

Диагностика прочности раствора ультразвуковым импульсным методом

Глуховский В. П., Хавкин А. К., Марьенков Н. Г., Калюх Ю. И.
Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК), г. Киев

Разработана методика измерений информативного параметра и оценки прочности раствора в горизонтальных швах кладки. Прочность раствора на сжатие ультразвуковым импульсным методом может быть определена с погрешностью не превышающей 20%. Эффективность методики подтверждена ее практическим применением на многих реконструируемых объектах на Украине.

1. Введение

Для оценки реальной несущей способности каменных конструкций требуются достоверные данные о прочности раствора в кладке. В соответствии с нормативными требованиями [1] прочность раствора определяется как среднее арифметическое результатов испытаний на сжатие пяти образцов-кубов с ребрами 2-4 см, изготовленных из двух пластинок, взятых из горизонтальных швов или стыков крупнопанельных конструкций.

Сложности, связанные с отбором проб раствора из кладки существующих зданий не позволяют обеспечить статистически значимый объем механических испытаний. Случайный отбор проб при ограниченном их количестве при испытаниях (зачастую только одна проба) не обеспечивают достоверных данных о прочности и однородности раствора в больших массивах кладки. Это требует применения при инструментальных обследованиях оперативных неразрушающих методов, обеспечивающих статистически значимый объем испытаний для оценки прочности раствора как на отдельных участках кладки, так и во всем ее объеме.

На сегодняшний день отсутствуют нормативные требования на определение прочности раствора неразрушающими методами. Для обоснования и реализации такой возможности требуется необходимый объем статистических данных для установления корреляционных связей прочности на сжатие разных видов растворов с информативными параметрами (одним или несколькими), имеющими повышенную чувствительность к этому свойству, обеспечения проведения испытаний с приемлемой для практического использования погрешностью, проверки эффективности метода в реальных условиях.

По результатам исследований, выполненных Алешиным Н.Н. [2], показана практическая возможность использования акустических импульсных методов для определения прочности кладки. Им сделан вывод о существовании корреляционной связи между прочностью раствора (который рассматривался не как отдельный материал, а как составной элемент кладки) и скоростью продольных волн. В работе не исследовалась степень корреляции параметров акустического сигнала с прочностью раствора на сжатие. Кроме того, предложенный подход к определению прочности кладки противоречит требованиям СНиП II-22-81 [3] к определению прочности материалов кладки.

2. Цель статьи

Подробный анализ вопросов, связанных с обоснованием возможности оценки прочности раствора в каменных конструкциях ультразвуковым импульсным методом с учетом требований действующих нормативных документов.

3. Постановка задачи

По результатам выполненных в НИИСК исследований было установлено, что информативным параметром, наиболее полно отражающим связь с прочностью раствора на сжатие, является параметр t (время распространения ультразвукового сигнала от излучателя к приемнику при поверхностном способе прозвучивания). Измерения этого параметра в горизонтальных швах достаточно надежно реализуются серийными ультразвуковыми приборами, снабженными устройствами для поверхностного прозвучивания, обеспечивающими точечный акустический контакт с раствором.

Экспериментальные исследования связи информативного параметра с прочностью на сжатие выполнялись на пробах цементного (37 проб), цементно-известкового (9 проб) и известкового (11 проб) растворов, отобранных из горизонтальных швов кладки реконструируемых зданий. В пробах раствора (до механических испытаний) по торцевым поверхностям выполнялись измерения (по шесть измерений) времени распространения

ультразвука и определялись их средние значения. Они проводились одним серийным прибором УК-14П в комплекте с устройством УППР-2М с базой прозвучивания 120 мм. При регистрации и обработке задержка сигнала в акустическом тракте прибора не учитывалась

Прочность раствора в пробах определялась по результатам механических испытаний образцов-кубов с ребрами 2 см. Подготовка образцов и проведение механических испытаний выполнялись аккредитованным отделом исследований конструкций НИИСК.

4. Результаты

Обработка полученных статистических данных показала, что для всех проб коэффициент корреляции между прочностью на сжатие и соответствующими значениями информативного параметра составил 0,85, что приемлемо для практической реализации и не требует деления раствора на отдельные виды. Графическое представление корреляционной зависимости «время - прочность» приведено на рисунке 1.

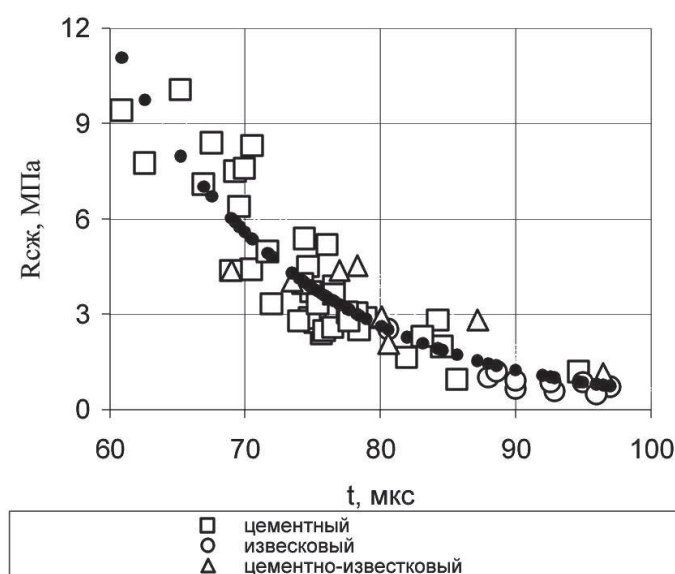


Рисунок 1. Корреляционная связь прочности на сжатие с информативным параметром для основных видов растворов

Наиболее точно установленная связь описывается уравнением регрессии экспоненциального вида. Оценка пригодности использования данного уравнения в качестве градуировочной зависимости, выполненная по методике [4] показала, что остаточная погрешность установленной зависимости составляет 19%. Вместе с тем регламентируемая относительная разница в прочности между соседними по параметрическому ряду марками раствора находится в пределах 33% для верхнего диапазона и 250% для нижнего

диапазона прочности. Т.е. определение прочности раствора на сжатие (кубиковая прочность) по установленной градуировочной зависимости обеспечивается с приемлемой погрешностью и позволяет при практической реализации ее использовать в качестве базовой (основной).

Одним из требований по качеству выполнения горизонтальных швов является обеспечение одинаковой толщины по всей площади кладки. При этом нормальной считается толщина швов от 10 до 12 мм [5]. На практике это не всегда обеспечивается, что потребовало специальных исследований по оценке влияния реальной толщины швов на результаты измерений. Для этого пластину 200 x 200 мм, толщиной 30 мм из цементно-песчаного раствора (с прочностью на сжатие 4,2 МПа) дискретно через 5 мм стачивали по ее толщине. На каждой толщине измерения выполнялись как по торцам, так и по поверхностям пластины. Характер изменения времени распространения ультразвука в зависимости от толщины пластины показан на рисунке 2.

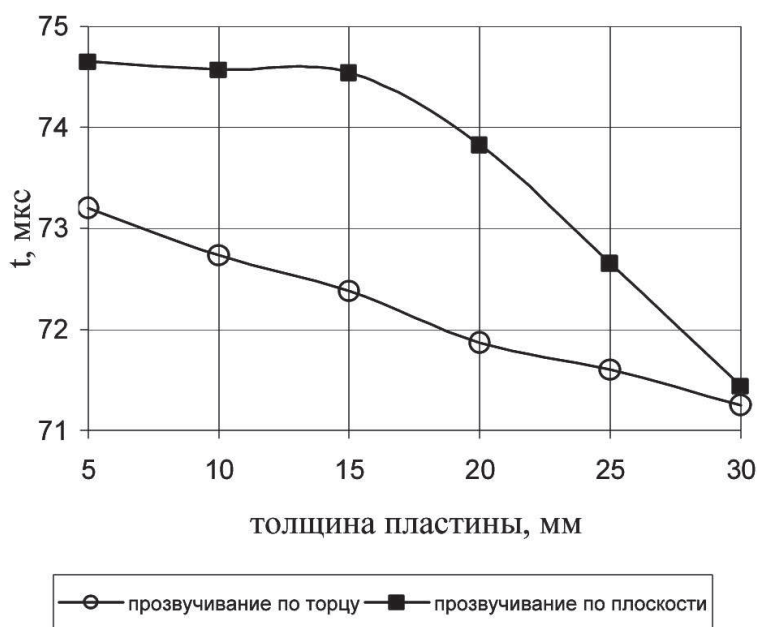


Рисунок 2. Зависимость времени распространения ультразвука от толщины пластины

Из рисунка следует, что с уменьшением толщины увеличивается время распространения ультразвука, причем более интенсивно это проявляется при измерениях по поверхностям пластины. В исследуемом диапазоне зависимость от толщины при измерениях по торцам пластины имеет практически линейный характер. При измерениях по плоскостям приращение информативного параметра прекращается при толщине пластины меньше 15 мм. Такой характер зависимости от толщины можно объяснить

влиянием поверхностных волн Релея [6] на формирование импульсного пакета прошедшего ультразвукового сигнала и, в частности, на его передний фронт, по которому в использованном приборе выполняются измерения.

В исследованиях [6] формирование волн Релея рассматривается по принципу суммирования элементарных волн, распространяющихся с разными скоростями и с разной степенью затухающих по толщине пластины. Показано, что толщина 25 мм является предельной при переходе условий распространения волн в пластине к распространению волн в полупространстве. В выполненном эксперименте это подтверждается тем, что время распространения ультразвука в пластине толщиной 30 мм имеет практически одинаковое значение как при измерениях по поверхностям, так и по торцам. Откуда следует, что при толщинах пластин больших 30 мм поверхностные волны не будут оказывать существенного влияния на результаты измерений.

Расчетные, относительно толщины пластины 30 мм, изменения информативного параметра в диапазоне от 30 мм до 5 мм составляют 2,8% и 4,5% соответственно для измерений по торцам и по поверхностям. При максимальных изменениях времени t (2,8% и 4,5%) относительный расчетный разброс прочности по градуировочной зависимости может составлять 14% (при измерениях по торцам) и 24% (при измерениях по поверхностям). Отсюда возникают требования к выполнению измерений при установлении градуировочных зависимостей по торцам пластин.

Исследования по установлению корреляционной связи между временем распространения ультразвука и прочностью (рисунок 1) выполнялись на пробах раствора толщиной 10 мм (для склеенных образцов) и 20 мм (для целых образцов). В таком диапазоне расчетная относительная погрешность от толщины составляет 10% и является составляющей суммарной погрешности (19%) при определении прочности по градуировочной зависимости.

На реальных объектах выполнение измерений целесообразно проводить в швах раствора толщиной 10-15 мм. Расчетная составляющая погрешности от влияния толщины при этом для растворов в диапазоне прочности условных марок 25-50 будет находиться в пределах 6%. Такие ограничения по толщине также повысят достоверность измерений за счет исключения влияния из-за прохождения ультразвука по кирпичу. Следует отметить, что из-за нелинейности зависимости между временем и прочностью толщина швов в большей мере будет влиять на результаты измерений в высокопрочных растворах.

Для снижения суммарной погрешности определения прочности раствора в конструкциях может быть выполнена корректировка (уточне-

ние) базовой градуировочной зависимости. Поправочный коэффициент $K_c = \Sigma R_m / \Sigma R_y$ (где R_m и R_y - прочность в образцах соответственно по результатам механических испытаний и по базовой градуировочной зависимости) определяется по методике [7] по результатам сравнительных испытаний ограниченного количества (3-5) образцов раствора из обследуемой кладки. Места отбора проб раствора для сравнительных испытаний с прочностью характерной для обследуемой кладки могут быть определены по результатам ультразвуковых измерений.

При использовании данного подхода базовая градуировочная зависимость должна устанавливаться для конкретного ультразвукового прибора под наблюдением метрологической службы предприятия и соответствующим образом оформлена. Накопление статистических данных должны выполняться на пробах раствора толщиной 1-2 см при измерениях информативного параметра по торцам пластин. Важным представляется возможность постоянного пополнения статистических данных для уточнения и проверки градуировочной зависимости, а также ее распространения на другие виды растворов при соответствующем статистическом обосновании.

Измерения на объектах должны выполняться на отдельных участках кладки свободных от отделочных материалов в горизонтальных швах толщиной 1,0–1,5 см. На каждом участке необходимо выполнять не менее шести измерений. Отдельные участки могут объединяться в зоны, например, по конструктивным особенностям обследуемого объекта или по отдельным (если имеются) видам раствора. По результатам обработки условная марки раствора как для отдельных участков, так и для отдельных зон кладки, должна приниматься по расчетным средним значениям прочности на сжатие.

Следует отметить, что при измерениях в известковых растворах с прочностью характерной для марок 2-4, вследствие большого затухания ультразвукового сигнала, могут возникнуть определенные сложности, требующие особой тщательности при выборе мест и выполнении измерений.

Эффективность использования ультразвукового импульсного метода подтверждена результатами практических работ по определению прочности раствора в каменной кладке на более чем 50 реконструируемых объектах.

5. Выводы

1. Установлена статистически обоснованная корреляционная зависимость между прочностью раствора каменной кладки и временем распространения ультразвука при поверхностном прозвучивании.

Прочность раствора на сжатие ультразвуковым импульсным методом может быть определена с погрешностью не превышающей 20%.

2. Разработана методика измерений информативного параметра и оценки прочности раствора в горизонтальных швах кладки. Измерения необходимо выполнять в горизонтальных швах имеющих толщину 10-15 мм. При таких толщинах составляющая погрешности от влияния толщины будет находиться в пределах 6%.
3. Эффективность методики подтверждена ее практическим применением на многих реконструируемых объектах.

Перечень ссылок

1. **ГОСТ 5802-86.** Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 22 с.
2. **Алешин Н. Н.** Электросейсмоакустические методы обследования зданий. – М.: Стройиздат, 1982. – 158 с.
3. **СНиП II-22-81.** Часть II. Глава 22. Каменные и армокаменные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
4. **ГОСТ 17624-87** Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 26 с.
5. **Андреев С. А.** Каменные конструкции. – М., Л.: Изд-во Минкоммунхоз РСФСР, 1948. – 216 с.
6. **Недосека А. Я., Недосека С. А., Волошкевич И. Г.** О волнах Релея в пластинах ограниченной толщины // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – №3. – С. 3-8.
7. **ГОСТ 22690-88.** Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 26 с.

Получено 02.04.08