которыми интересуются покупатели и потребители. Для продукции и изделий строительной отрасли это – прочность, объемная масса, степень точности размеров изделий, теплопроводность, морозостойкость, устойчивость к воздействию воды, агрессивных жидкостей и газов и так далее. Любое из этих свойств и характеристик продукта определяется несколькими числовыми параметрами, а именно: размером (абсолютным показателем), оценкой (относительным показателем) и весомостью» [15].

Существует несколько понятий о качестве.

Рациональность. Закладывается в бизнес план, инвестирование в строительство. Делится она на экономичность и капиталность. Дополнительное условие качества – не только первоначальная оценка инвестиций.

Экономичность может достигаться как при строительстве, так и при эксплуатации.

Чрезмерное сокращение средств на новое строительство чревато негативными последствиями, а именно, может привести к новым эксплуатационным расходам (частый ремонт), с этих позиций экономическая оценка складывается из сравнительно эффективных инвестиций и затрат на эксплуатацию.

Капитальность. В этот подраздел может входить несколько подпунктов. А также группа капитальности указывается на первой странице проектной документации.

К понятию качества также относится комфортность, включающая в себя безопасность и функциональность.

К безопасности относятся: пожаробезопасность, взрывоопасность, защита от опасных явлений, прочность, устойчивость, а также безопасность территорий застройки.

Функциональность содержит в себе: ресурсосбережение, организация внутреннего пространства, эстетика зданий, функциональная комфортность территорий.

Немаловажным является и гигиена в зданиях, которая может быть обеспечена звуковым и зрительным комфортом в помещении, экологичной чистотой, гигиеной окружающей среды, и тепловлажностным режимом.

- 1) Каменные, железобетонные, металлические конструкции. Стены не менее 2,5 кирпича, перекрытия железобетонные, фундаменты плитные или свайные. Срок эксплуатации 150 лет, капитальный ремонт каждые 30 лет.
- 2) Фундаменты ленточные, из бетонных блоков, стены из шлакоблоков, перекрытия деревянные или железобетонные. Срок 100 лет, капитальный ремонт каждые 24 года.
- 3) Деревянные рубленые и брусчатые, фундаменты ленточные бутовые, перекрытия деревянные. Срок 50 лет, капитальный ремонт раз в 18 лет.
- 4) Облегченные стеновые конструкции, без стеновых ограждений.

Сокращая класс капитальности здания, мы сокращаем затраты на строительство, но уменьшаем срок эксплуатации и увеличиваем затраты на ремонт.

Все понятия о качестве сведены в таблицу «Комплексное понятие качества» в Приложении А.



## **1.2 Основные требования к качеству железобетонных изделий в соответствии с ГОСТ 13015-2012**

«К основным показателям качества бетона и железобетонных изделий в соответствии с ГОСТ 13015-2012 относятся:

- фактическая прочность бетона;
- 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)»

[16].

«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» [15].

Для предприятий, где обеспечивается высокая однородность прочности бетона, с целью экономии цемента, ГОСТ 13015 рекомендует снижать фактическую прочность бетона по сравнению с нормируемой (но не менее требуемой) за счет определенного подбора его состава.

«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 монтажа, возможности

дальнейшего нарастания прочности бетона в конструкции и сроков ее фактического нагружения полной расчетной нагрузкой» [15].

### **1.3 Контроль качества изделий**

«При реализации, для эффективного контроля, каждое предприятие обобщает 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.

Приемку изделий проводят на основе документированных результатов:

- входного контроля;
- операционного контроля;
- приемочного контроля.

При документировании результатов приемочных испытаний партии готовых изделий в журналах или других документах должны указываться номера и даты изготовления партий бетона, примененных для изготовления данной партии изделий» [5].

«Входному контролю подлежит вся продукция, используемая при изготовлении строительных материалов и изделий и строительстве объектов. Входной контроль продукции проводят путем анализа данных, приведенных в сопроводительной документации, удостоверяющей качество и комплектность продукции, проверки маркировки, визуального контроля поступившей продукции и проведения испытаний по всем или отдельным показателям качества, предусмотренным нормативно-технической документацией и (или) договором (контрактом) на поставку» [15].

## 1.4 Неразрушающий контроль прочности бетона

«Качественные характеристики бетонных и железобетонных конструкций в большой степени зависят от прочности и однородности бетона, расположения арматуры, а также напряжений в арматуре. Эти характеристики можно измерить различными способами. Например, прочность бетона определяется стандартными методами, путем изготовления и испытания образцов. Но не всегда достоверность по результатам по прочности и однородности стандартных образцов может быть неоднозначной по следующим причинам: количество испытаний стандартных образцов не превышает 0,01 процента от количества железобетонных конструкций, условия формовки и режимы доработки изделий отличаются, стандартными методами сложно определить однородность бетона по структуре и прочности в целом. Таким образом, указанные издержки унифицированной методики испытания прочности бетона, дали развитие неразрушающим методам контроля. Неразрушающие методы могут позволять своевременно влиять на технологию производства конструкций, своевременно изменять состав, а также режимы доработки бетона» [1].

«При контроле и оценке прочности бетона партий монолитных конструкций определяют неразрушающими методами фактическую прочность бетона  $R_m$  в контролируемой партии» [4]. К неразрушающим по ГОСТ 22690 относятся методы упругого отскока, пластической деформации, ударного импульса, отрыва, отрыва со скалыванием, скалывания ребра. При этом по п. 4.4 ГОСТ 22690 «неразрушающие механические методы определения прочности бетона являются косвенными, требующими экспериментально установленных градуировочных зависимостей» [3], а, по п. 4.5 ГОСТ 22690 «метод отрыва со скалыванием при проведении испытаний в соответствии со стандартной схемой по приложению А и метод скалывания ребра при проведении испытаний в соответствии со стандартной схемой по приложению Б являются прямыми неразрушающими методами

определения прочности бетона» [3]. «Ультразвуковой метод является также неразрушающим для определения прочности по ГОСТ 17624. Следует отметить, что современная нормативная база и методики неразрушающего контроля прочности бетона были сформированы в период доминирования в строительстве сборного железобетона, и, таким образом, отводилась к функциям внутриводского контроля качества железобетонных изделий» [5].

Определенные сложности в адаптации методов и средств неразрушающего контроля прочности бетона возникли при переходе к массовому монолитному домостроению. Еще более сложной является ситуация в области обследования используемых железобетонных конструкций и, в частности, при решении таких задач, как:

- градуировка приборов неразрушающего контроля под бетоны с заведомо не известными физико-механическими и структурными характеристиками;

- влияния условий испытаний, а также результаты приборов неразрушающего контроля;

- изменения структурных характеристик бетона в процессе его длительной эксплуатации, влияющие на результаты неразрушающего контроля прочности.

«Основные работы по неразрушающему контролю прочности бетона выполняются с помощью высокопроизводительных приборов после их предварительной настройки. Выбирая методы неразрушающего контроля и приборы для качественной оценки бетона, мы должны знать их характеристики. Важно отметить, что в современной России активно ведется совершенствование и разработка устройств неразрушающего метода, в которых применима электроника. Поэтому, чтобы эффективно диагностировать состояние поверхностных слоев железобетонных конструкций, целесообразно использовать продукцию, имеющую в своем арсенале высокочувствительные приборы» [6].

На данный момент, все современные методы, которые применяются, можно разделить на три группы. Они представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Классификация методов контроля прочности бетона

«Результаты, полученные методами первой группы, являются наиболее соответствующими истинному значению прочности материала по следующим причинам:

- 1) Измеряемым является именно искомый параметр – усилие, которое соответствует разрушению при сжатии;
- 2) Исследуется непосредственно сам образец материала, извлеченный из тела конструкции, а не только из поверхностного слоя;
- 3) Влияние на результат измерения внешних факторов, таких как: влажность, армирование, дефекты поверхностного слоя и прочих, – их, как правило, возможно свести к минимуму. Однако данный подход для рядовых объектов на практике применяется крайне редко. Это обусловлено высокой стоимостью оборудования, по расчету большой трудоемкостью процесса измерения и, следовательно, его себестоимостью и локальным повреждением

конструкций, которое в большинстве случаев заказчик не приемлет» [6].

Прибор ВИМС-2.1.



Рисунок 1.2 – Прибор ВИМС-2.1

Прибор ВИМС-2.1 предназначен для оперативного контроля влажности древесины и материалов на ее основе, строительных материалов, таких как, бетон, кирпич и других. Он также оборудован дополнительным зондовым датчиком, позволяющий контролировать влажность сыпучих материалов (песок, зола, отсев) и твердых материалов в специально подготовленных отверстиях.

В принцип измерения заложена корреляционная зависимость диалектических свойств материала с определенным количеством содержащейся в нем влаги при положительных температурах.

Технические характеристики прибора отображены в Приложении В. Термогигрометры ТЕМП-3.2 (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Прибор ТЕМП-3.2

Основное назначение прибора ТЕМП-3.2 – определение относительной влажности, температуры воздуха и точки росы.

Основные технические характеристики прибора в Приложении Г.

Измерители морозостойкости бетонов «БЕТОН-ФРОСТ» (рисунок 1.4), измерители проницаемости бетонов и материалов ВП-1).



Рисунок 1.4 – Прибор «БЕТОН-ФРОСТ»

Прибор «БЕТОН-ФРОСТ» предназначен для оперативного определения морозостойкости бетона по величине аномальных деформаций.

Он также позволяет проводить контроль качества выпускаемой продукции и дает возможность внесения корректив в рецептуры и технологические процессы при производстве изделий и конструкций, строительстве, обследовании объектов и изготовления бетона.

При создании данного прибора впервые была использована адаптивная математическая модель процесса испытаний, позволяющая исключить эталонную камеру из состава прибора, и, таким образом повысить точность измерений.

В основу работы измерителя положен дифференциальный метод измерения температурных объемных деформаций исследуемого образца и эталона, которые посредством рабочей жидкости (керосина) преобразуются в линейные перемещения. Конструкция камеры измерения может проводить испытания на кернах диаметром и высотой не более семидесяти миллиметров.

Измеритель морозостойкости состоит из электронного блока и 1-3 измерительных блоков (камер). Электронный блок в ходе испытания регистрирует процессы (сигналы), поступающие с датчиков объемных деформаций и температуры, вычисляет величину аномальных пиков и оценивает морозостойкость исследуемого бетонного образца. После окончания испытаний, все результаты заносятся на компьютер для тщательной обработки и формирования общего отчета по результатам с использованием прилагаемой в комплекте программы.

Основные технические характеристики представлены в Приложении Д.

Прочность железобетонных конструкций в подобных случаях, как правило, определяется приборами, основанными на методах местных разрушений, либо путем отбора образцов. При использовании же ударно-импульсных и ультразвуковых приборов контролируемая поверхность должна иметь шероховатость не более определенного значения Ra 25.

«Испытания методом отрыва со скалыванием должны производиться в соответствии с рекомендациями и «Определение прочности бетона в



конструкциях и изделиях методом вырыва анкера» (МИ2016-03) НИИЖБ-ГП ВНИИФТРИ 2003. Известны приборы ОНИКС-2.5 (рисунок 1.5), ОНИКС-2.6, предназначенные для оперативного измерения прочности и однородности бетона методом ударного импульса. Прибор ОНИКС-ОС, позволяющий измерить прочность бетона методом вырыва анкера (или отрыва со скалыванием) и методом отрыва стальных дисков на объектах строительства и при обследовании зданий, сооружений и конструкций» [7].



Рисунок 1.5 – Прибор ОНИКС-2.5

Хорошо зарекомендовал себя один из современных и широко-используемых приборов измеритель прочности методом скола ребра ОНИКС-1.ОС (рисунок 1.6). Его зачастую используют в случаях, когда метод вырыва анкера не возможен из-за присутствия в бетоне арматуры, в то же время есть открытый угол бетонного изделия (например, балка, колонна). Также его чаще всего можно наблюдать на исследуемых объектах у организаций, занимающихся обследованием зданий и сооружений, или у строительных лабораторий.



Рисунок 1.6 – Прибор ОНИКС-1.0С

«В ОНИКС-1.0С впервые применены инновационные технические решения, исключая проскальзывание анкера и стабилизирующие конус вырыва, существенно улучшающие метрологические и эксплуатационные характеристики» [7].

Создана эргономичная, компактная и лёгкая конструкция с двумя силовыми гидроцилиндрами-опорами, с самоустановкой оси вырыва и винтовым соединением анкера с тягой, упрощающая установку на объект во время испытаний без перекосов, регулировок и проскальзывания, а также исключая падение прибора.

Присутствует удобный штурвал для быстрого создания предварительного натяжения анкера (с усилием до 5 кН) при установке прибора на объект контроля.

Приборы имеют встроенные электронику в составе: цветного «TFT» дисплея и литиевого аккумулятора со значительной емкостью.

Выпускаются два варианта исполнения прибора с диапазонами нагрузок до 50 и 100 кН.

Для работы с высокопрочными бетонами существенно доработана конструкция прибора: использовано запатентованное решение с двумя приводными гидроцилиндрами, редуктором и двумя силовыми опорными цилиндрами, создающими диапазон нагрузок до 100 кН.

Возможна комплектация приборов специализированными расточными устройствами двух видов (для формирования кольцевой проточки в шпуре, обеспечивающей надежную фиксацию анкера):

- ручным механическим с твердосплавным режущим элементом;
- с высокооборотным электроприводом и алмазным режущим элементом.

Новая усиленная конструкция анкеров из высокопрочной булатной стали с многократно увеличенным эксплуатационным ресурсом.

Технические характеристики прибора представлены в Приложении Е.

«Приборы созданы на новейших принципах измерений с использованием суперсовременной элементной базы. Большинство приборов внесены в Государственные реестры средств измерений России, Украины, Беларуси, Казахстана и защищены патентами. Многие приборы уникальны по своим параметрам. Приборы обладают высокой точностью, небольшими габаритами, что облегчает их перенос и транспортировку, эргономичностью, экономичным аккумуляторным питанием, оснащаются легкими и удобными датчиками своеобразных конструкций, производятся в нескольких вариациях с большим набором опций. Гарантия на основные виды продукции составляет полтора-два года. А гарантийное обслуживание приборов на весь период эксплуатации» [7]. Приборы МИП-25, МИП-50 (прессы) (рисунок 1.7) – позволяют оперативно испытать бетон и другие строительные материалы (выбуренные керны диаметром 70-100 мм) при обследовании конструкций и сооружений.



Рисунок 1.7 – Прибор МИП-50Э

Динамометр ДИН-1 (рисунок 1.8) предназначен для измерения и регистрации динамических и статических сил сжатия и растяжения в различных приложениях. Точность натяжения арматуры является одним из основных факторов, определяющих жесткость и трещиностойкость предварительно напряженных конструкций и, в конечном счете их долговечность и эксплуатационную пригодность. Обеспечение проектного усилия обжатия бетона достигается контролем силы натяжения арматуры преимущественно приборами, основанными на частотном методе и методе поперечной оттяжки.



Рисунок 1.8 – Прибор ДИН-1

На предприятиях и заводах сборного железобетона широкое применение получили приборы контроля армирования бетона, а именно измеритель защитного слоя и диаметра арматуры ПОИСК-2.5 (рисунок 1.9), ПОИСК-2.6.

«Минимальные значения толщины защитного слоя бетона до рабочей арматуры (в том числе арматуры, расположенной у внутренних граней полых элементов кольцевого или коробчатого сечения) следует принимать по таблице 1.

Таблица 1 – Толщина защитного слоя бетона

Условия эксплуатации конструкций зданий	Толщина защитного слоя бетона, мм, не менее
В закрытых помещениях при нормальной и пониженной влажности	20
В закрытых помещениях при повышенной влажности (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	25
На открытом воздухе (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий)	30
В грунте (при отсутствии дополнительных защитных мероприятий), в фундаментах при наличии бетонной подготовки	40

## Прибор ПОИСК-2.5.



Рисунок 1.9 – Прибор ПОИСК-2.5

Прибор предназначен для измерения защитного слоя бетона, обеспечивает контроль качества армирования железобетонных изделий и конструкций магнитным методом при технологическом контроле на стройках, предприятиях, при обследовании зданий и сооружений. Его используют для определения участков конструкций, свободных от залегающих арматурных стержней, перед использованием ультразвуковых приборов, ударно-импульсных, отрывом со скалыванием.

Определяет проекцию арматуры на поверхности конструкции, а также ее диаметр при известной толщине защитного слоя, обладает режимом сканирования изделий и глубинным поиском арматуры, настроенным в автоматическом режиме на сталь.

Технические характеристики прибора представлены в Приложении Ж.

Таблица 2 – Предельные отклонения по толщине защитного слоя

Номинальная толщина защитного слоя бетона до поверхности стержня арматуры	Предельное отклонение по толщине защитного слоя бетона при линейных размерах поперечного сечения			
От 10 мм до 14 мм включительно	+4	+5	+6	+7
Свыше 14 мм и до 19 мм	+4; -3	+8; -3	+10; -3	+15; -5
Свыше 19 мм	-5	+8; -5	+10; -5	+10; -5

Анализатор коррозии арматуры в бетоне АРМКОР-1 (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Прибор АРМКОР-1

«АРМКОР-1 создан для моментального контроля степени коррозии арматуры в бетоне с помощью анализа потенциала микрогальванической пары и определения удельного электрического сопротивления в бетоне. Применяется при обследовании эксплуатируемых зданий, сооружений,

несущих конструкций, стен, полов, мостов и других сооружений различного типа» [7].

Это первый отечественный анализатор коррозии арматуры в бетоне, обладает ручным и автоматизированным режимом измерений, автоматической системой подачи жидкости на измерительные электроды, а также подпружиненными электродами для компенсации неровностей исследуемой поверхности.

Для более удобной работы, переноса результатов измерений, архивации, документирования, построение диаграмм он обладает своим программным комплексом.

Технические характеристики прибора представлены в Приложении 3.

Измеритель предварительных напряжений в арматуре ИНК-2.4 (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Прибор ИНК-2.4

«Основное назначение прибора ИНК-2.4 – измерение частотным методом механических напряжений в отдельных элементах проволочной, стержневой и канатной арматуры при производстве преднапряжённых



железобетонных изделий и строительных конструкций, и измерение параметров механических колебаний виброплощадок, применяемых для уплотнения бетонных смесей и параметров виброколебаний объектов другого назначения» [7].

Прибор в режиме работы по измерению механических напряжений измеряет колебания частот арматурного элемента с вычислениями:

- напряжения Сигма –  $\sigma$ ;
- его отклонения от проектного значения Эпсилон –  $\epsilon$ ;
- изменения поправок  $L$  на всю длину заготовки стержня.

Технические характеристики прибора представлены в Приложении И. Измеритель силы натяжения арматуры и канатов ДИАР-1 (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Прибор ДИАР-1

«Представленный прибор предназначен для оперативного контроля качества армирования железобетонных изделий и конструкций с помощью» [7]:

- 1) импульсной индукции;
- 2) микрогальванической пары с анализируемым потенциалом;
- 3) частотного метода;
- 4) метода поперечной оттяжки.

Незначительное энергетическое потребление и встроенный Li-аккумулятор продлевают срок службы работы прибора, а зарядное устройство обеспечивает его оперативную зарядку.

Таблица 3 – Предельные значения прочности бетона

Наименование метода	Предельные значения прочности бетона, МПа
Упругий отскок и пластическая деформация	5-50
Ударный импульс	5-150
Отрыв	5-60
Скалывание ребра	10-70
Отрыв со скалыванием	5-100

Измерение прочности бетона методами отрыва дисков и отрыва со скалыванием.

Метод отрыва дисков.

Для приклеивания стального диска могут использоваться различные клеи на эпоксидной основе. Ранее ГОСТ 22690-88 рекомендовал применять клеи ЭД20 и ЭД16 с цементным наполнителем. В новом ГОСТ 22690-2015 рекомендаций нет. Сегодня могут применяться современные двухкомпонентные клеи РОХИРОЛ, «Контакт», «Момент» и другие.

Для метода с отрывом применяют различные приборы, используемые и для метода отрыва со скалыванием, такие как ПОС-50МГ4 (Стройприбор, диапазон нагрузок 5-100 кН), ОНИКС-1.ОС (Интерприбор, диапазон нагрузок 5-100 кН), DY-216, 225 (Proceq, 1,6 – 25 кН).

В современных нормативных документах отсутствует зависимость перехода от усилия вырыва к прочности на сжатие.

Причиной этому, по всей видимости, является ограниченный температурный диапазон применения метода, что связано с продолжительностью твердения и/или невозможностью использования эпоксидных клеев при низкой температуре воздуха. Большая часть России расположена в более холодных климатических зонах, чем страны Европы, поэтому данный метод, широко применяемый в европейских странах, в нашей стране не распространен.

Метод отрыва со скалыванием.

В нашей стране данный метод нашел, пожалуй, самое широкое распространение благодаря своей универсальности, относительной простоте крепления к бетону, возможности испытания практически на любом участке конструкции. Основными ограничениями для его применения являются частое армирование бетона и толщина испытываемой конструкции, которая должна быть больше, чем удвоенная длина анкера. Для выполнения испытаний могут использоваться приборы, указанные выше.

Помимо более простого и быстрого крепления к бетону конструкции по сравнению с методом отрыва, не требуется обязательное наличие ровной поверхности. Главным условием является необходимость того, чтобы кривизна поверхности была достаточной для установки прибора на тягу анкера.

Измерение прочности бетона методом ударного импульса.

При определении прочности материалов методом неразрушающего контроля, непосредственно измеряемой величиной является не сама прочность, а какой-либо физический показатель, связанный с измеряемой величиной корреляционной зависимостью. Метод ударного импульса заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент соударения бойка прибора с поверхностью бетона.



Рисунок 1.13 – Прибор ИПС-МГ4.03

Приборы используют при контроле прочности кирпичей и строительной керамики, также позволяют оценивать физико-механические свойства строительных материалов в образцах и изделиях (прочность, твердость, упругопластические свойства), выявлять неоднородности, зоны плохого уплотнения и другое. В модификации 4.04 электронный блок находится непосредственно на корпусе склерометра для возможности поворота на 90 градусов относительно его продольной оси.

Как и приборы серии ИПС-МГ4, склерометры серии Оникс-2 являются современным средством измерения. Определение коэффициентов данных зависимостей осуществляется по ГОСТ 22690-2015 [3].

При контроле бетона неизвестного состава, как правило, берут за основу полученную ранее зависимость и корректируют её с помощью коэффициента совпадения. Таким образом, показания электронного склерометра в некоторых характерных точках обследуемого участка

конструкции (например, зоны максимальной и минимальной прочности) привязывают к результатам, полученным испытанием выбуренных кернов или методом отрыва со скалыванием.

Прибор «Пульсар-1».



Рисунок 1.14 – Ультразвуковой прибор «Пульсар-1»

Прибор «Пульсар-1» предназначен для определения времени распространения ультразвуковых импульсов в твердых материалах при поверхностном и сквозном прозвучивании, а также в частных случаях углом.

Прибор «Пульсар-1» модификация «Пульсар-1.1» имеет базовый набор сервисных функций и алгоритм оценки глубины поверхностных трещин. Прибор позволяет определить прочность, плотность и модуль упругости строительных материалов, а также звуковой индекс абразивов, по предварительно установленным зависимостям данных характеристик от скорости распространения ультразвуковых импульсов.

Обширная база областей использования:

- определение прочности бетона по ГОСТ 17624-87

«При технологическом контроле, а также при обследовании зданий и сооружений, в том числе в сочетании с другими методами (ударно-импульсным, отрыв со скалыванием и другое);

- осуществление поиска дефектов в бетонных сооружениях по аномальному снижению скорости;

- анализ глубины трещин;

- оценка пористости, трещиноватости и анизотропии композитных материалов;

- определение модуля упругости и плотности» [5].

«Прибор «Пульсар-1» в модификации «Пульсар-1.1» выпускается с заводской настройкой, ориентированной на тяжелый бетон средних марок. Для других марок и материалов требуется градуировка и корректировка в условиях пользователя согласно ГОСТ 17624, ГОСТ 24332 и методических рекомендаций МДС 62-2.01 ГУП «НИИЖБ» по контролю прочности бетона монолитных конструкций ультразвуковым методом поверхностного прозвучивания» [5].

Прибор обеспечивает отлаженную работу при определенных настройках:

- при поверхностном прозвучивании на фиксированной базе 120 миллиметров с сухим контактом, на ряду с эллиптическим протектором;

- с сухим контактом (с эллиптическим или полиуретановым протектором) и со смазкой при сквозном, поверхностном и угловом прозвучивании на произвольной базе.

Условия эксплуатации: широкий рабочий диапазон температур – от минус 10 до плюс 40 градусов, а относительная влажность воздуха не более восьмидесяти процентов, атмосферное давление варьируется от 86 до 106 кПа.

Прибор «Пульсар-1» соответствует стандартному исполнению изделий третьего порядка.

«В зоне контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью бетона не должно быть раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм, а также выступов высотой более 0,5 мм. Поверхность бетона должна быть очищена от пыли.

Относительная погрешность измерения базы прозвучивания не должна превышать 0,5%. Испытания ультразвуковым методом проводят при положительной температуре бетона» [5].

«Принцип работы основан на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя до приемника. Скорость ультразвука вычисляется делением расстояния между излучателем и приемником на измеренное время. Для повышения достоверности в каждом измерительном цикле выполняется 6 измерений и результат формируется путем их статической обработки и отбраковки выбросов. Далее оператор выполняет серию от 1 до 15 измерений, которая также подвергается математической обработке с определением среднего значения и коэффициента вариации.

Скорость распространения звуковой волны в материале зависит от его плотности и упругости, от наличия дефектов (пустот, трещин), определяющих прочность и качество. Следовательно, при измерении, элементы изделий, конструкции и сооружений можно получать результаты о прочности и неоднородности бетона, модуле упругости и плотности, наличии дефектов и их местоположение.

Многочисленные исследования по применению ультразвукового метода в строительной практике позволяют сделать ряд обобщений. Основное достоинство ультразвукового метода заключается в том, что он дает возможность получать и сравнивать упругие характеристики материала не только на лабораторных образцах, но и на готовых элементах строительных конструкций. Он позволяет наиболее просто и оперативно производить контроль свойств бетона по сравнению с другими методами» [5].

Возможны также варианты прозвучивания со смазкой и сухим контактом (рисунок 1.15).

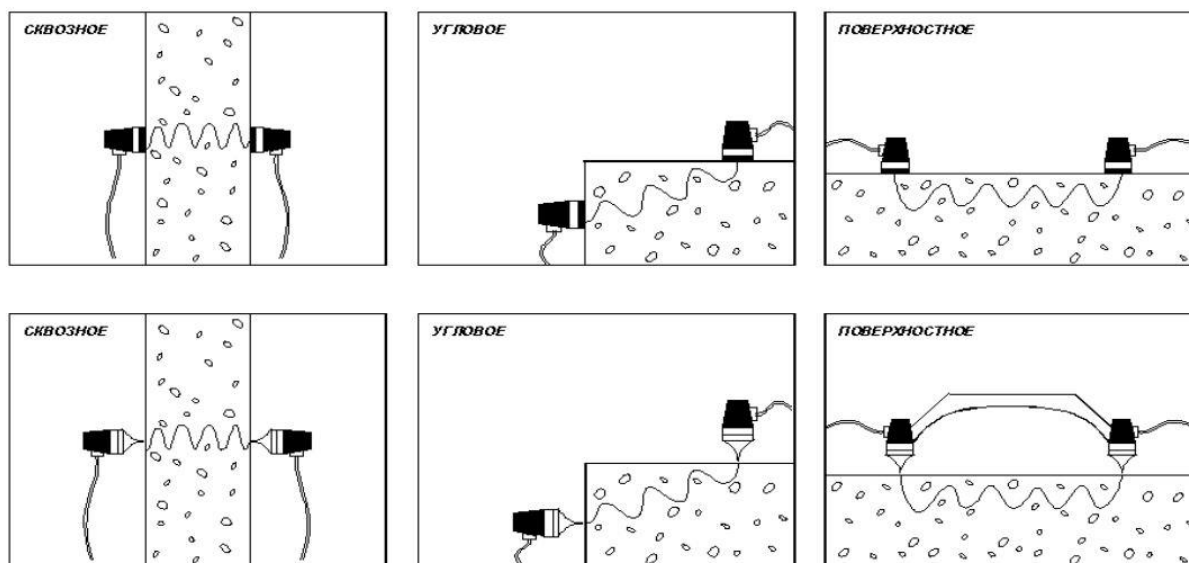


Рисунок 1.15 – Исполнения прозвучивания в трех вариантах: сквозное, поверхностное и угловое

Склерометр ОМШ-1.



Рисунок 1.16 – Прибор Склерометр ОМШ-1



Склерометр является механическим устройством для быстрого неразрушающего контроля качества материалов, в основном бетона. Измерение прочности на сжатие происходит без разрушения материалов. Прочность бетона определяется градуировочной зависимостью между прочностью бетонных образцов и значением отскока  $N$  от поверхности бетона прижатого к ней ударника (косвенной характеристикой прочности) согласно ГОСТ 22690. Молоток позволяет также оценивать физико-механические свойства строительных материалов в образцах и изделиях (прочность, твердость, упругопластические свойства), выявлять неоднородности, зоны плохого уплотнения. Склерометр предназначен для использования исключительно на контролируемой поверхности и на тестовой наковальне.

Молоток измеряет значение отскока  $N$  (от англ. Rebound value). Существует определённое соотношение между указанным значением и прочностью бетона. При определении значения отскока  $N$  всегда необходимо учитывать следующие факторы:

- направление удара: горизонтально, вертикально вверх или вниз;
- возраст бетона;
- размер и форма эталонного образца (куб, цилиндр).

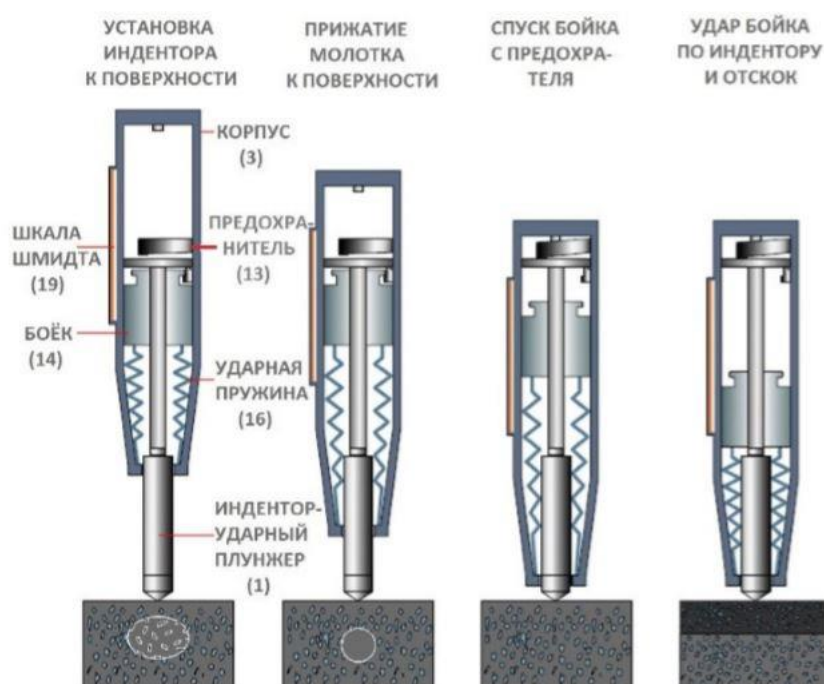


Рисунок 1.17 – Процесс работы Склерометра

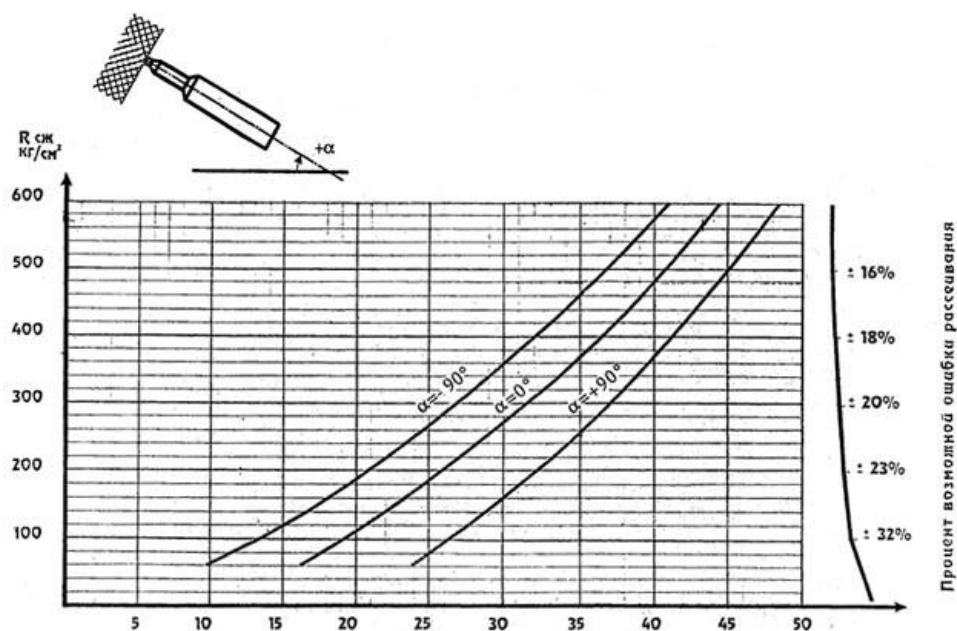


Рисунок 1.18 – График градуировочной зависимости между прочностью бетона в  $кг/см^2$  от величины отскока по шкале склерометра

Технические характеристики прибора Склерометр ОМШ-1 представлены в приложении К.

Proceq GPR Live – портативный георадар.

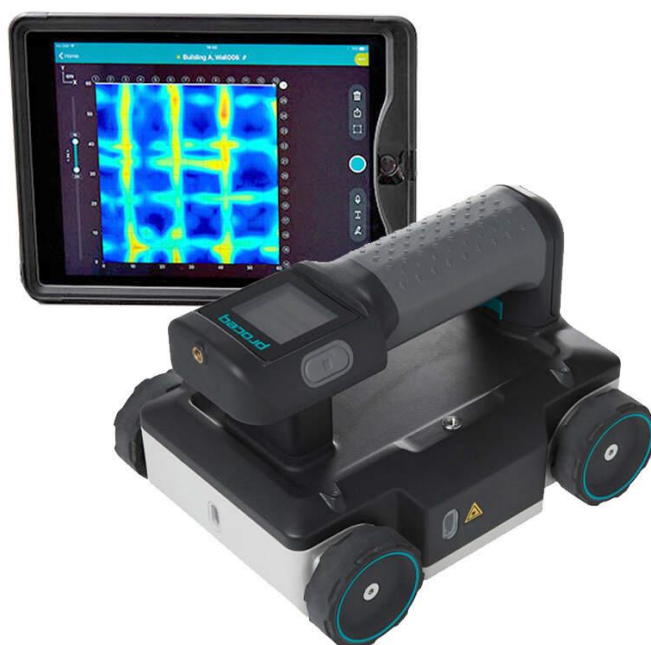


Рисунок 1.19 – Прибор Proceq GPR Live

Портативный георадар Proceq GPR Live — один из самых современных приборов неразрушающего контроля, который позволяет визуализировать обследуемые железобетонные конструкции.

В георадаре используется непрерывно-волновая технология со ступенчатым изменением частоты, предоставляющей самый широкий спектр частот. Все типичные задачи, обычно решаемые с помощью антенн с фиксированной рабочей частотой в диапазоне от 0,2 до 4,0 ГГц, можно решать одним единственным устройством.

Области применения:

- оценка качества и однородность конструкций;
- контроль соответствия выполненных конструкций документации;
- обследование конструкций, на которые отсутствует проектная документация;
- определение местоположения арматурных стержней перед сверлением/резкой;
- определение местоположения и прохождения подземных коммуникаций: телекоммуникационных силовых кабелей, водопроводных труб;

Выборочная проверка толщины защитного слоя бетона и размера арматурных стержней.

- построение полного изображения геометрии стальной арматуры;
- построение смоделированных 3D проекций в толще бетонных конструкций;
- измерение толщины конструкций при одностороннем доступе.

Отображение данных.

Для упрощения процесс оценки состояния железобетонных конструкций разработано специальное приложение Proceq GPR Live для iOS, туда переносятся все результаты исследований.

Программный комплекс в реальном времени отображает процесс сканирования и сопровождает звуковыми сигналами.

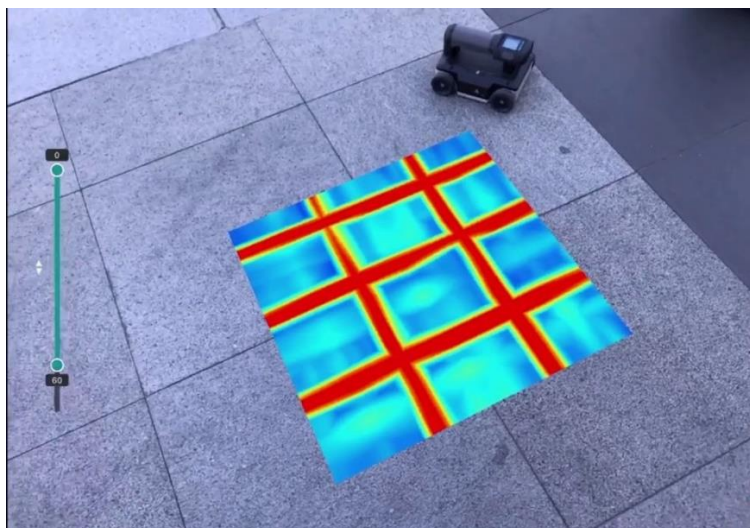


Рисунок 1.20 – Процесс сканирования и отображения прибором Proceq GPR Live

Прибор посредством беспроводного соединения подключается к приложению для iOS на iPad от Apple. Таким образом, Proceq GPR Live позволяет мгновенно вывести изображение исследуемого участка высокого разрешения и качества на дисплей диагональю до 12,9 дюймов.

Компактный датчик прибора обеспечивает высокое качество измерений даже при использовании в сложных условиях. Прибор работает от стандартных аккумуляторных батарей типа AA.

Технические характеристики прибора представлены в Приложении Б.

### **Вывод по первой главе**

Комплексная оценка прочностных свойств бетона предусматривает выполнение требований нормативных документов для проектирования и стандартов на правила контроля прочности.

Используя современные достижения в области технического развития, мы можем существенно точно оценивать качественные характеристики образцов, конструкций и зданий.

## **2 Методики определения контролируемых параметров и испытания в процессе строительства**

### **2.1 Виды и назначения испытаний**

Чтобы повысить степень надежности у возводимых зданий и сооружений, а также эффективность применяемых материалов и конструкций проводится большое количество экспериментальных исследований. При внешних нагрузках и воздействиях на напряженно-деформированные состояния конструкции проводят такие испытания, для получения действительных результатов и реальной картины. В совокупности, в зависимости от определения, испытания делятся на группы.

Контрольные испытания проводятся при серийном изготовлении сборных конструкций на заводах строительной индустрии для массового строительства с целью контроля качества выпускаемой продукции.

«Испытания опытных конструкций осуществляют для проверки соответствия этих конструкций проектным и нормативным требованиям по несущей способности, жесткости и трещиностойкости перед внедрением их в массовое производство. Такие конструкции испытывают до разрушения, что дает возможность выявить наиболее слабые места, фактические запасы прочности и внести необходимые коррективы.

Испытания построенных сооружений производят с целью проверки соответствия их нормативным требованиям. Такие испытания проводятся перед вводом в эксплуатацию ответственных конструкций (пространственных большепролетных покрытий, пролетных строений мостов, спортивных сооружений и других объектов).

Испытания эксплуатируемых конструкций и сооружений проводятся для определения их фактической несущей способности, жесткости и трещиностойкости с целью увеличения нагрузки, действующей на

конструкции, или выяснения действительного состояния и возможности их дальнейшей эксплуатации.

Испытания железобетонных конструкций в научных и учебных целях осуществляют для изучения влияния прочностных характеристик материалов на несущую способность, деформативность и трещиностойкость конструкции, получения реальной картины работы конструкций и проверки принятых расчетных гипотез. Такие испытания проводят, как правило, в лабораторных условиях на физических моделях, которые имеют размеры меньше, чем оригинал, но сохраняют при этом геометрическое и физическое подобие» [7].

## **2.2 Методы контроля качества строительных конструкций**

Определение прочности бетона. Бетонная смесь, затвердевшая в условиях строительной площадки, может давать результаты, не такие как при лабораторных исследованиях. «Помимо качества цемента, а также заполнителей на характеристику влияют:

- условия транспортировки;
- способ укладки в опалубку;
- размеры и форма конструкции;
- вид напряженного состояния;
- влажность, температура воздуха на всем протяжении твердения смеси;
- уход за монолитом после заливки» [17].

«Качество смеси и ее прочностные характеристики могут ухудшаться, если при производстве работ совершались грубые нарушения с точки зрения технологии, такие как, доставка производилась не в миксере; время в пути превысило допустимое; при заливке смесь не уплотнялась вибраторами или трамбовками; при монтаже была слишком низкая или высокая температура, ветер; после укладки в опалубку не поддерживались оптимальные условия

твердения. Неправильная транспортировка, приводящая к схватыванию, расслоению и потере подвижности смеси. Если не уплотнять, то в толще конструкции остаются пузырьки воздуха, которые способствуют ухудшению качества монолита. Как правило при температуре 15-25 градусов и высокой влажности в первые 7-15 суток бетон достигает прочности до 70 процентов. Если условия не выдерживаются, то сроки затягиваются. Также опасны такие факторы, как охлаждение смеси, так и ее пересушивание. Зимой опалубку необходимо утеплять или прогревать, а летом поверхность монолита увлажнять, и накрывать пленкой. На заводах ЖБИ осуществляют пропаривание или автоклавную обработку конструкций, для того чтобы уменьшить время набора прочности. Процесс может занимать от 8 до 12 часов. Чтобы определить, насколько характеристики конструкции соответствуют проектным значениям, а также при обследованиях и мониторинге технического состояния зданий проводят проверку прочности бетона. Она включает лабораторные испытания образцов – неразрушающие, которые в свою очередь подразделяются на прямые и косвенные методы исследования объектов» [7].

«Существуют факторы, влияющие на погрешность измерений при контроле и оценке прочности бетона: неравномерность состава; дефекты поверхности; влажность материала; армирование; коррозия, промасливание, карбонизация внешнего слоя; неисправности прибора, например, износ пружины, слабую зарядка аккумуляторной батареи. Самый информативный способ оценки бетонных конструкций — изъятие образцов из тела монолита, для проведения последующих испытаний. Такой метод сводит к минимуму ошибки, но достаточно дорог и трудоемок. Поэтому чаще пользуются более доступными исследованиями с помощью приборов, измеряющих зависимость от прочности характеристики — твердость, усилие на отрыв или скол, длину волны» [7]. Зная эти величины, есть возможность перехода по формулам вычислить искомую величину.

«Классический метод определения прочности бетона по образцам, отобраным из обследуемых конструкций, позволяет достоверно определить прочность бетона конструкций на сжатие в лабораторных условиях. Отбор образцов требуется осуществлять специальными алмазными бурами или коронками после визуального осмотра конструкций и выявления зон, где изъятие образцов не приведет к потере несущей способности или нарушению схемы работы обследуемой конструкции. Это условие, а также требование к размерам и степени точности изготовления образцов, значительно увеличивает время проведения работ от стадии осмотра конструкции до этапа статистической обработки лабораторных результатов испытания образцов и установления фактических прочностных характеристик бетона конструкций, необходимых для дальнейшего поверочного расчета. Причем следует отметить, что для проведения испытаний образцов бетона требуется наличие дорогостоящего оборудования, а в случае его отсутствия необходимо привлечение специализированных организаций, что резко увеличивает стоимость проведения лабораторных испытаний, сроки и стоимость обследования» [22].

«При дальнейшей классификации методов определения прочности бетона конструкций принято выделять прямые методы неразрушающие контроля конструкций или методы местных разрушений, к которым относятся методы отрыва, отрыва со скалыванием и скалывания ребра. Такие методы позволяют наиболее точно и достоверно определять реальные прочностные характеристики бетона конструкций в связи с тем, что определяется не поверхностная прочность бетона, а, например, в случае метода отрыва со скалыванием прочность бетона на глубине забивки анкера, определяющаяся типом и маркой используемого прибора. Приборы местных разрушений, основанные на методах скалывания ребра и отрыва со скалыванием (например, ПОС-30МГ4 «Скол», СКБ Стройприбор, Челябинск), дают результаты испытаний, близкие к полученным традиционными лабораторными методами, и значительно сокращают



трудозатраты, что позволяет им быть наиболее востребованными и выступать в качестве эталонных для косвенных методов неразрушающего контроля. К косвенным методам неразрушающего контроля относят методы упругого отскока, пластической деформации, ударного импульса и ультразвуковой метод. При использовании отдельных механических и ультразвуковых методов искомая величина находится посредством определения косвенной характеристики материала (величина отскока бойка, размер отпечатка, энергия удара, скорость прохождения волн). Переход от косвенной характеристики к фактической прочности бетона оказывает значительное влияние на достоверность результатов испытаний. К примеру, при использовании механических методов неразрушающего контроля на результаты испытаний оказывает сильное влияние свойства поверхности обследуемой конструкции, а при ультразвуковом обследовании необходимо учитывать плотность и влажность бетона» [5].

### **2.3 Параметры, определяемые неразрушающими методами контроля качества**

Неразрушающие методы контроля качества в строительных материалах являются важным элементом в обеспечении надежности строительных конструкций, как при возведении, так и при эксплуатации зданий и сооружений. Эти методы могут иметь решающее значение в определении соответствия кубиковой прочности бетона и класса бетона, при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона.

Конструктивными элементами таких зданий, являются железобетонные колонны и плиты перекрытия. Прочность бетона в конструкциях определяется косвенным и прямым методом. Определение прочности бетона косвенным методом выполняется ультразвуковым прибором «Пульсар». Прямой метод определения прочности включает метод вырыва и испытания образца бетона – цилиндра, высверленного из плиты перекрытия, в

лабораторных условиях. В линейных конструкциях (колоннах) прочность бетона определяется сквозным прозвучиванием, в плитных конструкциях – поверхностным. Для получения полной информации о прочности бетона, в конструкциях, согласно ГОСТ 18105–2010, выделяются участки: в плитах перекрытия не менее трех на каждую захватку, в линейных элементах (колоннах) выделяются не менее шести на каждую конструкцию.

Методика определения прочности бетона включает в себя:

- объединение конструкций в партии, с учетом поставки бетона;
- согласно ГОСТ 18105-2010, в конструкциях выделялись участки для проведения испытаний;
- выделение участков для испытаний согласно нормативной документации.

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. Такие партии бетонных конструкций принимают по отпускной и передаточной прочности, а монолитных конструкций – по прочности бетона в проектном возрасте. Согласование с проектной организацией в возможности изготовления и использования строительных конструкций необходимо и в том случае, если средний партионный коэффициент вариации на последующий контролируемый период обладает недопустимыми значениями.

Объединение конструкций в группы. Прочность бетона может оцениваться как для единичной конструкции, так и группы конструкций, которые могут объединяться в единую или несколько партий по всему зданию или сооружению. В группу включаются монолитные конструкции, изготовленные на одном технологическом комплексе из бетонной смеси одного номинального состава по одной технологии, условий бетонирования в течении одних суток (ГОСТ 18105–86, п. 2.1). Допуская, что в разные сроки бетонирования конструкций применялась бетонная смесь разного номинального состава, проверялось условие объединения партий для

определения коэффициента вариации за анализируемый период: колонн по каждому этажу или подвалу. Каждая плита перекрытия бетонировалась в течение одних суток и представлялась одной партией, средняя прочность бетона плиты определялась по средним значениям прочности на каждом участке. Колонны одного этажа бетонировались в течение 3-х или 4-х суток, конструкции одного дня бетонирования были объединены в партию. В число конструкций за анализируемый период (время бетонирования одного этажа, подвала) вошло четыре партии колонн жилого дома (рисунок 2.2).

Назначение участков и их количество. Количество и места расположения участков для определения прочности бетона неразрушающими методами назначалось из условия максимально-напряженного состояния зон: в середине пролета, в зоне действия максимальных изгибающих моментов и в зоне сопряжения плиты и колонн (рисунок 2.3). Согласно требованиям ГОСТ 18105-2010, для плоских конструкций один участок на  $8\text{ м}^2$  площади, для линейных на 4м длины. Согласно принятой программы один участок для плит перекрытий подвала, 1-го и 2-го этажей назначался в доступных местах с регулярной сеткой колонн  $6 \times 6\text{ м}$  – как отдельной зоне на  $4\text{ м}^2$ , в колоннах – два участка на 3м длины. Прочность бетона неразрушающими методами определялась на верхней поверхности плит перекрытий. В колоннах участки располагались на двух противоположных гранях на высоте 1,06м. На каждом определенном участке прочность определялась по итогам трех испытаний склерометром, шести испытаний ультразвуком – для плит перекрытий и пять испытаний склерометром, шесть испытаний при поверхностном прозвучивании и три при сквозном прозвучивании, которое относилось к двум участкам на колонне. Всего на каждом участке плиты проведено девять испытаний, на каждом участке колонны четырнадцать испытаний. В процессе проведения работы было выполнено 4956 испытаний.



Рисунок 2.1 – Общий вид жилого дома

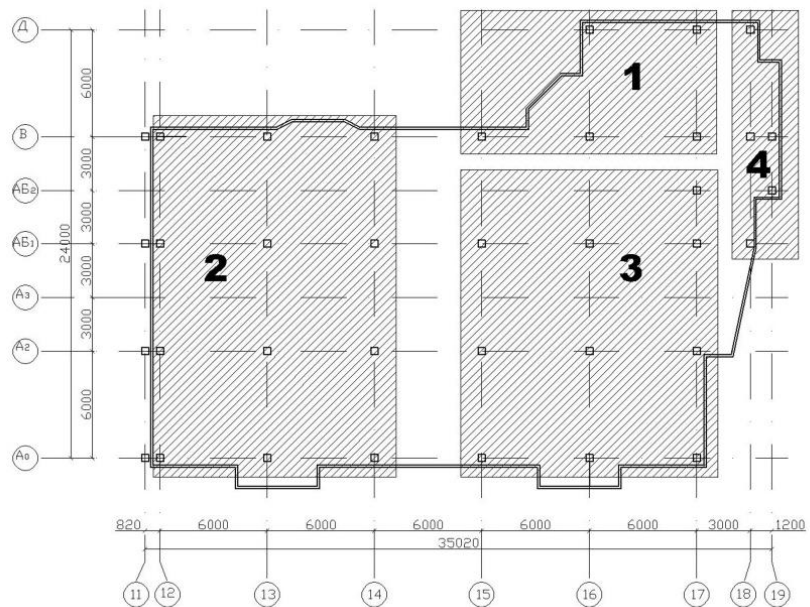


Рисунок 2.2 – Планы этажей: объединение колонн в партии



Рисунок 2.3 – Планы этажей: расположение участков

«Прочность бетона в конструкциях определяют различными неразрушающими методами по унифицированным зависимостям, устанавливающим связь между совокупностью механических свойств бетона и его прочностью» [5]. «Испытания проводят при положительной температуре бетона. Допускается проводить испытания при отрицательной температуре бетона, но не ниже минус 10 градусов. Температура бетона при испытаниях должна соответствовать температуре, предусмотренной условиями эксплуатации приборов. Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоение защитного слоя, трещины, каверны и тому подобное)» [2]. Прочность бетона по косвенным характеристикам может определяться одним из следующих методов: ультразвуковым методом (рисунок 2.4); методом упругого отскока (рисунок 2.5).

«Оценка прочности бетона по результатам испытаний. Возможны два метода оценки фактической прочности бетона в конструкциях:

- оценка по среднему значению прочности;
- оценка, базирующаяся на статистической основе» [5].

Приемка бетона в монолитных конструкциях по прочности бетона в проектном возрасте в обоих методах осуществляется из сравнения фактической прочности бетона в партии конструкции  $\overline{Rm}$  с требуемой  $R_T$ . Партия конструкций подлежит приемки, если фактическая прочность бетона в партии будет не ниже требуемой прочности, то есть.

$$\overline{Rm} > R_T. \quad (1)$$

Требуемую прочность бетона можно определять при нормировании ее по классам, либо по маркам (ГОСТ 18105–86, приложение 3) по формуле

$$R_T = R_{\text{нор}} \cdot K_T / 100 \quad (2)$$

«В том случае, когда условие проведения испытаний не позволяют получить достаточное количество данных для статистического анализа прочность бетона, а также при проведении испытаний с использованием градуировочных зависимостей, уточненных с помощью коэффициента совпадения  $K_C$ , оценка фактической прочности бетона производится, исходя из средней прочности  $\overline{R}$  определяемой по формулам:

$$\overline{R}_K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i; \quad \overline{R}_m = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \overline{R}_k; \quad \overline{R}_{\Pi} = \frac{1}{\Pi} \sum_{j=1}^{\Pi} \overline{R}_{mj}, \quad (3)$$

где  $R_i$  – прочность бетона на  $i$  – ом участке конструкции,  $n$  – количество участков, на которых определялась прочность бетона в конструкции;  $\overline{R}_k$  – средняя прочность бетона в колонне или в зоне плиты;  $\overline{R}_m$  – средняя прочность бетона в партии колонн или плите,  $m$  – количество конструкций или зон в плите;  $R_{\Pi}$  – средняя партийная прочность колонн по подвалу или этажу,  $\Pi$  – количество партий колонн в подвале или на этаже» [15].

Связь между нормативным сопротивлением  $R^H$  и средней прочностью  $\overline{R}$ , отвечающей проектной марке, выражается формулой

$$R^H = \overline{R}(1 - 1,64v), \quad (4)$$

где  $v$  – коэффициент вариации, равный отношению стандарта (то есть среднего квадратического отклонения) к среднему значению.



Рисунок 2.4 – Прибор неразрушающего контроля прочности бетона:  
ультразвуковой прибор «Пульсар»



Рисунок 2.5 – Прибор неразрушающего контроля прочности бетона:  
Склерометр

Методика определения прочности бетона включает оба метода. В начале на выделенных участках конструкции используются косвенные методы (определяется скорость ультразвука, упругий отскок, диаметр пластических деформаций), затем прямыми методами определяется усилие вырыва и по тарировочной кривой прочность. Тарировочная кривая для ультразвука корректируется по данным прямого метода.

Прочность определялась по криволинейной зависимости « $V - \bar{R}$ ». Методика исследования включает, прозвучивание бетона ультразвуком в намеченных точках и определение прочности бетона в этих местах прямыми методами: в плитах перекрытия высверливаются образцы – цилиндры, в колоннах – методом вырыва. Тарировочная кривая корректируется по результатам прямых методов.



Рисунок 2.6 – Прибор механического (эталонного) метода определения прочности бетона: установка для выбуривания образцов – кернов из конструкции



Рисунок 2.7 – прибор механического (эталонного) метода определения прочности бетона: ГПНВ – 5



При статистическом методе оценки прочности бетона для каждого участка, зоны, партии конструкций можно определить по результатам испытаний неразрушающими методами фактические коэффициенты вариации, требуемую прочность и условный класс бетона. В таблице 2.1, для примера, представлены средние статистические параметры на трех отметках для колонн и плит перекрытий. Из анализа результатов, представленных в таблице 2.1, следует, что при фактических коэффициентах вариации требуемая прочность значительно ниже, чем при нормируемом значении. Таким образом, статистический метод позволил более полно использовать прочностные свойства бетона с той же, установленной нормами обеспеченность 0,95. В поверочных расчетах конструкций следует принимать условные классы бетона при фактических коэффициентах вариации (таблица 2.1).

Для колонн подвала:

$$R^H = \bar{R}(1 - 1,64 \cdot \sigma)$$

$$R^H = 235 (1 - 1,64 \cdot 0,0937) = 19,9$$

Для колонн 1-ого этажа:

$$R^H = 234 (1 - 1,64 \cdot 0,0703) = 20,7$$

Для колонн 2-ого этажа:

$$R^H = 229 (1 - 1,64 \cdot 0,0911) = 19,4$$

Для плит перекрытий в подвале:

$$R^H = 191 (1 - 1,64 \cdot 0,077) = 16,7$$

Для плит перекрытий 1-ого этажа:

$$R^H = 169 (1 - 1,64 \cdot 0,143) = 12,9$$

Для плит перекрытий 2-ого этажа:

$$R^H = 195 (1 - 1,64 \cdot 0,107) = 16,1$$

Таким образом результаты расчета сведены в таблицу 2.1

Таблица 2.1

Наименование конструкции		Средняя прочность бетона $\bar{R}$ , кг/см <sup>2</sup>	Требуемая прочность бетона $R$ , кг/см <sup>2</sup>	Условный класс бетона $B_y^H$ (при нормир. $\sigma = 0,135$ )	Фактич. коэф. вариации $\sigma$ , %	Условный класс бетона $B_y^\Phi$ при фактич. коэф. вариации
Колонны	подвал	235	263	18,3	0,0937	19,9
	1 эт.	234	248	18,3	0,0703	20,7
	2 эт.	229	256	17,8	0,0911	19,4
Плиты перекрытия	подвал	191	249	14,9	0,077	16,7
	1 эт.	169	310	13,2	0,143	12,9
	2 эт.	195	268	15,2	0,107	16,1

При нормируемом коэффициенте вариации  $\sigma = 0,135$ , может оказаться, что при заниженной средней прочности, класс бетона станет меньше проектного. В этом случае, с помощью неразрушающих методов контроля качества, уточняется коэффициент вариации. На современных автоматизированных бетоносмесительных узлах получают однородную бетонную смесь, и фактическое значение коэффициента вариации может оказаться меньше нормативного, в этом случае класс бетона удовлетворяет его проектным значениям.

Влияние напряженного состояния бетона.

Как правило, скорость распространения ультразвука в бетоне зачастую зависит от напряженного состояния в нем.

При стадии нагружения бетона скорость распространения ультразвукового импульса в нем меняется. При этом следует отметить некоторые характерные особенности. При прозвучивании сжимаемого образца поперек действия силы или под некоторым углом вначале наблюдается небольшое (порядка 2–4%) увеличение скорости. При дальнейшем увеличении нагрузки скорость ультразвука снижается. Таким

образом, при нагружении бетона в нем можно наблюдать два процесса: 1) процесс уплотнения структуры в напряженном состоянии; 2) процесс образования микротрещин. При малых нагрузках преобладает первый процесс, при перегрузках, превышающих определенную величину, второй.

При растяжении картина другая. Там нет зоны для увеличения скорости ультразвука. Это происходит из-за того, что при растяжении нет уплотнения бетона, как это было при сжатии.

Проводя совместно механические и ультразвуковые испытания, можно определить величину напряжений, при которых начинают образовываться микротрещины в бетоне. Это важное значение характеристики бетона. Для бетонов различной прочности и состава она имеет отличия.

Определение прочности бетона импульсным ультразвуковым методом используется как в лабораторных, так и на готовых элементах строительных конструкций.

#### **Выводы по второй главе**

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что фактическая прочность бетона конструкций может устанавливаться различными неразрушающими методами.

Неразрушающие испытания бетона – это метод получения прочности на сжатие и других свойств бетона от существующих конструкций. Этот тест обеспечивает немедленные результаты и фактическую прочность, и свойства бетонной конструкции.

Чтобы проконтролировать и оценить прочность бетона целесообразно пользоваться неразрушающими методами испытаний. Так как они более доступны и недороги по сравнению с лабораторными исследованиями образцов. Главное условие при получении достоверных значений — построение градуировочной зависимости приборов. Необходимо также устранить факторы, приводящие к искажению результатов измерений.

### **3 Совершенствование особенности использования метода контроля качества в процессе возведения**

#### **3.1 Особенности контроля качества возводимых объектов**

При повышении надежности и долговечности возводимых зданий и сооружений, эффективности используемых материалов и конструкций проводится значительный объем экспериментальных исследований. Такие исследования проводятся для получения действительных результатов напряженно – деформированного состояния конструкции зданий и сооружений при различных внешних воздействиях и нагрузках.

Испытания построенных сооружений производят с целью проверки соответствия их нормативным требованиям. Такие испытания проводятся перед вводом в эксплуатацию ответственных конструкций (пространственных большепролетных покрытий, пролетных строений мостов, спортивных сооружений и других аналогичных объектов).

«Испытания эксплуатируемых конструкций и сооружений проводятся для определения их фактической несущей способности, жесткости и трещиностойкости с целью увеличения нагрузки, действующей на конструкции, или выяснения действительного состояния и возможности их дальнейшей эксплуатации.

Испытания железобетонных конструкций в научных и учебных целях осуществляют для изучения влияния прочностных характеристик материалов на несущую способность, деформативность и трещиностойкость конструкции, получения реальной картины работы конструкций и проверки принятых расчетных гипотез» [7].

Объектом исследования являлся крытый плавательный бассейн ТГУ, расположенный по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Центральный район, южнее здания №59 по ул. Ушакова (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Крытый плавательный бассейн ТГУ

### **3.2 Контролируемые параметры качества при возведении**

Бетонная смесь, затвердевшая в условиях строительной площадки, может давать результаты, отличные от лабораторных. «Помимо качества цементной смеси, а также заполнителей на характеристику влияют:

- условия транспортировки;
- способ укладки в опалубку;
- размеры и форма конструкции;
- вид напряженного состояния;
- влажность, температура воздуха на всем протяжении твердения смеси;
- уход за монолитом после заливки.

Качество смеси и ее прочностные характеристики могут ухудшаться, если при производстве работ совершались грубые нарушения с точки зрения технологии, такие как, доставка производилась не в миксере; время в пути превысило допустимое; при заливке смесь не уплотнялась вибраторами или

трамбовками; при монтаже была слишком низкая или высокая температура, ветер; после укладки в опалубку не поддерживались оптимальные условия твердения. Неправильная транспортировка, приводящая к схватыванию, расслоению и потере подвижности смеси» [17]. Если не уплотнять, то в толще конструкции остаются пузырьки воздуха, которые способствуют ухудшению качества монолита. Как правило при температуре 15-25 градусов и высокой влажности в первые 7-15 суток бетон достигает прочности до 70 процентов. Если условия не выдерживаются, то сроки затягиваются. Опасными являются факторы такие как, охлаждение смеси, так и ее пересушивание. В холодное зимнее время опалубку необходимо утеплять или прогревать, а летом поверхность монолита увлажнять, и накрывать пленкой. А также необходима консервация конструкций в зимнее время года. На заводах железобетонных изделий осуществляют пропаривание или автоклавную обработку конструкций, для того чтобы уменьшить время набора прочности. Процесс может занимать несколько часов. Чтобы определить, насколько характеристики конструкции соответствуют проектным значениям, а также при обследованиях и мониторинге технического состояния зданий проводят проверку прочности бетона. Она включает лабораторные испытания образцов – неразрушающие, которые в свою очередь подразделяются на прямые и косвенные методы исследования объектов.

«Производители работ на объекте строительства в соответствии с картой подбора состава бетона производят приемку бетонных смесей по объему и массе, удобоукладываемости, объему вовлеченного воздуха и средней плотности смеси, а также по сопроводительной документации, идентифицирующей продукцию» [15].

Качественные характеристики бетонной смеси определяют на заводе по производству бетонных смесей в течении 15 минут после ее приготовления, на объекте строительства – не позднее 20 минут после подъезда автобетоносмесителя к месту бетонирования.

Действительная прочность бетона конструкций уточняется различными методами.

Классический метод определения прочности бетона по образцам, отобраным из обследуемых конструкций, позволяет достоверно определить прочность бетона конструкций на сжатие в лабораторных условиях. Отбор образцов требуется осуществлять специальными алмазными бурами или коронками после визуального осмотра конструкций и выявления зон, где изъятие образцов не приведет к потере несущей способности или нарушению схемы работы обследуемой конструкции. Таким образом, это условие, а также требование к геометрическим размерам, а также высокой точности изготовления образцов, значительно увеличивает время проведения работ от стадии визуального осмотра конструкции до этапа проведения обработки лабораторных результатов испытания образцов и установления фактических прочностных характеристик бетона конструкций, необходимых для дальнейшего поверочного расчета.

«При дальнейшей классификации методов определения прочности бетона конструкций принято выделять прямые методы неразрушающие контроля конструкций или методы местных разрушений, к которым относятся методы отрыва, отрыва со скалыванием и скалывания ребра. Такие методы позволяют наиболее точно и достоверно определять реальные прочностные характеристики бетона конструкций в связи с тем, что определяется не поверхностная прочность бетона, а, например, в случае метода отрыва со скалыванием прочность бетона на глубине забивки анкера, определяющаяся типом и маркой используемого прибора» [7]. К косвенным методам неразрушающего контроля относят методы упругого отскока, пластической деформации, ударного импульса и ультразвуковой метод. При использовании отдельных механических и ультразвукового методов искомая величина находится посредством определения косвенной характеристики материала. Переход от косвенной характеристики к фактической прочности бетона оказывает значительное влияние на достоверность результатов

испытаний. К примеру, при использовании механических методов неразрушающего контроля на результаты испытаний оказывает сильное влияние свойства поверхности обследуемой конструкции, а при ультразвуковом обследовании необходимо учитывать плотность и влажность бетона.

Прочность бетона в конструкциях определяется различными неразрушающими методами в соответствии с унифицированными зависимостями, устанавливающими взаимосвязь между совокупностью механических свойств бетона и его прочностью. Прочность бетона по косвенным характеристикам можно определить одним из следующих методов: ультразвуковым методом; метод упругого отскока и ударный импульс; метод пластической деформации.

На данном этапе были проведены испытания прямым и косвенным методом.



Рисунок 3.2 – Проведение испытаний косвенным методом с помощью ультразвукового прибора Пульсар-1





Рисунок 3.3 – Проведение испытаний прямым методом отрыва со скалыванием с помощью прибора ПБЛР

Оценка прочности бетона по результатам испытаний. Существуют два варианта оценки фактической прочности бетона в конструкциях:

- оценка по среднему значению прочности;
- оценка, по статистическим показателям.

Установление и оценка параметров градуировочной зависимости.

Прочность бетона контролировалась в конструкции методом поверхностного прозвучивания. Для установления градуировочной зависимости между скоростью ультразвука и прочностью бетона выполнены параллельные испытания одних и тех же участков конструкций ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием.

«Зависимость между прочностью бетона и скоростью описывается уравнением (1)» [5].

$$R = a \cdot v^2 (1)$$

Прочность бетона  $R$  в конструкции была найдена неразрушающим методом – отрывом со скалыванием, с помощью прибора ПБЛР (рисунок 3.3), и составила  $R=30,8$  МПа.

Скорость на этом участке была получена с помощью прибора Пульсар-1 (рисунок 3.2), и составила  $v = 4150$  м/с.

Таким образом, из уравнения (1) находим коэффициент  $a$ ,

$$a = \frac{R}{v^2}$$
$$a = \frac{308}{4150^2} = 0,000178$$

Построен график зависимости скорость – прочность.

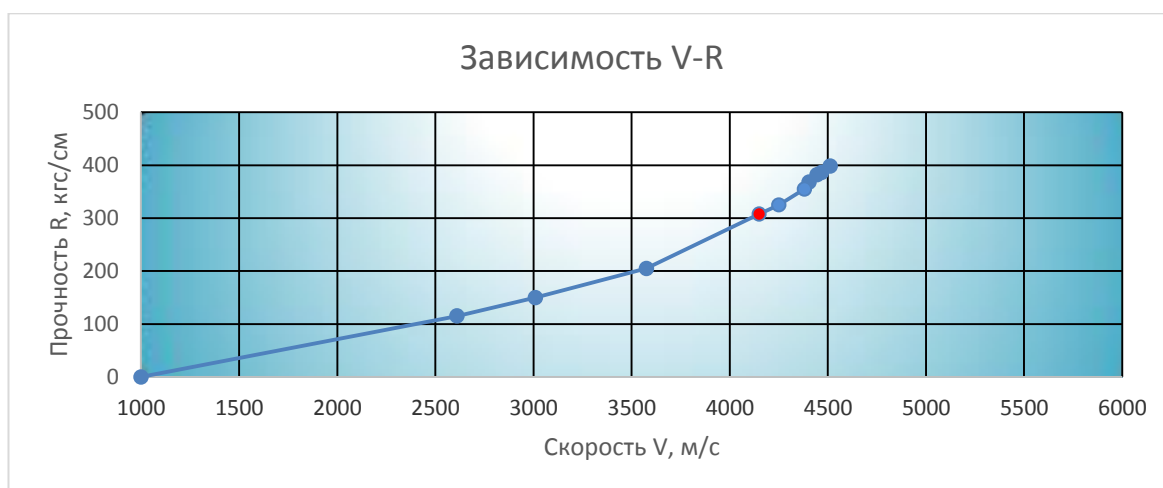


Рисунок 3.4 – График зависимости V-R

Красной точкой на графике обозначено место отрыва со скалыванием прибором ПБЛР, и прозвучивание ультразвуковым прибором.

### Выводы по третьей главе

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что фактическая прочность бетона конструкций может устанавливаться различными неразрушающими методами.

Чтобы проконтролировать и оценить прочность бетона целесообразно пользоваться неразрушающими методами испытаний. Так как они более доступны и недороги по сравнению с лабораторными исследованиями образцов. Главное условие при получении достоверных значений — построение градуировочной зависимости приборов. Необходимо также устранить факторы, приводящие к искажению результатов измерений.

## Заключение

При работе над магистерской диссертацией были выполнены задачи:

- по изучению и обследованию видов неразрушающего контроля качества железобетонных конструкций;
- проведены натурные испытания и методика определения контролируемых параметров;
- рассмотрены особенности использования метода контроля качества на возводимых объектах.

Комплексная оценка прочностных свойств бетона предусматривает выполнение требований нормативных документов для проектирования и стандартов на правила контроля прочности.

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что фактическая прочность бетона конструкций может устанавливаться различными неразрушающими методами, а также основные параметры, влияющие на качество изделий и строительных конструкций, современными, высокоточными приборами.

Используя современные достижения в области технического развития, мы можем существенно точно оценивать качественные характеристики образцов, конструкций и зданий.

Чтобы проконтролировать и оценить прочность бетона целесообразно пользоваться неразрушающими методами испытаний. Так как они более доступны и недороги по сравнению с лабораторными исследованиями образцов. Главное условие при получении достоверных значений — построение градуировочной зависимости приборов. Необходимо также устранить факторы, приводящие к искажению результатов измерений.

Экономичность может достигаться как при строительстве зданий и сооружений, так и в процессе их эксплуатации. Этому способствуют неразрушающие методы контроля качества и оценки используемых материалов.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». – М.: «Стандартинформ» – 2010, 56 с.
2. ГОСТ 22690–2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля». – М.: «Стандартинформ» – 2016, 56 с.
3. ГОСТ 18105–2010. «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». – М.: «Стандартинформ» – 2013, 20 с.
4. ГОСТ 13015–2012. «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения». – М.: «Стандартинформ» – 2014, 37 с.
5. ГОСТ 17624-2012. «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности». – М.: «Стандартинформ» – 2014, – 19 с.
6. ГОСТ 4.200-78 «Система показателей качества продукции. Строительство. Основные положения». – М.: «Стандартинформ» – 2014, – 12 с.
7. ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения». – М.: «Стандартинформ» – 2011.
8. СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». – М.: «Госстрой России» – 2004, 33 с.
9. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». – М.: «Стандартинформ» – 2010, 68 с.
10. СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». – М.: «Стандартинформ» – 2010, 33 с.
11. СП 349.1325800.2017 «Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления». – М.: «Стандартинформ» – 2017, 104 с.

12. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. ЦНИИП. – М., 1989г.

13. Рекомендации по организации массового внедрения неразрушающего контроля производства и качества железобетонных изделий/ НИИСК Госстроя СССР, Оргтехстрой Главзапстроя Минстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1983. 56 с.

14. Контроль качества, ремонт и усиление при возведении монолитных зданий и сооружений. – М.: ОАО «НИЦ «Строительство», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Лаборатория железобетонных конструкций и контроля качества, 2011. 77с.

15. Контроль качества и эксплуатационная долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций/В.В. Бабицкий, С.Н. Ковшар. – Минск: БНТУ, 2014. – 94с.

16. А.И. Бедов, В.В. Знаменский, А.И. Габитов. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. В 2 частях. Часть 1. Оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 704 с.

17. Болотова А. С., Свиридов В. Н. Анализ методов и средств контроля качества монолитных железобетонных конструкций//Научное обозрение. – 2016. – № 11. –С. 61–65.

18. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: Учебное пособие. – М.:Издательство АСВ, 2001 – 176 с.

19. Пухонто Л. М. «Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений». - М. – 2004

20. Несветаев Г.В., Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых

железобетонных конструкций // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017), 14 с.

21. Т. М. Петрова, А. П. Лейкин, А. В. Полетаев, Ю. А. Сорвачева, К. В. Гуляев, Э. Ю. Чистяков Особенности оценки качества железобетонных конструкций транспортного строительства неразрушающими методами контроля// Интернет-журнал «Современные технологии – транспорту» ISSN 1815-588X. Известия ПГУПС, – 2015, 6 с.

22. Д. А. Чихунов Методика и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов // Строительная инженерия. – 2005. – № 2. – С. 13–16.

23. Лифанов, И.С. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве / И.С. Лифанов, Н.Г Шерстюков. - М.: Стройиздат, 1979. - 223 с.

24. Басов Ю.К. Железобетонные и каменные конструкции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Басов Ю.К., Зайцева С.В. – М.: Российский университет дружбы народов, 2010. –100 с.

25. Судаков В.В., Гринберг В.Е., Павлова В.В., Строганов В.А. Контроль качества железобетонных изделий вибрационным методом. - Бетон и железобетон, 1970, с 12.

26. Шмаков Г.Б. Методика заводского неразрушающего контроля качества сборных железобетонных конструкций. "Методы неразрушающего контроля качества железобетонных конструкций», Киев, 1972.

27. А.А. Алексеев, И.В. Ужегов, М.В. Прушинская Контроль качества при возведении монолитных зданий и сооружений/ Материалы 58-й научно-технической конференции, 4 с.

28. Power, J. Dynamic modulus of elasticity for evaluation sulphate/ J. Power// Proc. ASTM. 1938. 38. 460.

29. Taylor, W., Boque R. Sulphateresistance rating by determining unbound sulfate in the filtrate Journ/ W. Taylor, R. Boque // Res. NBS. –1950–45.– 223 s.

30. Hekal E. E. Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances/ E. E.Hekal, E. Kishar, H. Mostafa // Cem. and Concr. Res. –№9.–2002.–Т. 32 –P.1421–1427.

31. Agostini, F. Experimental study of accelerated leaching on hollow cylinders of mortar/ F.Agostini, Z.Lafhaj, F Skoczylas //Cem. and Concr. Res.–2007. 37.– №1.– P. 1–78.

32. Cohen, M. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu/ M. Cohen, J. Olek // Cem. and Concr. Res. 2006. –36.– №12.– P.2132–2137.

**Приложение А**  
**Комплексное понятие качества**





**Приложение Б**  
**Технические характеристики прибора Proceq GPR Live**

Метод измерения Proceq GPR Live	Непрерывно-волновая технология со ступенчатым изменением частоты
Диапазон частот	от 0.2 до 4.0 ГГц
Основная частота	2.4 ГГц
Ширина полосы	2.85 ГГц
Пиковая мощность	-7 Дб EIRP
Максимальная глубина проникновения	70 см / 28 дюймов (сухой бетон)
Размеры Proceq GPR Live	220 × 180 × 143 мм / 8.7 × 7.1 × 5.6 дюймов
Вес	2кг/4.4lb
Питание	8 × AA (батареи или аккумуляторы)
Время работы	3.5 ч непрерывного использования
Дисплей	любой iPad
Рабочая температура	от минус 10 до плюс 50 °C/от 14 до 122°F
Влажность	<95% RH, без конденсата
Защита по IP	IP54
Экспорт (только для версий Pro и Unlimited)	Данные (файл приложения Proceq GPR Live), снимки экрана (JPG), таблица (CSV)
Языки	Английский, немецкий, испанский, китайский, японский, русский
Настройки	Метрические и имперские
Стандарты и руководства Proceq GPR Live	AASHTO R 37-04, ACI 228.2R.98, ASTM D4748–10, ASTM D6087–08, ASTM D6432–11, EN 302066 - ETSI

**Приложение В**  
**Технические характеристики прибора ВИМС-2.1**

Диапазоны измерения влажности, %	древесины	От 4 до 60
	строительных материалов	От 0,5 до 45
	песка (с зондовым датчиком в модификации)	От 1 до 12
Пределы абсолютной погрешности, %	древесины в диапазоне 5-12%	1,5-1,7
	древесины в диапазоне 13-30%	2,5-3,0
	строительных материалов в диапазоне 0,5-6%	0,5-1,0
	строительных материалов в диапазоне 7-12%	1,5-1,6
Габаритные размеры, мм	измерительного блока	150 × 75 × 31
	зондового датчика с ручкой / зонда	d25 × 275 / d6 × 150
Масса, кг	электронного блока	0,2
	зондового датчика	0,15

**Приложение Г**  
**Технические характеристики прибора Термогигрометр ТЕМП-3.2**

Диапазон измерения относительной влажности воздуха, %	От 0 до 100
Диапазон измерения температуры, °С	-
- совмещённого датчика температуры и влажности	От минус 30 до плюс 85
- Pt-датчика температуры поверхности	От минус 45 до плюс 165
Пределы абсолютной погрешности измерения относительной влажности воздуха при 25±5°С, %	-3,5; +3,5
Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерения влажности от изменения температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих температур, %/°С, не более	-0,25; +0,25
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры, °С	-0,55; +0,55
Разрешающая способность измерения (дискретность), °С и % относительной влажности	0,1
Габаритные размеры, мм:	-
- блок электронный	151 × 81 × 32
- совмещённый датчик температуры и влажности воздуха (длина/диаметр)	50/12
- дополнительный Pt-датчик температуры поверхности (длина/диаметр)	112/15
Масса, кг:	-
- блок электронный	0,14
- совмещённый датчик температуры и влажности воздуха	0,03
- дополнительный Pt-датчик температуры поверхности	0,05

**Приложение Д**  
**Технические характеристики прибора «БЕТОН-ФРОСТ»**

Размеры образцов: куб / куб / керн	100 × 100 × 100 / 70 × 70 × 70 / d70 × 70 мм
Диапазон измерения БЕТОН-FROST объемных деформаций	0,05÷6,0 мл
Дискретность измерений	0,002 мл
Габариты камеры: внутренние / наружные	105 × 105 × 105/160 × 170 × 210 мм
Габариты измерительного блока	160 × 170 × 210 мм
Габариты регистратора	145 × 70 × 25 мм
Вес измерительного блока БЕТОН- FROST в сборе: - с кубиком - без кубика	6,5 кг 2,5 кг
Питание	Никель-металлогидридные аккумуляторы – 2 штуки внешний блок питания 6,5 В
Связь прибора с компьютером	USB-2.0

**Приложение Е**  
**Технические характеристики прибора ОНИКС-1.0С**

Диапазон измерения прочности, МПа	ОС.050	ОС.100
	От 5 до 100	От 10 до 150
Диапазон рабочих нагрузок, кН	От 5 до 50	От 5 до 100
Предельное усилие вырыва анкера, кН	70	120
Пределы относительной погрешности измерения нагрузки, %	-1,5; +1,5	-1,5; +1,5
Габаритные размеры, мм	365 × 60 × 185	390 × 60 × 210
Масса прибора, кг	4,2	6,5
Типоразмеры анкеров, мм (d x h)	16 × 35	16 × 35
	24 × 48	24 × 48

**Приложение Ж**  
**Технические характеристики прибора ПОИСК-2.5**

Диапазон измерения защитного слоя, мм	От 2 до 160 / от 5 до 120*
Контролируемые диаметры, мм	От 3 до 50
Предельная величина защитного слоя, мм	165
Порог чувствительности, мм	275
Предел погрешности измерения защитного слоя h, мм	$-(0,03h + 0,5)$ ; $+(0,03h + 0,5)$
Габаритные размеры, мм:	-
- электронного блока	145 × 82 × 37
- датчика	145 × 42 × 47
Масса, кг:	-
- электронного блока	0,25
- датчика	0,51
Диапазон рабочих температур, °С	От минус 10 до плюс 40

**Приложение 3**  
**Технические характеристики прибора АРМКОР-1**

Диапазон измерения потенциала, мВ	От -999 до +999
Предел погрешности измерения потенциала, мВ	-1; +1
Разрешающая способность, мВ	1
Диапазон измерения удельного электросопротивления, кОм x см	От 0 до 1000
Разрешающая способность, кОм x см	0,1
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до 65
Память результатов	1300
Дисплей LCD, разрешение	128 × 64
Габаритные размеры, мм: - электронного блока - датчика потенциала h x ø - датчика сопротивления	145 × 82 × 32 132 × 41 245 × 150 × 47
Масса, кг: - электронного блока - датчика потенциала - датчика сопротивления	0,25 0,21 0,69

**Приложение И**  
**Технические характеристики прибора ИНК-2.4**

Диапазон измерения:	-
– механических напряжений, МПа	От 50 до 2000
– частоты колебаний арматуры, Гц	От 5 до 100
– частоты вибрации (режим «Общий»), Гц	От 5 до 500
– частоты вибрации (режим «Виброплощадка»), Гц	От 5 до 85
– СКЗ виброскорости, мм/с	От 0,1 до 200
– амплитуды колебаний, мм	От 0,015 до 7
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения: – механических напряжений, % – частоты колебаний, % в диапазоне 5-500 Гц в диапазоне 2-1000 Гц	-4,0; +4,0
	-0,25; +0,25
	-1,5; +1,5
	-6,5; +6,5
– амплитуды колебаний и СКЗ виброскорости, %	-6,5; +6,5
Долговременная память результатов	1024
Потребляемый ток, мА: – без подсвечиваемого дисплея – с подсвечиваемым дисплеем	35
	125
Габаритные размеры прибора, мм	160 × 80 × 30
Масса прибора, кг	0,7



**Приложение К**  
**Технические характеристики Склерометра ОМШ-1**

Диапазон измерений	5-50 МПа
Энергия удара	Не менее 2,0 Дж
Усилие сжатия пружины	Не более 75 Н
Высота отскока	В усл. ед. склерометра
Цена одного деления шкалы склерометра	2 усл. ед.
Вариация показаний при измерении высоты отскока на наковальне	Не превышает -2;+2 усл. ед. шкалы склерометра (одно деление)
Твердость рабочих поверхностей бойка и индентора	56-59 HRC
Шероховатость ударной части индентора	Не более 12 мкм
Радиус сферы индентора	25 мм
Диапазон рабочих температур	От минус 10 °С до плюс 50 °С
Габаритные размеры	364 × 68 × 55 мм
Масса склерометра	1,5 кг