

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Ковшар С.Н.**, канд. техн. наук, доцент, **Мехди Хормози**, аспирант (БНТУ)

**Аннотация.** Рассмотрены методы контроля прочности бетона, при которых последний не теряет свои эксплуатационные качества и не нарушается целостность изделия. Выявлена и обоснована необходимость использования неразрушающих методов контроля прочности. Экспериментально обосновать возможность использования методов основанных на упругом отскоке и ударном импульсе для оценки прочности длительно-эксплуатируемых железобетонных конструкций.

При определении прочности бетона с помощью методов неразрушающего контроля необходимо учитывать, что все методы являются косвенными. Выделить какой-то один метод нельзя, все они обладают своими достоинствами, недостатками и ограничениями в применении. Как правило, лаборатория оснащена приборами неразрушающего контроля, позволяющими использовать все методы. Наиболее весомым фактором, определяющим метод и средства измерения и контроля, является предельно допустимая погрешность измерений. Так же немаловажно удобство проведения работ, простота обработки результатов. Основой неразрушающих методов являются косвенные характеристики, такие как отпечаток на бетоне; энергия, затраченная на удар; напряжение, приведшее к местному разрушению бетона. Рассмотрим подробнее часто применяемые методы неразрушающего контроля для основных строительных материалов.

*Методы местных разрушений.* Это самые точные из методов неразрушающего контроля прочности, поскольку для них допускается использовать универсальную градуировочную зависимость, в которой изменяются всего два параметра: крупность заполнителя, которую принимают равной 1,0 при крупности менее 50 мм и 1,1 при крупности более 50 мм; тип бетона – тяжелый либо легкий.. К недостаткам метода следует отнести также невозможность использования в густоармированных и тонкостенных конструкциях.

*Методы ударного воздействия на бетон.* Самый распространенный метод контроля прочности бетона из всех неразрушающих - метод ударного импульса. Метод ударного импульса заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент соударения бойка с поверхностью бетона. Приборы, использующие данный метод, отличаются небольшим весом и компактностью, а определение прочности бетона методом ударного импульса является достаточно простой операцией. Результаты измерений выдаются в единицах измерения прочности на сжатие. Также с их помощью можно определять класс бетона, производить измерение прочности под различными углами к поверхности объекта, переносить накопленные данные на компьютер. Метод

упругого отскока заключается в измерении величины обратного отскока ударника при соударении с поверхностью бетона. Типичным представителем приборов для испытаний по этому методу является склерометр Шмидта и его многочисленные аналоги. Метод упругого отскока, как и метод пластической деформации, основан на измерении поверхностной твердости бетона. Метод упругого отскока заимствован из практики определения твердости металла. Для испытания бетона применяют приборы, называемые склерометрами, представляющие собой пружинные молотки со сферическими штампами. Молоток устроен так, что система пружин допускает свободный отскок ударника после удара по бетону или по стальной пластинке, прижатой к бетону. Прибор снабжен шкалой со стрелкой, фиксирующей путь ударника при его обратном отскоке. Энергия удара прибором должна быть не менее 0,75 Н·м; радиус сферической части на конце ударника – не менее 5 мм. Проверку (тарировку) приборов проводят после каждых 500 ударов. Требования к подготовке участков для испытаний, к расположению и количеству мест удара, а также к экспериментам для построения тарировочных кривых такие же, как в методе пластической деформации.

*Метод пластической деформации* основан на измерении размеров отпечатка, который остался на поверхности бетона после соударения с ней стального шарика. Метод устаревший, но до сих пор его используют из-за дешевизны оборудования. Наиболее широко для таких испытаний используют молоток Кашкарова. Принцип действия прост. В молоток вставляется металлический стержень определенной прочности, после чего прибором наносят удар по поверхности бетона. С помощью углового масштаба измеряют размеры отпечатков, получившихся на бетоне и стержне. Прочность бетона определяется из соотношения размеров отпечатков (прочность стержня известна). Приборы, применяемые для испытания методом пластических деформаций, основаны на вдавливании штампа в поверхность бетона путем удара или статического давления заданной силы. Устройства статического давления применяют ограниченно. Приборами ударного действия служат пружинные и ручные молотки со сферическим штампом (шариком) и приборы маятникового типа с дисковым или шариковым штампом. Твердость стали штампов приборов ударного действия должна быть не менее HRC60, шероховатость —  $R_a < 0,32$  мкм с износом в процессе работы до  $R_a = 5$  мкм диаметр шарика — не менее 10 мм, толщина диска — не менее 1 мм, энергия удара должна быть больше или равна 125 Н·см.

*Ультразвуковой метод.* Ультразвуковой метод заключается в регистрации скорости прохождения ультразвуковых волн. По технике проведения испытаний можно выделить сквозное ультразвуковое прозвучивание, когда датчики располагают с разных сторон тестируемого образца, и поверхностное прозвучивание, когда датчики расположены с одной стороны. Метод сквозного ультразвукового прозвучивания позволяет, в отличие от всех остальных методов неразрушающего контроля прочности, контролировать прочность не только в приповерхностных слоях бетона, но и прочность тела бетона конструкции. Ультразвуковые приборы могут использоваться не только для контроля прочности бетона, но и для дефектоскопии, контроля качества бетони-

рования, определения глубины. Градуировочную зависимость между скоростью распространения ультразвука и прочностью бетона на сжатие определяют предварительно для конкретного состава бетона. Это связано с тем, что применение градуировочных зависимостей для бетонов других или неизвестных составов может привести к ошибкам в определении прочности. На зависимость «прочность бетона - скорость ультразвука» влияют следующие факторы, колебания которых нужно учитывать при применении ультразвукового метода контроля: количество и зерновой состав заполнителя; изменение расхода цемента более, чем на 30%; способ приготовления бетонной смеси; степень уплотнения бетона; напряженное состояние бетона.

В последнее время в связи с бурным развитием строительства зданий и сооружений из монолитного железобетона и участвовавшими случаями разрушений зданий, вызванных недостаточным контролем за их состоянием, наблюдается большой интерес к средствам и методам проведения контроля на прочность. Причем, интерес этот проявляют не только потребители, но и производители такого оборудования, а также специализированные лаборатории, призванные разрабатывать новые и совершенствовать существующие методики.

В настоящем сложилась интересная ситуация: существующие ГОСТы содержат устаревшие требования, как к самым методам контроля, так и приборным средствам, на которые ссылаются ГОСТы. Дело в том, что существующие ГОСТы разрабатывались в период, когда основой строительства являлся сборный железобетон. Поэтому они основывались на методиках, предназначенных, в основном, для неразрушающего контроля при производстве сборных ЖБИ. Вопросы же контроля монолитного железобетона рассмотрены очень слабо.

Так, например, по ГОСТ 17624-86 применение способа поверхностного прозвучивания при ультразвуковом методе контроля прочности бетона не допускается. Разрешается только сквозное прозвучивание. Однако использование метода сквозного прозвучивания на реальных объектах крайне затруднено, очень сложно обеспечить приемлемую степень соосности приемного и передающего преобразователя, которые должны быть расположены с разных сторон конструкции. Зачастую негде провести длинный провод к преобразователю, да и потери энергии в длинных проводах будут крайне велики, чтобы результаты измерений можно было считать достоверными.

Как же выходят из такой, прямо скажем, непростой ситуации? ГОСТ 22690-88 допускает использовать для уточнения градуировочной зависимости методы отрыва со скалыванием, скалывание ребра либо испытание кернов. Для этого результат, полученный одним из этих методов, делят на прочность, полученную в результате испытаний каким-либо из прочих методов неразрушающего контроля. Полученный результат называют коэффициентом совпадения.

Для обследования остальных участков конструкции результаты, полученные одним из остальных методов, умножают на этот коэффициент. Так, например, в приборах серии ИПС ввод этого коэффициента осуществляется с клавиатуры, и результаты выдаются уже с его учетом.

Для оценки возможности использования всего многообразия рассмотренных методов и приборов для неразрушающего контроля для определения прочности бетона длительно-эксплуатирующихся железобетонных конструкций следует учитывать следующее: все методы неразрушающего контроля являются косвенными. Выделить какой-то один метод нельзя, все они обладают своими достоинствами, недостатками и ограничениями в применении. Наиболее весомым фактором, определяющим метод и средства измерения и контроля, является предельно допустимая погрешность измерений. Так же немаловажно удобство проведения работ, простота обработки результатов. Этим критериям отвечают поверхностные методы, основанные на определении твердости поверхности бетона. Основой недостаток этих методов заключается в том, что при воздействии на поверхность железобетонной конструкции, которая в процессе эксплуатации подвергается воздействию эксплуатационной среды (карбонизация бетона) не всегда возможно адекватно оценить прочность бетона.

Прочность бетона в обоих методах определяют по тарировочным кривым имея значение «косвенной характеристики» (отношение диаметров отпечатков или величина упругого отскока).

Среднюю величину «косвенной характеристики» вычисляют по данным пяти измерений, выполненных на определенном участке поверхности бетона. При этом частные значения не должны отличаться от среднего более чем на  $\pm 15\%$ .

Если рассматривать эти два метода, то наиболее предпочтительным является оценка прочности бетона при измерении высоты упругого отскока, так как: во-первых, на величину отскока влияют не только поверхность, но в определенной мере и внутренние слои бетона и, во-вторых, определение прочности бетона методом пластической деформации является весьма трудоемким.

Для подтверждения возможности использования метода упругого отскока для оценки прочности бетона длительно-эксплуатируемых железобетонных конструкций была проведена серия экспериментов в лабораторных условиях и непосредственно при проведении обследования.

Для проведения экспериментов в лабораторных условиях было подобрано три состава бетонных смесей с расходов цемента 250, 350 и 450 кг/м<sup>3</sup>. В качестве крупного заполнителя использовали гранитный щебень фракции 5-20 мм. В качестве мелкого заполнителя природный песок с  $M_k = 2,83$ . Из подобранных составов были изготовлены опытные образцы-кубы с ребром 150 мм (по 4 образца каждого состава). Образцы твердели в нормально-влажностных условиях. В возрасте 28 суток образцы подвергали сушке до постоянной массы, а затем помещали в установку для ускоренной карбонизации бетона. Для получения образцов с различной глубиной карбонизации варьировали время выдержки образцов в камере (8 часов, 1 сутки и 2 суток). Затем определяли фактическую прочность на сжатие опытных образцов и прочность на сжатие неразрушающими методами (пластической деформации и упругого отскока). Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фактическая прочность бетона на сжатие опытных образцов и значение прочности, определенное неразрушающими методами

Расход цемента, кг	Время выдержки в камере, ч	Глубина карбонизации, мм	Фактическая прочность бетона, МПа	Прочность бетона, МПа, определенная неразрушающим методом	
				пластической деформации	упругого отскока
250	0	0	31,2	34,2	29,5
	8	2,5		34,5	33,3
	24	3,5		38,9	35,6
	48	5,0		46,7	38,8
350	0	0	38,7	39,1	38,5
	8	2,0		43,4	41,5
	24	3,0		45,8	43,3
	48	4,0		49,1	46,5
450	0	0	51,4	53,2	48,6
	8	1,5		55,4	52,2
	24	2,0		57,1	54,3
	48	3,0		59,2	56,1

В таблице 2 приведены результаты оценки прочности бетона железобетонного ригеля административного здания в г. Минске (год строительства - 1978) различными неразрушающими методами.

Таблица 2 – Прочность бетона на сжатие железобетонного ригеля, определенная различными методами неразрушающего контроля

Наименование метода НК	Значение прочности, МПа	Фактическая прочность бетона, МПа по [4]	Глубина карбонизации бетона, мм	Оценка применимости метода
Метод пластической деформации (молоток Кашкарова)	48,9	32,4	2,8	+16,5
Метод упругого отскока (склерометр ОМШ-1)	35,6			+3,2
Метод ударного импульса	36,3			+3,9
Метод отрыва со скалыванием (эталонный метод)	34,8			+2,4

Анализ данных таблицы 1 показывает, что при увеличении расхода цемента глубина карбонизации бетона закономерно снижается. Значения прочности бетона, определенные методами пластической деформации и упругого отскока возрастают при увеличении глубины карбонизации бетона. Возрастают отклонения прочности, определенной неразрушающими методами от фактической значения прочности образцов, причем максимальные значения отклонений увеличиваются при уменьшении расхода цемента.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что наибольшую погрешность в оценке прочности бетона показал метод пластической деформации (мототок Кашкарова). Близкие результаты получены при использовании методов упругого отскока и ударного импульса. Метод отрыва со скалыванием подтвердил целесообразность его использования, как эталонного метода при оценке достоверности неразрушающих методов контроля.

**Литература.** 1. Улыбин А.В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений. – Москва: Стройиздат, 1995 – 136с. 2. Зубков В.А. Определение прочности бетона: учебное пособие. -Москва: изд-во АСВ, 1998,-120с. 3. СТБ 2264-2012 Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности. 4. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Определение прочности по образцам отобраным из конструкции. 5. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона [Текст] / Ж. В. Бербеков // Молодой ученый. — 2012. — №11. — С. 20-23. 6. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. 7. К.Н. Попов, М.Б. Каддо, О.В. Кульков. Оценка качества строительных материалов. - М., Ассоциация строительных ВУЗов, 1999. 8. А.В. Гулунов. Методы и средства НК бетона и железобетонных изделий. - В мире НК. 2002. № 2(16). С.24-25. 9. В.А. Клевцов, М.Г. Коревицкая. Об организационно-технических проблемах НК прочности бетона. - В мире НК. 2002. № 2(16). С.16-17. 10. В.Г. Штенгель. О методах и средствах НК для обследования эксплуатируемых железобетонных конструкций. - В мире НК. 2002. № 2(16). С.12-15. 11. Губайдуллин Г.А. Приборный комплекс оперативного контроля прочности бетона. - В мире НК. 2002. № 2(16). С.21-22.