

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА»

ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
С.Н. Ковшар
«20» 06 2022г

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание степени магистра технических наук

«Неразрушающий контроль монолитного железобетона»

Специальность 1-70 80 01 "Строительство зданий и сооружений"

Магистрант
Руководитель
д.т.н., профессор


А.А. Абдулкадер

С.Н. Леонович

А.А. Абдулкадер

С.Н. Леонович

Минск 2022

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.

Обеспечение проектного срока безаварийной эксплуатации монолитных конструкций и сооружений, и возможность его продления в значительной мере определяется качеством выполнения бетонных работ при их возведении, а также достоверностью информации о текущем состоянии конструкций, особенно в случаях экстремальных воздействий или по истечении значительного эксплуатационного периода. Возрастающую роль в качестве основы производственно-технологического контроля приобретают в настоящее время оперативные неразрушающие методы определения прочностных показателей бетона.

Вводимые в действие новые нормативы [12,33] рассматривают неразрушающие методы определения прочности бетона в конструкциях в качестве основы системы обеспечения качества бетонных работ. Речь идет о сплошном технологическом контроле изготавливаемых железобетонных изделий. Сильной стороной неразрушающих методов испытаний является возможность их многократного применения на одном и том же изделии. Они могут использоваться как на ранних стадиях его твердения - при оценке распалубочной прочности [28,44,51,54] 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 [50]. Не менее важна роль неразрушающего контроля при обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений, особенно

эксплуатируемых в условиях динамических нагрузок, а также при выполнении работ связанных с реконструкцией.

Несмотря на постоянно расширяющийся перечень приборных средств неразрушающего контроля бетона, степень их применения в производственных условиях строительства остается низкой. Одной из причин является невысокая степень доверия к получаемым неразрушающими методами оценкам прочности бетона. Не способствует доверию и наблюдаемые различия оценок, полученных разными неразрушающими методами испытаний [36,41].

В задачах оценки состояния бетона возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций можно выделить два взаимосвязанных аспекта: метрологический, включающий в себя вопросы выбора физических принципов контроля прочностных параметров бетона, их технической реализации; и нормативный аспект, включающий вопросы методик проведения испытаний и выбора оценочных критериев. Последние полтора - два десятилетия на мировом рынке наблюдается стабильное расширение номенклатуры приборов неразрушающих испытаний бетона по «традиционным» стандартизированным методикам определения его прочностных показателей, обладающих улучшенными метрологическими и пользовательскими качествами, - с элементами автоматизированной обработки данных и их визуализации. Появились приборы, реализующие новые методы испытаний: низкочастотной ультразвуковой томографии, акустической эмиссии, спектральных акустических методов. Появились предложения приборной техники нового направления диагностики – долговременного автоматизированного мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений. Но, несмотря на это, заметного качественного прогресса в улучшении точности и достоверности оценки прочностных показателей бетона неразрушающими методами возводимых и эксплуатируемых конструкций не произошло. Основной причиной этого является, на наш взгляд, отставание методического и нормативного обеспечения контроля от потенциальных возможностей новой приборной техники.

Несущая способность конструкций при их совместной работе, определяется не только прочностью бетона, но и его упругими свойствами [3,53]. Параметры упругости бетона в существующей системе расчетов железобетонных конструкций принимаются исходя из класса бетона по прочности, что вносит дополнительный фактор неопределенности в расчеты. В настоящее время этот вопрос остается вне поля зрения конструкторов и технологов, чему способствует практически полное отсутствие его нормативной регламентации, а также отсутствие адаптированных к построечным условиям методик определения упругих модулей бетона.

Специфичной проблемой в практике неразрушающего контроля железобетонных конструкций в Республике Беларусь является несогласованность действующих в республике нормативов и вводимых в действие нормативов стран Евросоюза, регламентирующих методики и критерии отнесения бетона контролируемой конструкции к тому или иному классу по прочности. На основе большого объема данных натурных испытаний монолитных конструкций в работе выполнен анализ введенного в 2009 году СТБ EN 13791-2012 и его сопоставление с действующими СНБ 5.03.01-02 [9], СТБ 1544-2005 и СТБ 2264-2012 [33]. Результаты работы были использованы в разработке проекта стандарта предприятия «Контроль неразрушающий. Методика выполнения измерений. Контроль прочности бетона в строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях ультразвуковым методом».

Железобетон не теряет позиций основного конструкционного материала и в высотном строительстве. Спецификой высотного строительства является использование облегченных железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов и конструкций с использованием предварительного напряжения арматуры, что дополнительно ужесточает требования к прочностным показателям используемого бетона. Важным и обязательным условием обеспечения качества высотного строительства является его научно-техническое сопровождение, основной компонент которого - мониторинг состояния несущих конструкций здания в процессе строительства и в период эксплуатации. К настоящему времени в Республике Беларусь уже накоплен некоторый опыт научного сопровождения

строительства уникальных и высотных объектов. Такие работы выполнялись при строительстве Национальной библиотеки Беларуси, спортивного комплекса "Минск-Арена" высотных зданий на проспекте Победителей 9 в г. Минске, на строительной площадке Бушерской атомной станции (Исламская Республика Иран) и БелАЭС. Результаты этих работ нашли отражение в предлагаемой книге.

Выполненные авторами работы, включая натурные испытания бетона в рамках мониторинга монолитных бетонных изделий строительных объектов г. Минска в период с 2005 г. по 2015 г., позволили накопить обширный фактический материал испытаний бетона различными неразрушающими методами и, на основе его анализа, сформулировать ряд рекомендаций для оперативного технологического контроля состояния монолитных изделий на различных стадиях их твердения.

Представлен обзор и анализ перспективных методик неразрушающего определения прочностных показателей бетона в конструкциях. Рассматриваются критерии соответствия бетона конструкций классу по прочности. Даны рекомендации для совершенствования нормативной базы неразрушающих испытаний бетона в конструкциях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко, С.Л. Корреляционный метод определения скорости распространения акустической волны в крупногабаритных компактных изделиях из бетона / С.Л. Авраменко // Дефектоскопия. 2009. № 1. – С. 54-67
2. Акустическая эмиссия материалов и конструкций: материалы 1 Всесоюзной конференции, Ростов-на-Дону. Часть I / Ростовский университет; под ред. И.И. Воровича. – 1989. – 161 с.
3. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 462 с.
4. Бакиров, М.Б. Феноменологическая методика определения механических свойств корпусных сталей ВВЗР по диаграмме вдавливания шарового индентора / М.Б. Бакиров, В.В. Потапов // Заводская лаборатория. Диагностика металлов. 2000. Т. 66. XII 12. – С. 35-44.
5. Бакиров, М.Б. Инструкция «Определение характеристик механических свойств металла оборудования атомных электростанций без образцовыми методами по характеристикам твердости»/ М.Б. Бакиров., В.В. Потапов, Г.О. Яровой [и др.]. РД 3О 0027-94, концерн «Росэнергоатом», Т. 1,2. – М., 1994. – 15 с.
6. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писаненко. – М.: Изд. литературы по строительству, 1971. – 206 с.
7. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Госстройиздат, 1961. – 96 с.
8. Бетон. Часть 1. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206-1-2011.
9. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
10. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.07.2013. – М.: 2013. – 30 с.
11. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690-88. – Введ. 01.01.91. – М.: 1991. – 22 с.

12. Бетоны. Правила контроля прочности: ГОСТ 18105-2010. – Введ. 01.09.12. – М.: 2010. – 16 с. 294
13. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-2012. – Введ. 01.01.2014. – М.: 2014. – 16 с.
14. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций: ГОСТ 28570-90 – Введ. 01.01.91. – М.: 1991. – 14 с.
15. Блещик, Н.П. Прогнозирование модуля деформации бетона на основе структурно-механической модели с учетом технологических свойств бетонной смеси / Н.П. Блещик // Вестник БГТУ, Строительство и архитектура. - 2002. - № 1(13). – С. 3-5.
16. Ботаки, А.А. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов/ А.А. Ботаки, В.Л. Ульянов, А.В. Шарко. – М.: Машиностроение, 1983. – 78 с.
17. Вайншток, И.С. Физические основы ультразвукового импульсного метода оценки прочности бетона / И.С. Вайншток // Бетон и железобетон. – 1969. - № 7. - С. 3-6.
18. Высотные здания. Строительные нормы проектирования. ТКП 45-3.02-108-2008.
19. Глухов, Н.А. Точечные источники ультразвука как инструмент контроля физико-механических свойств материалов / Н.А. Глухов // Дефектоскопия. – 1992. - № 8. - С. 49-51.
20. Головин, Ю.И. Наноиндентирование как средство комплексной оценки физико-механических свойств материалов в субмикроробъектах / Ю.И. Головин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009 - №5 , том 75, С 45-59.
21. Гринченко, В.Т. Гармонические колебания и волны в упругих телах / В.Т. Гринченко, В.В. Мелешко. – Киев: Наукова Думка, 1981. –284 с.
22. Губайдуллин, Г.А. Приборный комплекс оперативного контроля прочности бетона / Г.А. Губайдуллин // В мире неразрушающего контроля. –2002. - №2(16). – С.21-22.

23. Данилов, В.Н. Моделирование работы преобразователей с сухим точечным контактом в режиме возбуждения / В.Н. Данилов, А.А. Самокрутов // Дефектоскопия. –2004. - № 10. –С. 15–2.
24. Данилов, В.Н. О влиянии статического давления прямого преобразователя на направленность поля излучения / В.Н. Данилов // Дефектоскопия. –1986. - № 5. –С. 24–9.
25. Джонс, Р. Неразрушающие методы испытаний бетонов / Р. Джонс, И. Фэкзоару. – М.: Стройиздат, 1974. –295 с. 295
26. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: «Мир», 1989. –509 с.
27. Дзенис, В.В. Применение ультразвуковых преобразователей с точечным контактом для неразрушающего контроля / В.В. Дзенис. – Рига.: Изд. «Зинатне», 1987. –261 с.
28. Дзенис, В.В. Ультразвуковой контроль твердеющего бетона / В.В. Дзенис, В.Х. Ласпа. – М.: Стройиздат, 1971. –111 с.
29. Дубовой, Б.Ш. О комплексировании неразрушающих методов контроля свойств твердеющего бетона / Б.Ш. Дубовой // Бетон и железобетон. –1969. - № 7. - С. 27-28.
30. Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. –240 с.
31. Зайцев В.Ю. Амплитудно-зависимая диссипация в микронеоднородных средах с линейным поглощением и упругой нелинейностью / В.Ю. Зайцев, Л.А. Матвеев // Геология и Геофизика. – 2006. Т. 47, № 5. –С. 695-710.
32. Зубков, В.А. Новый метод определения прочности бетона / В.А. Зубков, И.В. Семерков, Е.В. Зубков // Бетон и железобетон. – 1993. - № 1. - С. 11-13.
33. Испытания бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012 – Введ. 01.01.2013. –Минск: Госстандарт, 2013. - 20 с.
34. Качанов, В.К. Проблемы ультразвукового контроля протяженных сложноструктурных изделий с большим затуханием сигналов / В.К. Качанов, И.В. Соколов // Дефектоскопия. –2007. - № 8. - С. 82-93.

35. Качанов, В.К. Многоканальный мультипликативный метод акустического контроля крупногабаритных компактных строительных конструкций из бетона / В.К. Качанов, И.В. Соколов // Дефектоскопия. –2008. - № 12. - С. 23-37.
36. Клевцов, В.А. Об определении изменчивости прочности бетона при испытании неразрушающими методами / В.А. Клевцов // РААСН. Вестник отделения строительных наук. –2000. –Вып.3. – С. 147.
37. Клевцов, В.А. Об организационно-технических проблемах НК прочности бетона / В.А. Клевцов, М.Г. Коревицкая // В мире неразрушающего контроля. – 2002. - №2(16). –С. 16-17. 296
38. Ковалев, А.В. Импульсный эхо-метод при контроле бетона. Помехи и пространственная селекция / А.В. Ковалев, В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов // Дефектоскопия. –1990. - № 2. - С. 29-41.
39. Козлов, В.Н. Контроль бетона ультразвуковым эхоимпульсным томографом с сухим контактом / В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин // Контроль. Диагностика. – 1998. –№1. –С. 49-51. 40. Коноплев, С.Н. Организация контроля прочности бетона монолитных конструкций по образцам / С.Н. Коноплев // Технологии бетонов. –2015. - № 5-6. –С.42-45.
41. Коноплев, С.Н. Снова о доминирующем методе контроля прочности бетона монолитных конструкций / С.Н. Коноплев // Технологии бетонов. –2015. - № 1-2. – С.44-46.
42. Коноплев, С.Н. Проблемы применения стандартов на бетоны нового поколения на практике / С.Н. Коноплев // Технологии бетонов. –2014. - № 7. –С.8-10.
43. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры: ГОСТ 22904-93 –Введ. 01.01.95. –М.: 2010. –11 с.
44. Коревицкая, М.Г. Контроль прочности монолитного бетона неразрушающими методами в раннем возрасте / М.Г. Коревицкая, В.Н. Артамонова, Т.Ю. Лапенис // Бетон и железобетон. –1993. - № 1. - С. 27-28.
45. Коревицкая, М.Г. Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций / М.Г. Коревицкая. –М.: Высшая школа, 1993. - 76 с.

46. Кравцов, В.Н. Неразрушающий контроль прочности и качества конструкций из «обезличенного» бетона и грунтобетонных свай в эксплуатируемых и строящихся зданиях / В.Н. Кравцов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы второй международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 2002. –С. 146-152.
47. Кузнецов, А.П. Нелинейные колебания: Уч. пособие для вузов / А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин. –М.: Изд. ф.-м. литературы, 2002. –292 с.
48. Ланге, Ю.В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций / Ю.В. Ланге. –М.: Машиностроение, 1991. – 270 с. 297
49. Лебедев А.В. Нелинейная акустическая спектроскопия локальных дефектов в геоматериалах / А.В. Лебедев, Л.А. Островский, А.М. Сутин / Акуст. журн., 2005, т. 51, Приложение, с. 115-129
50. Леонович, С.Н. Результаты мониторинга прочностных характеристик монолитных бетонных плит на основе неразрушающих методов контроля / С.Н. Леонович, Д.Ю. Снежков, В.С. Мулярчик // Вестн. Брестск. гос. техн. ун-та. Часть 2, Строительство и архитектура. - 2004. - С. 115-121.
51. Леонович, С.Н. Мониторинг прочностных характеристик монолитных бетонных плит основания неразрушающим экспрессконтролем / С.Н. Леонович, Д.Ю. Снежков, В.С. Мулярчик // Технология строительства и реконструкции: проблемы и решения: сб. науч. тр. междунар. конф. TCR-2004, посвященной 85-летию БНТУ, том 1; под ред. Б.М. Хрусталева. - Минск, 2006 . - С. 188-195.
52. Лещинский, М.Ю. Испытание бетона: Справочное пособие / М.Ю. Лещинский. –М.: Стройиздат, 1980. –358 с.
53. Лужин, О.В. Неразрушающие методы испытания бетона / О.В. Лужин, В.А. Волохов, Г.Б. Шмаков [и др.]. –М., Стройиздат, 1985. - 177 с.
54. Марковский, М.Ф. Технология ранней распалубки монолитных перекрытий каркасных зданий / М.Ф. Марковский Г.А. Туровец // Строительная наука и техника. –2005. - №2. –С. 43-49.

55. Маслов, Б.Я. Измерение энергии и амплитуды импульсов АЭ сигналов / Б.Я. Маслов, В.А. Коротеев, А.Е. Стецюк // Дефектоскопия .- 2005. № 6. –С 17-21.
56. Матюнин, В.М. Оперативная диагностика механических свойств конструкционных материалов: пособие для научных и инженерно-технических работников / В.М. Матюнин –М.: Изд. дом МЭИ. 2006. –216 с.
57. Мацулевич, О.В. Применение прибора ИПБ-1Б для неразрушающего контроля прочности бетона / О.В. Мацулевич // Технологии бетонов. –2014. - № 7. –С.12-13.
58. Мацулевич, О.В. Повышение достоверности определения физико-механических свойств упругопластических материалов методом динамического индентирования: автореф. дис. ... канд. техн.наук : 05.11.13 / О.В. Мацулевич. – Минск, 2014. –21 с. 298
59. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. ГОСТ 22761-77, дата актуализации: 15.10.2015
60. Механика контактных взаимодействий / С.М. Айзикович [и др.]; под ред. И.В. Воровича и В.М. Александрова. – М.: Физматлит, 2001. –670 с.