

ДОСТОВЕРНОСТЬ И МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ

Добшиц Л.М.¹, д.т.н., проф., Клибанов А.Л.², заместитель директора,
Белов А.В.², инженер

¹ *Московский государственный университет путей сообщения
(МИИТ), Россия*

² *ООО «Строймат и К», Москва, Россия*

Опыт показывает, что в практике строительства возникают дефекты, устранение которых требует больших финансовых, трудовых, временных и материальных затрат. При этом также значительно снижаются эксплуатационные качества сооружений, и требуется проведение текущих и капитальных ремонтов в более ранние сроки. Кроме того, видимые и скрытые дефекты, даже незначительные по своим размерам, но развивающиеся во времени и своевременно не устраненные, могут вызвать серьезные повреждения и ослабления несущих конструкций и быть причиной обвалов, аварий зданий и сооружений, больших убытков и даже несчастных случаев.

Важнейшей стороной обеспечения требуемого качества строительства является его научно-техническое сопровождение, одна из форм которого - эффективный контроль качества изготавливаемых конструкций. Достаточно важной задачей повышения качества строительства является контроль выполнения монолитных работ, важнейшей контролируемой характеристикой которого является расчетное сопротивление бетона сжатию. На сегодняшний день существует множество методов разрушающего и неразрушающего контроля определения прочности бетона [1]. Данные методы могут применяться как по отдельности, так и в сочетании с другими. Основными методами контроля считаются: кубиковая прочность; ударный импульс; упругий отскок; ультразвуковое поверхностное и сквозное прозвучивание; скалывание ребра; отрыв стального диска; отрыв со скалыванием; выбуривание кернов. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки.

Первый метод определения прочности бетона по испытанию образцов (кубиковая прочность) существует с давних времен и, на сегодняшний день, применяется, чаще всего, для контроля строительной организацией бетонного завода, который поставляет бетонную смесь

на строительную площадку. Основным методом определения прочности бетона в лабораторных условиях в настоящее время является испытание бетонных образцов (кубов) по ГОСТ 10180 [3]. Этот метод, будучи прямым испытанием, в тоже время является необходимым, но недостаточным, т.к. при получении положительных результатов свидетельствует только о возможности получения заданной прочности бетона, не гарантируя, в тоже время, что такую же прочность будет иметь бетон в конструкции (рис. 1.).



Рис. 1. Определение прочности бетона прямым испытанием образцов

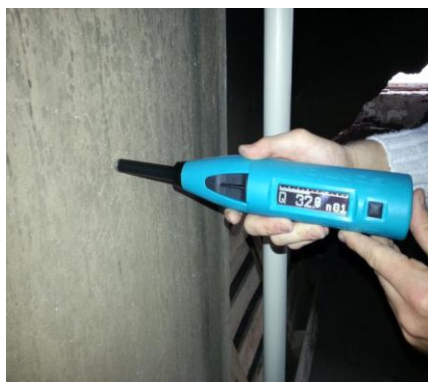


Рис.2. Определение прочности бетона методами ударного импульса и упругого отскока

Остальные методы, кроме выбуривания кернов, являются неразрушающими методами контроля прочности бетона, базирующихся на разных принципах работы и различных измерительных приборах.

Методы ударного импульса и упругого отскока получили достаточно большое применение при контроле прочности бетона тонкостенных и мало массивных конструкций (рис. 2.). Современные приборы: молотки ударного действия – склерометры и «ИПС» (измеритель прочности стройматериалов) могут применяться не только для бетонных конструкций, но также и для кирпичных изделий, цементно-песчаных стяжек, растворов. Данные методы имеют достаточно большой диапазон измерений (10-70 МПа) и могут применяться для высокопрочных бетонов. К основному недостатку методов ударного импульса и упругого отскока относится трудоемкость в определении прочности массивных конструкций - фундаментных плит и перекрытий. Данные методы позволяют производить определение прочности только поверхностных слоёв бетона. Поэтому возможные дефекты его внутренней

структуры, а, следовательно, пониженная, по сравнению с поверхностной, прочность нижележащих слоёв не может быть выявлена.

Также, при определении прочности бетона плит перекрытия, большое затруднение вызывает шероховатость поверхности конструкции, которую требуется шлифовать.

При определении прочности методом отрыва со скалыванием (рис. 3.) допускается использовать универсальную градуировочную зависимость, в которой изменяются всего два параметра: коэффициент, учитывающий крупность заполнителя а также тип бетона: тяжелый либо легкий. В частности, эти методы нормированы и используются во многих странах, в том числе, в Беларуси [4], [5].



Рис.3. Определение прочности методом отрыва со скалыванием



Рис.4. Определение прочности бетона ультразвуковым методом

Достаточно большое распространение получил ультразвуковой метод (рис. 4.). Данный метод является наиболее молодым и начал использоваться лишь в 60-х годах прошлого века. Он основан на использовании зависимости скорости прохождения ультразвуковой волны в бетоне от его структуры (плотности). Метод ультразвукового прозвучивания [6] позволяет, в отличие от всех остальных неразрушающих методов, позволяет контролировать прочность не только в приповерхностных слоях бетона, но и в теле бетона конструкции (как минимум до 50 мм). Данный метод считается косвенным, поэтому применение его отдельно не допускается. Для определения прочности бетона, совместно с ультразвуковым методом применяется отрыв со скалыванием - прямой метод. Привязка прямого и косвенного методов производится путем параллельных испытаний участков конструкций, имеющих минимальные и максимальные значения скорости ультразвука. Тем самым, получается наиболее достоверная зависимость между двумя характеристиками: скоростью прохождения ультразвуковой волны и усилием вырыва.

К сожалению, ультразвуковой метод нельзя назвать универсальным, потому что на результат влияет достаточно много факторов, одновременное воздействие которых трудно учесть: состав бетона, крупность заполнителя, влажность, инородные включения, насыщенность конструкции стальной арматурой или фиброй. Кроме этого, данный метод, в сравнении с другими рассмотренными методами, не позволяет с достаточной степенью надёжности использовать его для контроля высокопрочных бетонов (классов более В 45) [10].

В настоящее время широкое распространение получил метод отрыва со скалываем [7]. Методика определения прочности состоит в том, что в бетоне сверлится отверстие, куда в последующем вставляется анкер, присоединяется прибор с манометром, и вращением рукоятки прибора производят вырыв данного анкера. По усилию, необходимому для вырыва анкера из бетона производится определение прочности бетона. Расстояние от анкерного устройства до грани конструкции должно быть не менее 150 мм, а от места установки соседнего анкера не менее 250 мм. Достаточно большим преимуществом и недостатком данного метода является, что процесс определения прочности происходит напрямую в конструкции. С одной стороны мы получаем наиболее объективную информацию о прочности, с другой вызываем ослабление поперечного сечения. В [7] указывается размер длины анкера, который необходимо выбирать в зависимости от предполагаемой прочности бетона. При ожидаемой прочности более 50 МПа, выбирается короткий анкер, длиной 30 мм, а при прочности менее 50 МПа - длинный анкер, длиной 48 мм. В первом случае, результат прибора в дальнейшем умножается на внутри серийный коэффициент 2,5 или 2,7 (в зависимости от условий твердения бетона), во втором случае - на 0,9 или 1,1, соответственно. Практика лабораторного сопровождения показывает, что коэффициенты, учитывающие условия твердения бетона (естественное или тепловая обработка) имеет большую степень относительности, и результат прочности бетона, получается, чаще всего, завышенным. Также, достаточно неизученным является вопрос влияния арматуры (как напряжённой, так и обычной), находящейся рядом с анкером в процессе испытания. Зачастую, при проведении испытания данным методом, схема разрушения поверхности бетона происходит по ячейке армирования и снова возникает вопрос о достоверности данного результата.

Менее распространенными методами являются отрыв стального диска и скалывания ребра. Принцип проведения данных методов аналогичен методу отрыва со скалыванием и мало используется на строительных объектах.

Редко применяемым и малоизученным методом остается огнестрельный метод. По этому методу прочность бетона оценивается от объема разрушенного бетона после выпущенной в него пули из пистолета. На конструкции выбирается участок размером 300x300 мм, в дальнейшем в этот участок выпускается три пули. После соприкосновения пули с бетоном, часть бетона разрушается и на поверхности конструкции остается воронка, которая в дальнейшем заполняется герметичным материалом, например пластилином. Оценка прочности бетона происходит по результатам параллельных испытаний образцов-кубов на огнестрельную нагрузку, и дальнейшим их испытанием на центральное сжатие на прессе. Данный метод сравнительно точный, потому что основан на прочностных характеристиках бетона, хотя и мало изученный.

К основному виду разрушающего контроля относят метод определения прочности по образцам, выбуренным из конструкций (кернам) [8]. Главным преимуществом является полноценная картина структуры того участка бетона, где происходит выбуривание образца, т.к. все методы, изложенные выше, в том числе и метод отрыва со скалыванием, не дают представления о внутренней структуре бетона. Благодаря методу выбуривания кернов появляется возможность контроля массивных конструкций, где вопрос внутреннего состояния бетона является достаточно актуальным. Достаточно часто, его используют при разрешении спорных ситуаций по контролю качества бетона на строительных объектах. Порядок проведения работ по данной методике достаточно прост: на конструкции выбираются участки, предположительно с наименьшей прочностью, определяется положение арматурных стержней, закрепляется установка, происходит выбуривание керна (рис. 5.). В дальнейшем, полученный kern распиливают на образцы, имеющие высоту не менее 0,85 диаметра керна, выдерживают семь суток в камере нормального твердения, проводят торцевание поверхностей и испытывают на сжатие (рис. 6.). Значение класса бетона для конструкции определяют по результатам испытаний трёх кернов. К сожалению, данный метод имеет следующие недостатки: трудоемкость проведения работ (большие габариты установки); локальное разрушение конструкции; концентрация внутренних напряжений, в местах выбуривания кернов, что может повлечь появление трещин; наличие внутреннего коэффициента вариации 13,5%, который следует учитывать при расчете класса бетона; зачастую невозможно определить среднюю прочность участка, так как значения прочности верхних и нижних слоев керна испытанных образцов имеют большую разницу, иногда более чем в два раза.



Рис.5. Выбуривание образцов из конструкций



Рис.6. Керны, распиленные на образцы и подготовленные к испытаниям

Нами также проводилось определение прочности бетонов железобетонных трамвайных плит (рис.7.). Исследования проводили ультразвуковым методом и испытанием выбуренных кернов. Отобранные образцы-керны распиливались по высоте на три части, и каждая часть испытывалась как отдельный образец. Полученные результаты показали сильную неоднородность бетона, как по разным участкам плит, так и по их высоте, и, как следствие, различную прочность, водонепроницаемость и морозостойкость.

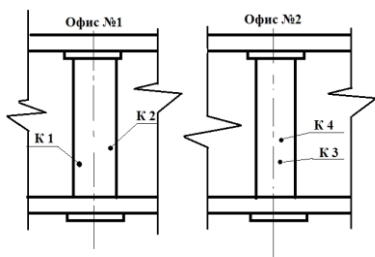


Рис.7. Образцы для определения прочности бетонов железобетонных трамвайных плит



Рис. 8. Схема колонн с указанием мест выбуривания кернов

Опыт лабораторного сопровождения строительных объектов показывает, что наибольшую эффективность в получении достоверных результатов можно достичь одновременным использованием двух или трех методик.

Одним из таких примеров является трехступенчатый контроль бетона, проводившийся нами при определении прочности бетона на объектах «Москва-Сити». В ходе работ, определена система контроля высокопрочных бетонов. Особенностью системы является трехуровневый контроль, позволяющий определить свойства бетона, находящегося в разном агрегатном состоянии: от пластичного до затвердевшего. Первой стадией контроля, является входной контроль, при котором инженер-лаборант производит приемку бетонной смеси на строительной площадке: определяется удобоукладываемость бетонной смеси, отбираются образцы-кубы. На следующем, втором этапе, производится построение градуировочной зависимости в соответствии со схемой «А» ГОСТ 18105-2010. В результате, отобранные на объекте образцы-кубы бетона испытывают не только сжатием на прессе, но и склерометром. Полученная градуировочная зависимость дает возможность определять прочность бетона на объекте, не производя отрывов со скалыванием, тем самым не нарушая целостности конструкций и получая более точный результат. Третьей стадией контроля является выбор конструкций, имеющих наименьшее значение прочности, и испытание их дополнительным третьим методом – выбуривание кернов, с последующим испытанием их на прессе. Благодаря чему, появляется возможность не только проверки методики контрольным, третьим методом, но и исключение влияния на результат такого фактора, как концентрация напряжения арматуры в местах испытаний [1].

К вопросу выбора оборудования, дающего наиболее достоверный результат прочности, обращались инженеры «БелдорНИИ» [4]. Были выбраны приборы неразрушающего контроля, наиболее часто используемые при лабораторном сопровождении бетонных работ в мостостроении: ударного импульса (ИПС- МГ4.01, Оникс 2.3), упругого отскока (молоток Шмидта), ультразвуковой (Пульсар 1.0), отрыва со скалыванием (ПОС-50МГ4). Концепция исследования состояла в анализе погрешности приборов, применяемых в строительстве. Методика анализа в лабораторных условиях включала 3 метода: испытание образцов-кубов 100x100; испытание кернов, выбуренных из элементов 500x500x130; испытание приборами неразрушающего контроля, перечисленных выше. Наибольшую погрешность измерения показал прибор ПОС-50 МГ4 – 35,1%, вместо 2%, заявленных производителем, наименьшую Оникс 2.3- на 0,8% ниже заявленной производителем. В исследованиях [4] установлено, что проценты погрешностей при определении прочности бетона методом упругого отскока, полученные на натуральных объектах и в лабораторных условиях, можно считать одинаковыми, при этом они существенно отличаются от заявленных произ-

водителем. Из этого следует, что данные, полученные с помощью приборов schmidt-hammer original серии N и NR требуют, доработки с последующей корректировкой зависимостей. Практически все приборы неразрушающего контроля прочности бетона, имеют погрешности измерений, отличающиеся от погрешностей, заявленных производителями (табл.1.). Наиболее достоверные данные для приборов получены при определении прочности бетона методом ударного импульса. На основании результатов исследований установлено, что при определении прочности бетона любым методом для каждого прибора неразрушающего контроля существует необходимость построения откорректированных корреляционных зависимостей и установления коридоров погрешностей независимо от данных, заложенных в приборе производителем. Также выявлены ограничения в использовании приборов неразрушающего контроля прочности бетона.

Таблица 1- Соотношение погрешности измерений приборов при лабораторном и полевом контроле прочности бетона

№ п/п	Приборы НК	Погрешность измерения, %		Заявленная производителем	Разность полевых и лабораторных испытаний, %
		Полевых	Лабораторных		
1	Оникс 2.3	-	7,2	8	-
2	ИПМ-1Б	25,4	10,9	8	57
3	ИПС-МГ4.03	31,0	12,5	8	60
4	ИПС-МГ4.01	8,2	16,3	10	50
5	Оникс 2.5	12,6	16,6	8	24
6	Молотокschmidt-hammer original N	29,8	24,4	20	18
7	Пульсар 1.0*	-	27,7	1	-
8	Молотокschmidt-hammer original NR	31,4	29,3	20	7
9	ПОС-50МГ4	56,0	35,1	2	37

* «-»- исследование для данного метода не производилось

Достаточно актуальным является вопрос выбора методики испытаний бетона в зимнее время. Такие факторы, как высокая влажность и низкая температура воздуха, наличие льда на поверхности конструкции, а порой и в самом теле конструкций, некачественный прогрев бетона вызывающий промораживание отдельных участков и слоев бетона

конструкций, недостоверные показания приборов и множество других факторов создают проблемы для лаборатории.

На результаты определения прочности бетона большое влияние оказывает технология бетонирования, в частности безобогревный способ с использованием противоморозных добавок. Так, при использовании добавки поташа в качестве компонента противоморозной добавки твердение бетона при отрицательной температуре без обогрева происходит в три стадии [9].

На первой стадии, после затворения цемента раствором добавки поташа, начинается взаимодействие минералов цемента не только с водой, но и с растворённым в ней поташом.

На второй стадии одновременно протекают два процесса: с одной стороны продолжается гидратация и твердение цемента; с другой стороны происходит распад соединений, образовавшихся при взаимодействии минералов цемента с поташом. В частности, арагонит — нестабильная фаза карбоната кальция, видоизменяется до тригонального кальцита. Трансформации арагонита в кальцит сопутствует увеличение объёма минерала. Такая метаморфоза карбонатов и других соединений, содержащих CO_3^{2-} , в сформированной структуре цементного камня приводит к возникновению в нём внутренних напряжений и его частичному разрушению. Протекающие на этой стадии одновременно два процесса — структурообразование, при продолжающейся гидратации цемента, и деструкция ранее сформированного цементного камня, имеющего в своей структуре соединения, содержащих $[\text{CO}_3^{2-}]$, приводят сначала к замедлению, а затем к прекращению роста прочности твердеющего цементного камня.

На третьей стадии заканчивается распад арагонита и других нестабильных соединений, образовавшихся при реакциях минералов цементного клинкера с поташом, и продолжается гидратация и твердение цемента. В связи с этим возобновляется рост прочности цементного камня, замедляющийся к 28...90 суткам твердения. Деструктивные процессы, имевшие место на второй стадии твердения, оказывают негативное воздействие на прочность цементного камня, не только замедляя темп роста прочности, но и снижая конечную прочность затвердевшего цементного камня.

В связи с этим при определении прочности бетонов с противоморозными добавками большое значение имеет возраст испытуемого бетона. Наши исследования показывают, что колебания прочности бетона во время второй-третьей стадии твердения достигают 15...20%.

Ключевыми задачами лаборатории в таких условиях являются уменьшение трудоемкости работ и получение достоверного результата прочности бетона.

Лабораторией ООО «Строймат и К» проведена работа по выбору оптимальной методики работ для испытаний бетона в зимнее время. На строительном объекте производился сплошной неразрушающий контроль прочности монолитных железобетонных конструкций. Двадцати пяти этажное здание представляет собой рамно-связевый каркас, основными несущими элементами которого являются колонны, плиты перекрытия, лифтовые шахты. Проектный класс бетона конструкций В40, В50, армирование - густое.

Расчет прочности бетона производился по схеме В, ГОСТ 18105-2010, с учетом однородности бетона. За основу принималась градуировочная зависимость: «отрыв со скалыванием – ультразвуковое прозвучивание». В расчет принято, что основной косвенный показатель прочности- это скорость прохождения ультразвука, основанная на прямом методе - отрыва со скалыванием.

Учитывая высокую относительность показаний приборов в зимнее время, было принято решение проверить прочность вторым методом.

Методика испытаний состояла следующая: поиск на поверхности конструкции двух участков с равными значениями прохождения ультразвуковой волны, проведение в данных местах отрывов со скалыванием, а также проведение в данных точках выбуривания кернов в соответствии с «ГОСТ 28570-90». Благодаря чему, получилось определить места с похожей структурой бетона и равной густотой армирования. Для исследования были выбраны 2 колонны круглого сечения (рис. 8). Их характеристики: $d=800$ мм; проектный класс бетона В50; - шаг арматуры в продольном и поперечном направлении не более 100 мм; диаметр арматуры 32.

Отобранные образцы осматривались на предмет наличия арматуры, следы недоуплотнения, поры, раковины. Отклонения от плоскости опорных поверхностей образцов, допущенных к испытаниям, не превышали допустимых величин по ГОСТ 10180. Перед испытанием, образцы взвешивались, для определения их средней плотности. В дальнейшем производилось сравнение результатов определения прочности, полученных методом отбора образцов из конструкций, методом отрыва со скалыванием и методом, основанном на построении градуировочной зависимости. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение результатов прочности

№ кер-на	№ образца керна после распила	Ультразвук		Значение отрыва		Прочность керна, МПа	Разница показаний «ультразвук-керна», %
		Скорость, м/с	Прочность, МПа	Усилие отрыва, Кг/см ²	Прочность МПа		
К1	1.1	4220	50,0	1701	45,0	42,8	14
	1.2						15
К2	2.1	4080	47,1	1869	49,5	-*	-*
	2.2						37
К3	3.1	4010	45,8	1835	48,6	32,8	28
	3.2						41
К4	4.1	4240	50,4	1724	45,6	30,7	39
	4.2						36

* Керна не соответствовал требованиям ГОСТ 28570.

Как видно из сравнения результатов, показатель фактической прочности двух методов в результате расходится на 14...41%. Данный фактор оказывает влияние на выбор методики, дающей наиболее точный результат.

Выводы

1. Вопрос выбора методики, в соответствии с которой необходимо проводить контроль прочности бетона различных конструкций, является весьма актуальным и ещё не решенным.
2. Выбор оборудования, как и методики для определения прочности бетона не может быть универсальным для каждого объекта строительства.
3. Вне зависимости от выбранной методики неразрушающего контроля, следует учитывать, что приборы контроля имеют большую погрешность, поэтому требуется не только строить градуировочные зависимости, но и производить контрольную проверку вторым методом.
4. Необходимо проведение исследований, направленных на разработку рекомендаций по применения различных методов неразрушающего контроля прочности бетонов, учитывающих не только характеристики материала конструкции и технологию их возведения, но и относительность существующих методик и погрешность приборов.

Summary

There were discussed methods for determining the strength of concrete in structures and their reliability.

1. «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности»: ГОСТ 18105-2010 / Госстрой России. – М.: Стандартиформ, 2010. -13 с.
2. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012 / Госстрой России. – М.: Стандартиформ, 2013. -31с.
3. Берестевич М.Л./ Неразрушающий контроль прочности бетона в мостостроении/ [Текст] Берестевич М. Л., Осадовский А.Л. //Мир дорог -2014. -№9. -с.22...27.
4. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012 Госстандарт Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 20 с.
5. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-2012/ Госстрой России. – М.: Стандартиформ, 2012. -16с.
6. Бетоны. «Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля»: ГОСТ 22690-88 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
7. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций: ГОСТ 28570-90 / Госстрой СССР. –М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 13 с.
8. Добшиц Л.М. Обеспечение качественного бетонирования конструкций методом скользящей опалубки. [Текст]/ Добшиц Л.М., Швецов Н.В. // Проблемы монолитного строительства и пути их решения. Сб. докладов к н.-пр. конференции. –М.: НИИМосстрой. 2014. С. 118...130.
9. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества: ГОСТ 31914-2012/ Госстрой СССР. -М.: Стандартиформ, 2014. - 18с.