

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БЕТОНА МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ЛАТЫШ А.В., ЛЕОНОВИЧ С.Н., КОЛЕДА Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Растущее распространение неразрушающего контроля бетона в конструкциях и накопленная статистика результатов испытаний заставляет обратить особое внимание на используемые методы испытаний и принятые оценочные критерии. Основная проблема неразрушающих испытаний бетона конструкций заключается в том, что измерительные процессы известных неразрушающих методов испытания прочности бетона не являются адекватными напряженно-деформированному состоянию бетона в зоне контроля ни друг другу, ни процессу прессового испытания бетонного образца на одноосное сжатие. Проявляется это в том, что косвенные параметры неразрушающих методов испытаний в разной степени подвержены влиянию изменений физико-механических свойств контролируемого бетона.

Введение. Значительную востребованность в качестве основы производственно-технологического контроля в монолитном строительстве приобретают оперативные неразрушающие методы определения прочностных показателей бетона: они могут использоваться как на ранних стадиях его твердения, при оценке распалубочной прочности и в процессе выдерживания, обеспечивая сплошной контроль строительной продукции, так и при выполнении мониторинга прочностных параметров бетона наиболее ответственных монолитных конструкций, до достижения ими проектных значений. Не менее важна роль неразрушающего контроля при обследовании зданий и сооружений, особенно эксплуатируемых в условиях динамических нагрузок, а также при выполнении работ, связанных с реконструкцией.

Растущее распространение неразрушающего контроля бетона в конструкциях и накопленная статистика результатов испытаний заставляет обратить особое внимание на используемые методы испытаний и принятые оценочные критерии. Основная проблема неразрушающих испытаний бетона конструкций заключается в том,

что измерительные процессы известных неразрушающих методов испытания прочности бетона не являются адекватными напряженно-деформированному состоянию бетона в зоне контроля ни друг другу, ни процессу прессового испытания бетонного образца на одноосное сжатие. Проявляется это в том, что косвенные параметры неразрушающих методов испытаний в разной степени подвержены влиянию изменений физико-механических свойств контролируемого бетона. Это значит, что оценки прочности неразрушающими методами будут зависеть не только от фактической прочности бетона (определяемой прессовыми испытаниями образцов), но и от других его характеристик: модуля упругости, динамической вязкости, структурной неоднородности и др. Безусловно, вариации физико-механических свойств бетона оказывают влияние и на результаты метода прессовых испытаний. Но поскольку этот метод принят в качестве эталонного, то его результат рассматривается как «истинная» оценка прочности бетона, а все остальные методы должны на нее «равняться».

Другой специфичной проблемой в практике неразрушающего контроля железобетонных конструкций является обоснование выбора критериев соответствия фактической прочности бетона нормативным показателям. В соответствии с ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», контроль и оценку прочности бетона на предприятиях и в организациях, производящих бетонную смесь, сборные, сборно-монолитные и монолитные бетонные и железобетонные конструкции, следует проводить статистическими методами с учетом характеристик однородности бетона по прочности. Приемка бетона путем сравнения его фактической прочности с требуемой без учета характеристик однородности бетона по прочности не допускается. В ГОСТ 18105-2010 установлено требование сплошного контроля прочности бетона в монолитных железобетонных конструкциях и приведены две схемы контроля прочности бетона для таких конструкций: схема В – основана на результатах статистической обработки данных о прочности бетона в изделиях контролируемой партии; схема Г – нестатистическая, основана на результатах неразрушающего контроля прочности бетона без построения градуировочных зависимостей, но с использованием универсальных зависимостей путем их привязки к прочности бетона контролируемой партии конструкций.

В соответствии с действующими ТНПА, предприятия осуществляющие производство и поставку бетонных смесей, а так же строительные организации, выполняющие работы по возведению монолитных железобетонных конструкций, должны определять характеристики однородности прочности бетона. На основании полученных данных о фактической прочности бетона в конструкциях и её вариации, делается заключение о фактическом классе бетона по прочности и производится приемка бетона возведенных конструкций. В связи с этим, важную роль в накоплении достаточного массива данных для статистической обработки и в осуществлении сплошного контроля прочности бетона монолитных железобетонных конструкций занимают неразрушающие методы контроля.

1. Методы неразрушающего контроля для оценки прочности бетона в монолитных железобетонных конструкциях

Система контроля прочности бетона, основанная на результатах испытаний на сжатие образцов, регламентированная ГОСТ 10180-2012, не позволяет получить достоверную информацию о качестве бетона непосредственно в изделии. Характеристики бетона в образцах и изделиях заметно отличаются.

Главной целью совершенствования неразрушающих методов контроля по-прежнему остается достижение максимального совпадения их оценок с оценками прочности бетона стандартным методом испытаний образцов на сжатие при минимальном учете специфических технологических факторов бетона.

Значительный вклад в развитие теории и практики неразрушающего контроля прочностных свойств бетона внесли И.Н. Ахвердов, И.С. Вайншток, В.В. Дзенис, А.С. Зальцман, Н.А. Крылов, К.П. Кашкаров, В.А. Клевцов, М.Г. Коревицкая, М.Ю. Лещинский, Ю.Н. Мизрохи, С.И. Ногин, Г.Я. Почтовик, Б.Г. Скрамтаев, В.В. Судаков, Д.Ю. Снежков, J. Krautkrämer, H. Krautkrämer, R. Jones, N.J. Carino, M. Sansalone, E. Schmidt и др.

Неразрушающие методы контроля прочностных показателей бетона обычно классифицируются как механические и физические. К механическим относится большая группа методов локального разрушения бетона и группа склерометрических методов. Они основаны на взаимодействии (статическом или динамическом) твердого индентора (ударника) с поверхностью контролируемого изделия. Перечень физических методов весьма обширный, в первую очередь

к ним относят акустические методы, а также ряд электрофизических. Акустические методы, в свою очередь, подразделяются на пассивные, основанные на регистрации сигналов, возникающих в контролируемом изделии, например, при деформации (метод акустической эмиссии), и активные, которые оценивают физико-механические свойства бетона по изменению параметров формируемых внешних воздействий. К группе активных методов относится ультразвуковой импульсный метод по ГОСТ 17624-87, а также ряд относительно новых методов: эхо-ударный (Impact Echo) метод, метод электромагнитного отклика, радиоволновые методы.

Перечень активных акустических методов достаточно широкий, к наиболее распространенным в практике неразрушающего контроля можно отнести следующие методы: прохождения, отражения, комбинированные, собственных частот (спектральные), включающие в себя метод свободных колебаний (резонансный). Следует заметить, что классификационные модели, по мере развития, совершенствования, появления новых методов, сами претерпевают эволюцию, хотя основой их остается используемый физический принцип.

Имеется немало методов, которые могут быть одновременно отнесены к различным классификационным группам, в частности, рассмотренный ниже так называемый Impact Echo метод (ИЕМ) может быть отнесен и к группе методов свободных колебаний, и к группе методов прохождения и отражения.

Все активные акустические методы неразрушающего контроля бетона используют параметры процессов волнообразования и волнового распространения в испытываемой конструкции (или образце) механических колебаний с целью оценки упругодеформативных и прочностных свойств бетона. Источник акустических колебаний является составной частью самого измерительного прибора.

Анализ литературных источников показал, что в разной степени, но всем неразрушающим методам присуща зависимость их оценок прочности от технологических факторов бетона: вариации состава, В/Ц, режимов укладки и уплотнения, возраста. В результате при определении прочности бетона на сжатие неразрушающими методами без учета технологии его производства погрешность может достигать 30...60 %, а в отдельных случаях и более.

Оценки практически всех методов контроля как механических, так и физических с малым энергетическим воздействием подвержены в большей степени влиянию параметров упругости бетона, чем его прочности. Если принимать во внимание чувствительность метода по отношению к контролируемым прочностным параметрам бетона, то в качестве классификационного параметра можно рассматривать энергию воздействия на контролируемую зону.

Одним из самых низкоэнергетических методов, из указанных, является ультразвуковой импульсный, он же является и самым технологозависимым. Упругая деформация бетона в зоне излучающего преобразователя для типовых ультразвуковых приборов составляет 5...20 мкм, а в зоне приема - на несколько порядков меньше. Этот же метод является и наиболее чувствительным к параметрам упругости бетона. Инденторы приборов семейства «ОНИКС», «ИПС – МГ4» создают уровень деформации в точке воздействия порядка от 0,1 до 0,5 мм, что вызывает напряжения уже превосходящие предел прочности бетона. Приборы метода упругого отскока (молотки Шмидта) создают большее энергетическое воздействие, энергия удара молотка Шмидта типа N составляет 2,2 Дж. Одними из самых независимых от влияния технологических факторов бетона являются методы отрыва и скалывания по СТБ 2264-2012, они же являются и самыми энергозатратными.

Влияние технологии бетона на точность оценки его прочности неразрушающими методами происходит вследствие чувствительности неразрушающих методов к характеристикам упругости бетона, которая зависит не только от энергии воздействия на бетон, но и от времени воздействия. Зависимость упругих свойств бетона от времени динамического воздействия связана со значением времени релаксации, являющимся основной характеристикой вязкости бетона. Таким образом, косвенные параметры неразрушающих методов определения прочности бетона являются интегральными оценками всего комплекса физико-механических свойств бетона: прочности, упругости, вязкости, пластичности. Неоднозначность характера взаимосвязи упругопрочностных параметров бетона обуславливает дополнительную погрешность их оценок неразрушающими методами, поскольку каждый из них обладает различной чувствительностью к указанным параметрам.

В работе И.Н. Ахвердова отмечается, что при одинаковой прочности модуль упругости бетона меняется в широких пределах. Поскольку фракционный состав, вид и количество крупного и мелкого заполнителей влияют на прочность бетона и модуль упругости по-разному, то нельзя рассчитывать модуль упругости, не учитывая состава и свойств заполнителей.

В работе отмечается: «При измерении упругих деформаций бетонов разной прочности фиксируется в ряде случаев не возрастание, а падение модуля (упругости) с ростом прочности бетона. Противоречия и расхождения в оценках модуля упругости бетона следует отнести, несомненно, за счет того, что существующие эмпирические зависимости не отражают влияния на его величину всех важнейших факторов». В этой же работе выполнен анализ данных корреляции модуля упругости и предела прочности для бетонов, объединенных в группы по различным показателям: количеству разновидностей цемента, заполнителя, содержания цементного теста, условий уплотнения и твердения, возраста (от 1...360 суток до нескольких лет).

Потребность в неразрушающих методах возникает, как правило, в случаях сомнений в качестве бетонной смеси и стабильности технологии бетонирования. Чувствительность неразрушающих методов к изменению параметров прочности бетона неоднозначна и зависит от причин ее снижения. Если потеря прочности бетона связана с деструктивными процессами, происходящими вследствие механических нагрузок, термических воздействий, коррозии, нарушений технологии бетонирования, изменения состава бетонной смеси, то низкоэнергетические методы позволяют надежно фиксировать изменения прочности, но именно в той степени, в какой прочность и параметры упругости бетона будут взаимосвязаны. Если связь между упругостью и прочностью на сжатие бетона меняется, например, при смене типа заполнителя, формировании пористой структуры, то указанные методы могут даже давать совершенно противоположную оценку изменению прочности. Именно по этой причине существующие неразрушающие методы являются технологически независимыми по своей сути.

2. Результаты испытаний бетонных образцов

2.1 Методика проведения испытаний

Для определения прочности бетона и её вариации неразрушающими методами контроля прочности, были отобраны образцы с двух невзаимосвязанных строительных объектов: образцы-кубы (со сторонами 100x100x100 мм) и образцы-цилиндры, полученные торцеванием выбуренных из монолитных конструкций кернов ($D \approx 140$ мм; $h \approx 140$ мм). С целью накопления достаточного массива данных для последующей статистической обработки и получения корреляционных зависимостей между показаниями различных приборов неразрушающего контроля прочности бетона (ИПС-МГ4.01, молоток Шмидта, ультразвуковой тестер Пульсар 1.0) и прочностью бетона при испытании в прессе, была определена следующая методика проведения испытаний.

1. Предварительно, на всех образцах была проставлена маркировка. В марке каждого образца содержались данные о его серии, порядковом номере в серии и дате формования.

2. Подготовлены таблицы-формы для протоколирования результатов испытаний образцов-кубов и образцов-цилиндров. Так как испытываемые образцы-цилиндры получены выбуриванием кернов из монолитных конструкции с последующим торцеванием алмазными кругами, были произведены обмеры фактических размеров образцов с занесением в таблицы-формы.

3. Ультразвуковым тестером Пульсар 1.0 были выполнены следующие измерения:

а) для образцов-кубов: измерена скорость прохождения ультразвука по четырем боковым граням каждого образца (по два измерения на каждой грани).

б) для образцов-цилиндров : измерена скорость прохождения ультразвука по образующим образцов-цилиндров: по четыре измерения на диаметрально расположенных участках, а также сквозным методом, вдоль оси цилиндра, с помощью одиночных преобразователей. Также были проведены три пары измерений в диаметральной направлении: по два измерения на каждом из трех уровней по высоте цилиндра: по центру; и на расстоянии 2-3 см от верхнего и нижнего торцов. Диаметры каждого уровня выбирались по взаимно перпендикулярным направлениям.

Все измерения производились в соответствии с ГОСТ 17624-87.

4. С помощью прибора для определения прочности бетона методом ударного импульса ИПС-МГ4.01 были выполнены следующие измерения:

а) для образцов-кубов: взяты четыре отсчета - по одному измерению на каждой боковой грани образца-куба;

б) для образцов-цилиндров: три измерения на каждом уровне (два уровня на расстоянии 3 см от торцов цилиндров; один уровень на половине высоты цилиндра) со смещением точек отсчета по окружности цилиндра, и по одному измерению на каждом из торцов.

Каждый единичный отсчет представляет собой серию из 15 ударов по поверхности образца с автоматическим программным осреднением итога и отбраковыванием отдельных результатов, выходящих за пределы области определения. Методика проведения испытаний методом ударного импульса приведена в СТБ 2264-2012.

5. Непосредственно в прессе (при обжатии нагрузкой в 3 МПа) были проведены испытания образцов с помощью молотка Шмидта:

а) для образцов-кубов: выполнены измерения на двух боковых гранях (по пять точек на каждой грани);

б) для образцов-цилиндров: выполнены измерения в 4 точках на каждом уровне: по 2 измерения с каждой стороны.

6. Проведены испытания образцов в прессе до разрушения по методике ГОСТ 10180-2012, с определением фактической прочности образцов.

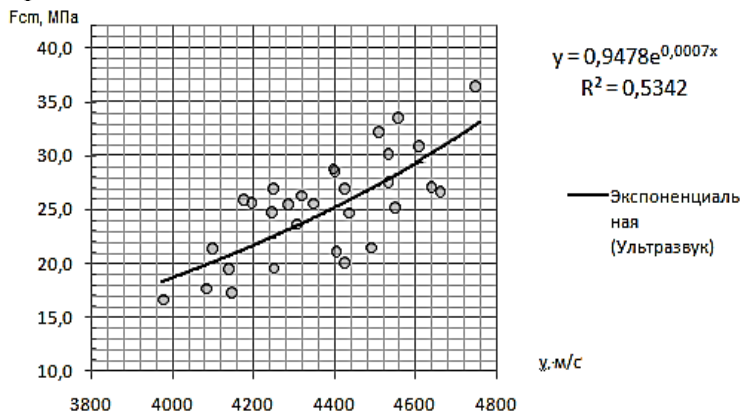


Рис. 1. Результаты испытаний образцов-кубов ультразвуком

2.2 Результаты испытаний бетонных образцов

Полученные при испытании образцов данные о прочности бетона, позволили провести статистическую обработку результатов и построить градуировочные зависимости для каждого из методов неразрушающего контроля прочности.

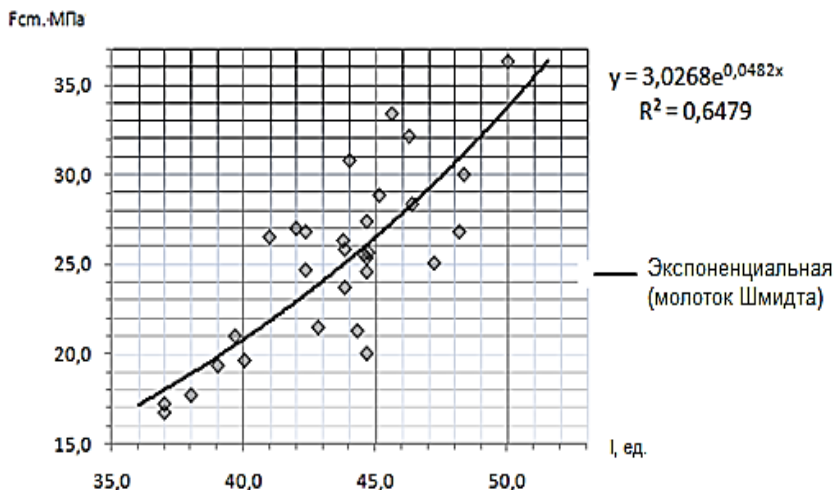


Рис. 2. Результаты испытаний образцов-кубов молотком Шмидта

При обработке данных о прочности бетонных образцов, полученных при испытаниях методом ударного импульса, оказалось, что практически отсутствует корреляционная связь между результатами испытаний прибором ИПС-МГ4.01 и испытаниями образцов в прессе. Ввиду этого обстоятельства, было принято решение не использовать данные о прочности при этом методе испытаний для составления комплексного метода оценки прочности и его анализа.

После определения прочности бетонных образцов по градуировочным зависимостям, представленным на графиках выше (для ультразвукового метода и метода упругого отскока), был реализован комплексный метод оценки прочности бетона, посредством осреднения полученных единичных результатов прочности бетона в образцах.

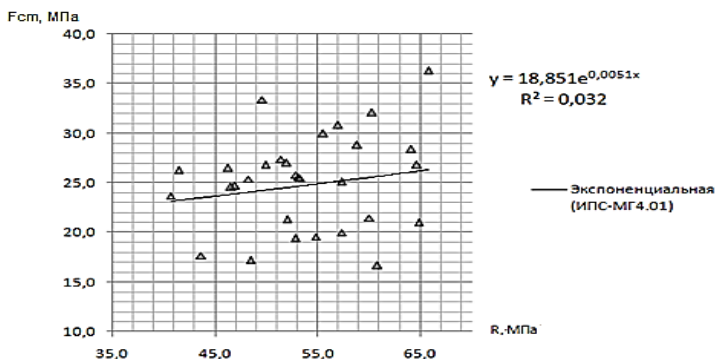


Рис. 3. Результаты испытаний образцов-кубов ИПС-МГ4.01

На рисунке представлен сводный график, на котором совмещены линейные аппроксимирующие зависимости для ультразвукового метода, метода упругого отскока, а также комплексного метода оценки прочности бетона. Как видно из графика, аппроксимирующая зависимость комплексного метода оценки прочности лежит между зависимостями ультразвукового метода и метода упругого отскока в области допустимых значений. Это является прямым следствием методики осреднения единичных результатов прочности бетона в серии образцов, полученных различными неразрушающими методами оценки прочности, входящими в комплекс.

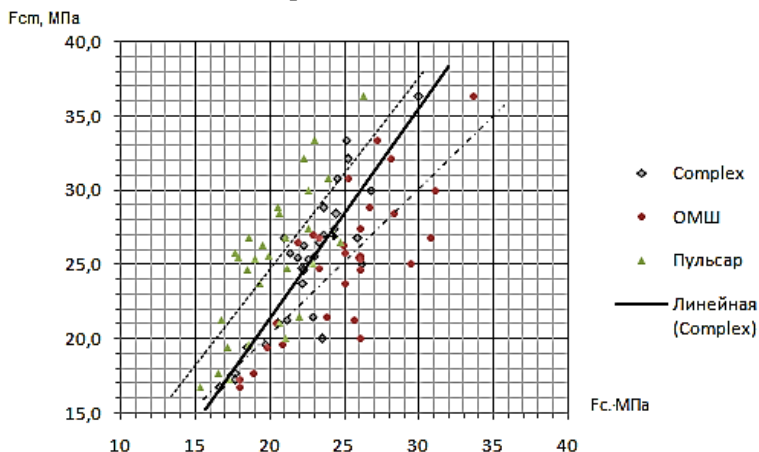


Рис. 4. Совмещенный график аппроксимирующих зависимостей

Выводы:

1. Анализ экспериментальных данных о прочности бетона, полученных при испытаниях бетонных образцов выявил некоторые закономерности распределения прочности в зависимости от методов неразрушающего контроля. Измеряемый косвенный параметр метода упругого отскока и метода ударного импульса является отображением комплекса физико-механических характеристик бетона, включая его прочность, характеристики упругости, вязкости и пластичности. Степень превалирования тех или иных характеристик бетона в полученном значении косвенного параметра зависит от ряда факторов, в первую очередь к ним относятся: энергия удара, масса индентора и площадь его взаимодействия с бетоном. Указанные физико-механические характеристики, их соотношения различны для бетонов разных составов и технологий, в силу чего и оценки «качества» бетона, полученные ударными методами приобретают неопределенность.

2. Сужение диапазона неопределенности методов индентирования может быть достигнуто тремя путями. Первый – традиционное использование набора градуировочных зависимостей и поправочных коэффициентов, учитывающих изменения состава и технологии бетона. Второй – селекция механических характеристик бетона использованием более «тонких» методик измерения, третий - организацией комплекса, с включением в измерительный комплекс методов обладающих разной степенью чувствительности к механическим характеристикам бетона, например ультразвукового импульсного метода.

3. В сравнении с механическими методами, оценки прочности бетона ультразвуковым методом подвержены в большей степени влиянию различных факторов, включая и технологические: изменения состава бетонной смеси, нестабильности качества её уплотнения, изменений условий твердения, возраста бетона. Это не позволяет использовать данный метод (вне комплекса с другими) для контроля прочности бетона неизвестного состава.

4. Комплексный метод неразрушающего контроля прочности бетона монолитных железобетонных конструкций на основе использования стандартизированных методов контроля обеспечивает снижение остаточной среднеквадратической погрешности измерения фактической прочности бетона до значений 14...19 %,

что на 5...8 % ниже этого показателя для каждого из используемых методов в отдельности.

Список литературы

1. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 462 с.
2. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писаненко. – М.: Изд. литературы по строительству, 1971. – 206 с.
3. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.01.2016. – Мн., Минстройархитектуры, 2012.-48 с.
4. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-87. – Введ. 01.01.88. – Мн., 1988. – 28 с.
5. Дещенко, Г.И. Использование СВЧ излучения переменной частоты для измерения толщины бетонных конструкций / Г.И. Дещенко // Дефектоскопия. – 1998. - № 10. – С. 26-28.
6. Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
7. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012. – Введ. 01.01.2013. – Минск: Минстройархитектуры, 2013. – 22 с.
8. Коревицкая, М.Г. Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций / М.Г. Коревицкая. – М.: Высшая школа, 1993. - 76 с.
9. Лещинский, М.Ю. Испытание бетона: справочное пособие / М.Ю. Лещинский. – М.: Стройиздат, 1980. – 358 с.
10. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев [и др.], под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 347 с.
11. Фурса, Т.В. Неразрушающий электромагнитный метод дефектоскопии изделий из диэлектрических материалов/ Т.В. Фурса // Дефектоскопия. – 2003. №10. - С. 27-32.
12. Фурса, Т.В. Неразрушающий электромагнитный метод контроля взлетно-посадочной полосы / Т.В. Фурса, И.Н. Хорсов, А.А. Беспалько // Дефектоскопия. – 2004. - №4. - С. 30-34.