

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ РЕСУРСА СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КАМНЯ-РАКУШЕЧНИКА

Воронов Ю.Н., Коробко О.А., Суханов В.Г., Лисенко В.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Рассмотрена возможность использования ультразвукового метода для мониторинга зданий и конструкций из камня-ракушечника Одесского региона. Показана необходимость научного сопровождения строительных объектов как на этапах строительства, так и эксплуатации.

Историческая зона застройки г. Одессы, а также здания первых типовых серий индустриального домостроения 50-60-х годов прошлого столетия требуют реставрации, реконструкции, ремонта и новых подходов к научному сопровождению как строящихся, так и реставрируемых либо реконструируемых сооружений.

Большинство зданий и сооружений исторической застройки г. Одессы построены из камня-ракушечника и имеют значительный физический износ (40-80%). Многие из них непригодны к нормальной эксплуатации, а некоторые могут быть отнесены к категории аварийных.

Причинами снижения прочности и разрушения камня-ракушечника являются: увлажнение и высушивание, выветривание, биохимическая коррозия и др. Кроме того, монолитность каменных пород всегда нарушена ультрамикротрещинами, макротрещинами и видимыми на глаз трещинами. На глубинах, доступных для выработок, каменные породы всегда изменены и неоднородны. В результате первичной неоднородности и выветривания, проникающего на значительную глубину (до 100 и более метров), каменные породы приобретают чрезвычайно разные показатели физико-механических свойств. Максимальное колебание пределов прочности сжатию в свежих и выветренных породах достигает нескольких десятков раз.

Прочность камня-ракушечника и скорость распространения ультразвука в нем зависит от глубины залегания, содержания основной породы, характера цементации кристаллов, плотности, водонасыщения, степени выветривания и коррозии.

Камень-ракушечник является анизотропным материалом и обладает анизотропией как прочностных, так и акустических свойств. Для пород Одесского региона отношение прочности камня-ракушечника параллельно

слоям к прочности перпендикулярно слоям колеблется от 0.73 до 2.52. Скорость прохождения ультразвука параллельно слоям в 1,3...1,5 раза больше скорости ультразвука перпендикулярно слоям.

В этих условиях научное сопровождение строительных объектов из камня-ракушечника является необходимым на всех этапах жизнедеятельности.

В последнее время широко используются методы и способы мониторинга за состоянием зданий и сооружений. Все большее применение находят методы неразрушающего контроля качества бетона, железобетона, кирпича и других материалов, как в условиях нового строительства, так и реставрации [1]. Наиболее распространенным является ультразвуковой метод контроля. Для этого имеется достаточная нормативная база. Данных же о связи между скоростью распространения ультразвука, плотностью и прочностью камня-ракушечника в технической литературе мало.

Исследованиями, выполненными в ОГАСА [2, 3] установлено наличие корреляционной зависимости между плотностью, прочностью камня-ракушечника и скоростью прохождения ультразвука в нем. Ультразвуковые испытания проводились прибором УК-14ПМ с пьезоэлектрическими преобразователями с номинальной рабочей частотой 60 кГц. Скорость ультразвука определяли параллельно и перпендикулярно слоям. После ультразвуковых и механических испытаний строили тарировочные зависимости "скорость ультразвука - прочность камня-ракушечника" и "скорость ультразвука - плотность ракушечника".

В небольшом диапазоне плотности (от 1 до 1,45 кг/м³) камней месторождений Одесского региона эти зависимости имеют линейный характер.

Обобщенную тарировочную зависимость "скорость-плотность-прочность" для камня-ракушечника Одесского региона плотностью в диапазоне от 1 до 1,45 кг/м³ целесообразно представить аналитически в виде формулы:

$$R = Ae^{Bv+C\rho} \quad (1),$$

где: R - прочность камня-ракушечника в конструкции (контрольном образце) в кгс/см² при плотности, равной ρ , т/м³;

v - скорость прохождения ультразвука, км/с;

ρ - плотность камня по массе в конструкции (контрольном образце), т/м³;

e - основание натуральных логарифмов;

A, B, C - эмпирические коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов по результатам испытания контрольных образцов по следующим формулам:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (\rho_i - \bar{\rho})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v}) \cdot (\ln R_i - \bar{R}) - \sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v}) \cdot (\rho_i - \bar{\rho}) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (\rho_i - \bar{\rho}) \cdot (\ln R_i - \ln \bar{R})}{\sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v})^2 \cdot (\rho_i - \bar{\rho})^2 - \left[\sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v}) \cdot (\rho_i - \bar{\rho}) \right]^2} \quad (2)$$

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (\rho_i - \bar{\rho}) \cdot (\ln R_i - \bar{R}) - \sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v}) \cdot (\rho_i - \bar{\rho}) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v}) \cdot (\ln R_i - \ln \bar{R})}{\sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v})^2 \cdot (\rho_i - \bar{\rho})^2 - \left[\sum_{i=1}^{n-1} (v_i - \bar{v}) \cdot (\rho_i - \bar{\rho}) \right]^2} \quad (3)$$

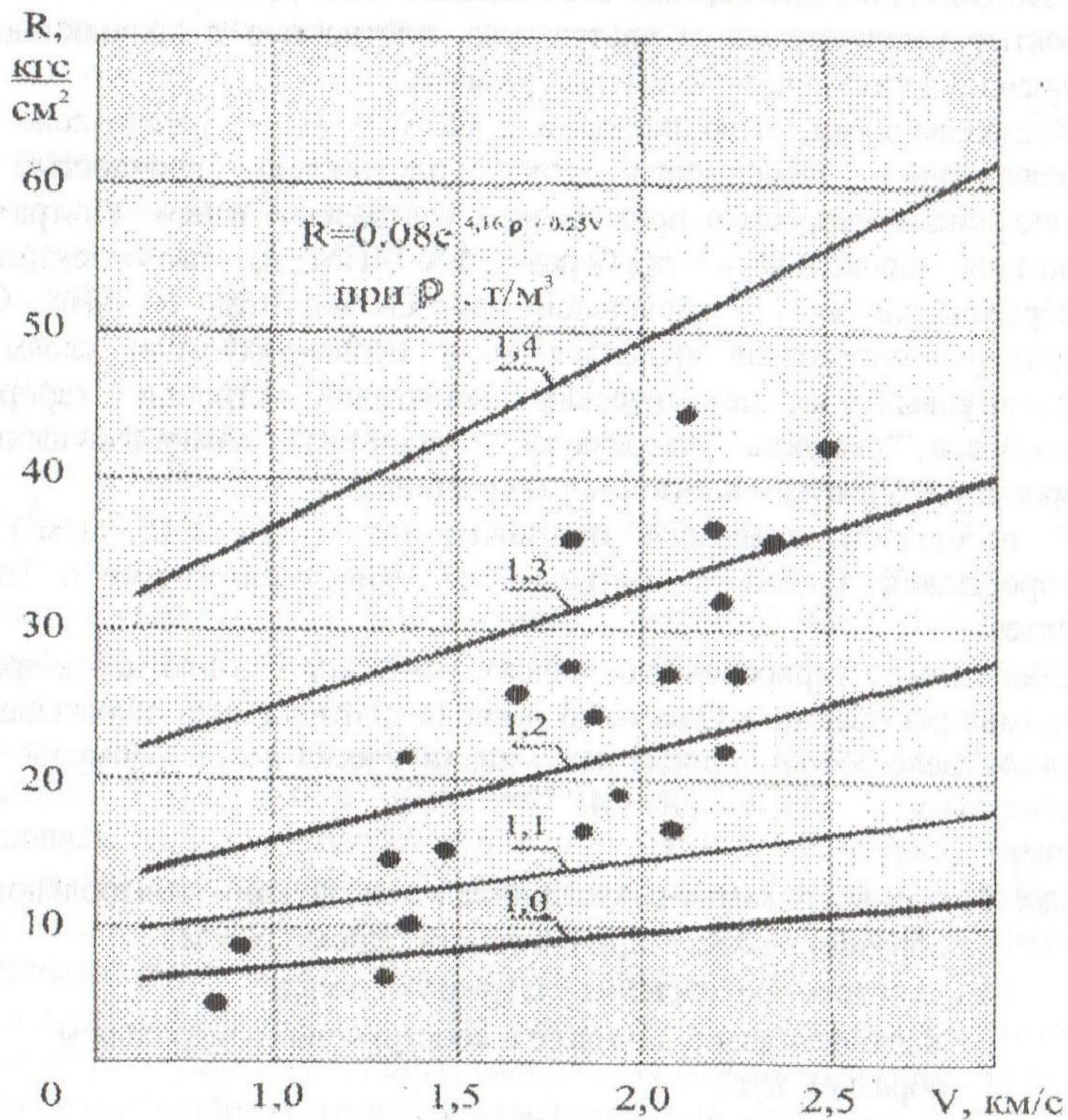


Рис. 1. Пример тарировочной зависимости «скорость - плотность - прочность» для камня ракушечника различной плотности ($\rho = 1,0 \dots 1,4 \text{ т/м}^3$)

$$\ln A = \ln R - Bv - C\rho \quad (4)$$

где ρ_i , v_i , R_i - соответственно значения плотности, скорости прохождения ультразвука, и прочности камня-ракушечника, полученные при испытании контрольных образцов ($i=1, 2...n$);

n - количество контрольных образцов;

$\bar{\rho}$, \bar{v} , \bar{R} - соответствующие средние значения плотности, скорости прохождения ультразвука и прочности камня-ракушечника, рассчитанные по всем образцам.

Для построения тарировочной (градуировочной) зависимости (1) «скорость-плотность-прочность» готовят (выпиливают) образцы из камня-ракушечника различной плотности (от 1 до 1.5 кг/м³) размером 150x150x150 мм. Для каждого принятого диапазона плотности готовят 7-8 серий. После ультразвуковых и механических испытаний определяют коэффициенты А, В, С в выражении (1) по формулам (2, 3, 4), для чего выполняют логарифмирование (1):

$$\ln R = \ln A + Bv + C\rho \quad (5)$$

Для исследованных значений плотности камня-ракушечника Одесского региона получена следующая тарировочная зависимость «скорость-плотность-прочность»:

$$R = 0.08e^{4.16\rho + 0.25v} \quad (6)$$

В графическом виде зависимость представлена на рис.1. Линиями на графике показаны теоретические (расчетные) значения прочности по формуле (6), экспериментальные данные показаны точками.

Для оценки прочности конструкции из камня-ракушечника необходимо измерить скорость прохождения ультразвука и определить плотность камня. Полученные значения скорости ультразвука и плотности камня-ракушечника подставляют в выражение (5), находят значение логарифма прочности, а затем по таблице антилогарифмов находят значения прочности.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о возможности и целесообразности использования ультразвукового метода для мониторинга зданий и сооружений из камня-ракушечника и их научного сопровождения, как на этапах строительства, так и эксплуатации. Для этого требуется разработка соответствующих технических условий.

Литература.

1. П.М. Козелецкий, І.Г. Лютченко, В.В. Рода. Науково-технічні проблеми обстеження, оцінки ресурсу та підсилення конструкцій, будівель і споруд. - Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». - Вып. 39. - Київ «Техніка». - 2002. - С.17-21.
2. В.А. Лисенко, Ю.Н. Воронов. Применение ультразвука для контроля качества сооружений из камня-ракушечника // Материалы к XXXVI международному семинару по проблемам моделирования и оптимизации композитов: «Компьютерное материаловедение и обеспечение качества». - Одесса, 1997 - С.115-116.
3. Ю.Н.Воронов, В.Н. Выровой, В.А. Лисенко, Р.Г. Чеботарь, О.В. Афтонюк. Применение ультразвукового метода для контроля качества реставрационных и защитных работ каменных сооружений // Материалы к XXXV международному семинару по проблемам материаловедения и оптимизации композитов: «Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении». - Одесса, 1996 - С.98-99.