

УДК 681.2

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КИРПИЧА

В.Ф. ТЕЛЕЖКИН, П.А. УГАРОВ
e-mail: kva@rts.tu-chel.ac.ru

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Статья поступила 15 декабря 1999 г.

Введение

При производстве керамического кирпича осуществляется контроль ряда технических характеристик, в числе которых прочность на сжатие, прочность на изгиб, морозостойкость и водопоглощение. Эти характеристики определяются для каждой партии кирпича, при этом в основном используются традиционные методы разрушающего контроля. Например, прочность на сжатие определяется как давление на единицу поверхности, при котором происходит разрушение опытного образца. Использование ультразвука позволяет производить неразрушающий экспресс-анализ кирпича, значительно сократив время и затраты на тестирование. Для определения прочности силикатного кирпича и бетонов в настоящее время используются ультразвуковые методы, которые базируются на определении градуировочных зависимостей прочности образца от скорости распространения ультразвука в материале образца. В дальнейшем по полученной градуировочной зависимости, которая находится как кривая регрессии некоторых экспериментальных данных, можно определить прочность образца, замерив с помощью специальных средств скорость распространения ультразвука в нем. Скорость распространения ультразвука определяется с помощью приборов УК-14П, УК-10ПМ, УК-15П и других. При этом экспериментальные данные считываются и обрабатываются оператором.

При создании рассматриваемой системы была поставлена задача модифицировать прибор типа УК-14П, обеспечив автоматическую передачу данных от прибора к персональному компьютеру типа IBM PC во время испытаний. Использование компьютера с установленным на нем специально разработанным программным обеспечением позволяет автоматизировать следующие операции:

- сохранение градуировочных данных, их учет и статистическая обработка;
- построение кривых регрессии по накопленным градуировочным данным для всех анализируемых характеристик;
- определение технических характеристик по найденным кривым регрессии.

Программное обеспечение также позволяет контролировать режим работы прибора УК-14П и правильность установки преобразователей, своевременно информируя оператора о возможных проблемах. Специально разработанная база данных предоставляет большие возможности по контролю за накапливаемыми данными, представлению их в форме графиков и т. п.

1. Контроллер связи прибора УК-14П с компьютером

Прибор УК-14П предназначен для измерения времени распространения ультразвука, по которому оператор, зная расстояние между преобразователями и метод их установки, может определить скорость распространения ультразвука. В схему прибора входят синхронизатор,

генератор импульсов, излучающий и приемный электроакустические преобразователи, а также усилители приемного сигнала и пороговые устройства, преобразующие измеряемый временной интервал в стандартные логические сигналы, совместимые с ТТЛ–уровнями. Прибор функционирует в непрерывном режиме, производя около одного замера времени в секунду. Скорость поступления данных позволяет использовать последовательный порт компьютера, применив для связи интерфейс RS–232. Таким образом, задача контроллера, который конструктивно помещается внутри прибора УК–14П, сводится к измерению временных интервалов и передаче данных по интерфейсу RS–232.

Дискрета измерения времени принята равной 0,1 мкс, при этом в качестве счетных импульсов разработанный контроллер использует сигнал задающего генератора прибора УК–14П, работающего на частоте 10 МГц. Контроллер построен на базе микроконтроллера AT89C2051 фирмы Atmel, работающего на частоте 20 МГц. Максимальная частота счета при этом составляет 0,833 МГц, что обуславливает использование счетчика–делителя на 16 K1533IE10. При этом частота счетных импульсов на входе AT89C2051 составляет 0,625 МГц, а младшие значащие разряды считываются с выводов счетчика по окончании счета. Для передачи данных в компьютер используется встроенный последовательный порт AT89C2051, настроенный на скорость 600 бод. Для преобразования ТТЛ уровней в уровни интерфейса RS–232 используется микросхема ADM202. После каждого измерения времени распространения ультразвука в компьютер передается посылка из двух байт.

2. Программное обеспечение

Программное обеспечение функционирует под управлением операционной системы Windows95/98. Рассмотрим процесс накопления градуировочных данных. При выборе пункта меню “Новый градуировочный образец” пользователю предлагается заполнить форму, в которой он может отметить типоразмер кирпича, вид кирпича, номер партии, дату и количество замеров на данном образце. Далее пользователю предлагается зафиксировать образец в устройстве для испытаний; после подтверждения пользователем установки образца начинаются собственно измерения. В ходе испытаний программа контролирует качество акустического контакта образца с электроакустическими преобразователями следующим образом. Для надежного акустического контакта на поверхности преобразователей наносится контактная смазка (масло, вода, технический вазелин). При недостаточном количестве смазки акустический контакт нарушается и для одного и того же образца можно получить в разных замерах различные значения времени распространения ультразвука. Программа производит серию замеров на одном образце, и при значительном относительном отклонении данных какого–либо замера от среднего значения для серии замеров испытания прерываются, и пользователь информируется о нарушении акустического контакта. Если испытания прошли успешно, образец автоматически заносится в базу данных градуировочной характеристики под уникальным номером, значение которого сообщается пользователю.

База данных градуировочной характеристики состоит из одной таблицы в формате Paradox 7. Каждая запись в таблице соответствует одному градуировочному образцу и содержит поля для хранения следующих групп данных:

- информация об образце, введенная пользователем перед испытаниями (дата, партия и т. п.);
- результаты ультразвуковых испытаний образца (вносятся автоматически и не подлежат редактированию пользователем);
- результаты испытаний того же образца, полученные традиционными методами, например данные разрушающих испытаний на прочность (вносятся пользователем после проведения соответствующих испытаний).

Отметим, что традиционными методами для каждого образца может быть измерена лишь одна из технических характеристик (образец разрушается при испытаниях), поэтому каждый образец может быть использован только для одной из градуировочных линий регрессии.

Для работы с базой данных пользователю предоставляется окно, в котором имеются отдельные поля для ввода характеристик и вся база в табличной форме. Кроме вышперечисленных данных для каждого образца предусмотрена возможность добавления произвольных комментариев в текстовой форме. С помощью специального флажка пользователь может отметить, следует ли использовать данный образец при построении градуировочной характеристики.

Перерасчет градуировочных характеристик и визуализация соответствующих им графиков инициируются нажатием соответствующих кнопок в окне для работы с базой данных.

После накопления достаточного количества градуировочных данных, позволяющих установить искомые статистические закономерности в виде градуировочных характеристик, программа может быть использована для экспресс-анализа технических характеристик кирпича. Испытания в этом случае инициируются выбором пункта меню "Испытания \ Один образец". Технические характеристики образца, рассчитанные по текущим градуировочным зависимостям, сообщаются пользователю в специальном окошке.

3. Построение градуировочных характеристик

Для наилучшего приближения набора из m экспериментальных точек (y_i, t_i) с помощью некоторой функции используется метод наименьших квадратов. При этом задается общий вид искомой функции:

$$y = f(t, x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ — некоторые неизвестные параметры, относительно которых решается задача оптимизации.

Задача о наименьших квадратах формулируется следующим образом:

$$\min_{x \in R^n} \psi(x) = \frac{1}{2} R^T(x) R(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m r_i^2(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (f(t_i, x) - y_i(t_i))^2. \quad (2)$$

Здесь R^n — n -мерное векторное пространство, в котором ищется вектор решения.

Рассматриваемая задача решается для каждой из технических характеристик, при этом большое значение имеет выбор вида аппроксимирующих кривых (1). Использование компьютера для накопления градуировочных данных позволяет сравнительно легко исследовать пригодность различных видов градуировочных характеристик. Качество найденной градуировочной характеристики определяется по ее остаточному среднему квадратическому отклонению:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f(t_i, x^*) - y_i(t_i))^2}{m}}, \quad (3)$$

где x^* — решение задачи (2).

Лучшей признается характеристика с меньшим S .

Рассмотрим зависимость прочности на сжатие от времени распространения ультразвука.

Разработанная система эксплуатировалась в течение двух месяцев на предприятии-заказчике КЕММА. За это время было накоплено 275 точек для построения рассматриваемой характеристики. На основе полученных данных были проведены исследования по пригодности характеристик трех видов:

- линейной;
- экспоненциальной;
- функции Кобба–Дугласа.

В общем случае задача (2) решается с помощью итерационной процедуры Левенберга–Маркварта, которая заключается в выборе следующего приближения задачи x_+ согласно подходу "модель–доверительная область" [1]:

найти $\min \|R(x_c) + J(x_c)(x_+ - x_c)\|_2$ при условии

$$\|x_+ - x_c\|_2 \leq \partial_c. \quad (4)$$

Здесь x_c — текущее приближение задачи;

$J(x_c)$ — матрица Якоби для $R(x_c)$;

∂_c — текущая доверительная область.

Подход “модель–доверительная область”, в том числе метод определения локально ограниченного оптимального (“криволинейного”) шага и пересчета доверительной области изложен в [1].

Функция Кобба–Дугласа имеет вид

$$y = x_0 t^{x_1}. \quad (5)$$

Решение задачи (2) по методике (4) дает $x_0 = 30358,4$, $x_1 = -1,11973$ (при этом t выражается в микросекундах, а y — в килограммах на сантиметр квадратный). Остаточное СКО для найденной кривой $S = 29,45$.

Для линейной зависимости вида

$$y = x_0 + x_1 t \quad (6)$$

имеем $x_0 = 337,7$, $x_1 = -1,61$, $S = 30,22$.

Для экспоненциальной характеристики:

$$y = x_0 e^{x_1 t}, \quad (7)$$

$x_0 = 409,86$, $x_1 = -0,00858$, $S = 30,01$.

Таким образом, лучшие результаты дает использование функции Кобба–Дугласа.

Отметим, что для линейной и экспоненциальной характеристик нет необходимости применять итерационную методику (4), так как параметры выражений (6) и (7) выражаются из экспериментальных данных в явном виде.

Для полученных градуировочных характеристик возможно проведение корректировки, которая сводится к отбраковке единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию

$$\frac{|f(t_j) - y_j(t_j)|}{S} < 2, \quad (8)$$

где $f(t_j)$ — значение характеристики, найденное по градуировочной зависимости;

$y_j(t_j)$ — экспериментальное значение характеристики.

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся данным. Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все результаты будут удовлетворять условию (8). Например, для линейной характеристики после корректировки имеем: $x_0 = 269,5$, $x_1 = -1,03$, $S = 14,94$.

Заключение

Рассмотренная система позволяет производить неразрушающее ультразвуковое тестирование керамического кирпича с целью определения его технических характеристик. Оценка каждой технической характеристики базируется на определении связи между скоростью распространения ультразвука в образце и значением характеристики. Для хранения и обработки градуировочных данных используется персональный компьютер, аппаратно объединенный с измерительной аппаратурой, что позволяет облегчить и автоматизировать работу оператора.

Проведенные практические испытания позволили определить статистические градуировочные зависимости для ряда технических характеристик, исследовав при этом пригодность различных видов кривых регрессии.

Результаты испытаний свидетельствуют о возможности использования ультразвуковых методов для исследования технических характеристик керамического кирпича. Отметим, что в производственных условиях основное значение имеет не точное определение значения какой-либо технической характеристики, а ее соответствие некоторому заданному диапазону. Например, для прочности на сжатие необходимо превышение над заданным порогом, который

определяется стандартом на данный вид продукции. Поэтому относительно низкая точность градуировочных характеристик не является препятствием для использования созданной системы на практике, так как в большинстве случаев положение измеренной характеристики относительно порога можно определить с достаточной степенью вероятности.

Следует отметить пригодность рассматриваемой системы для определения характеристик различных строительных материалов, при этом система особенно удобна на этапе изучения корреляционных связей и построения регрессионных зависимостей.

Список литературы

1. Деннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений: Пер. с англ // М.: Мир, 1988. — 440 с.