

УДК 620.17: 691.32

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

¹С. П. Осипов, ¹О. С. Осипов, ¹А. А. Жантыбаев, ²И. И. Подшивалов, ²И. А. Прищеп

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,

г. Томск

В статье подчеркнута, что при оценке технического состояния бетона необходимо рассмотрение прочности бетона на сжатие как случайной величины. Обосновано представление плотности распределения прочности бетона взвешенной суммой плотностей распределения, характеризующих прочность ингредиентов бетона. Даны рекомендации по выбору приборов для измерения прочности.

Ключевые слова: бетон, прочность бетона на сжатие, случайная величина, плотность распределения, суперпозиция распределений.

Введение.

Прочность на сжатие является одной из основных характеристик строительных материалов [1], которую широко применяют для оценки качества бетона [2]. В основу неразрушающих приборов для измерения прочности бетона на сжатие положены измерения отклика, вносимого испытываемым объектом, в различные виды физических воздействий [3–6]: механических (статических и динамических), акустических, ультразвуковых, электромагнитных. Результаты единичных актов измерения прочности бетона могут существенно отличаться друг от друга, поэтому результат измерения прочности бетона рассматривается как случайная величина [7–9]. При исследовании бетонных изделий и сооружений в качестве оценки прочности принимается среднее значение по ограниченной выборке результатов измерений, объем выборки, как правило, не превышает 10. Следовательно, выборочное среднее прочности бетона также является случайной величиной. Задача анализа прочности бетона является трудной, так как сложно точно оценить по выборке малого объема наиболее полные характеристики случайной величины – плотность распределения вероятностей или набор центральных моментов. В работах [8–10] выдвинуты предположения относительно принадлежности прочности бетона к ряду

двухпараметрических распределений: нормальному и логнормальному; Вейбулла и Гумбеля. Параметры распределений характеризуют положение и рассеяние, в рассматриваемом случае, прочности бетона. В силу отмеченной выше сложности точной оценки выборочной плотности распределения у многих исследователей механических характеристик материалов (бетона, металлов, сплавов) прочность характеризуют наборами из двух – четырех параметров – мер положения и рассеяния. Например, в качестве мер положения традиционно анализируются среднее значение, медиана и мода, а в качестве меры рассеяния – среднеквадратичное отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса и т.д. Отметим, что параметры предполагаемых законов распределения также используются многими исследователями для характеристики прочности бетона. В ряде работ [11–13] предложено использовать для оценки технического состояния различных материалов кроме мер положения и рассеяния выборочные плотности распределения. В литературе не в полной мере обсуждены вопросы, связанные с корректным использованием статистической информации о прочности бетона.

Предварительное обсуждение.

Необходимость в более корректном использовании и интерпретации статистической

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

информации о прочности или другой механической характеристике материалов обусловлена пониманием неоднородности материалов по анализируемой характеристике на различных размерных уровнях (сантиметры, миллиметры, десятые, сотые и тысячные доли миллиметра). По размеру своих основных ингредиентов бетоны относятся к размерным группам – сантиметры и миллиметры. При экспериментальных измерениях проявление неоднородности испытуемого материала по той или иной механической характеристике (прочность на сжатие, твердость и т.п.) определяется размерами контактной части прибора, с помощью которой передается физическое воздействие от прибора к объекту. Контактную часть можно по аналогии с другими методами неразрушающих испытаний ассоциировать с понятием «апертура». Измеряемый параметр и в случае механических испытаний усредняется по «апертуре». Это означает, что применение приборов со значительным размером «апертуры» приводит к нивелированию влияния неоднородности структуры испытуемого материала на качество анализа. Под неоднородностью структуры материала понимается распределение размеров «зерен» ингредиентов (щебень, галька, поры и т.п.) по приповерхностному слою объекта испытаний. Эффект «апертуры» наиболее значимо проявляется при механических испытаниях бетонов с помощью ударно-импульсных измерителей со значительными размерами инденторов. Строительные сооружения в процессе эксплуатации испытывают неблагоприятные воздействия со стороны окружающей среды [14], приводящие к коррозии строительных материалов. На начальном этапе развития деградации строительного материала негативный процесс носит локальный, точечный характер. Отследить изменения прочности строительного материала на начальном этапе развития коррозионных поражений приборами с большой «апертурой» не представляется возможным. Целесообразно дать рекомендацию.

Рекомендация 1. Для отслеживания изменений в техническом состоянии строительных сооружений необходимо соотносить размеры контактной части измерителя прочности с характерными размерами ингредиентов и с размерами коррозионных повреждений начальной стадии деградации материалов.

Соблюдение рекомендации 1 и постоянный мониторинг позволят своевременно обнаружить развитие негативных тенденций в состоянии строительного сооружения и пред-

принять своевременные меры по ремонту или выводу сооружения из эксплуатации.

В работе [13] подчеркнута, что именно для бетонов наиболее характерна неоднородность по прочности, выраженность которой особенно заметна для бетонов, ингредиенты которых существенно различаются по прочности. Значимость упомянутого фактора подчеркивает рекомендация, близкая к [13].

Рекомендация 2. При анализе прочности бетонов как случайной величины следует учесть различие прочностных характеристик основных ингредиентов бетона.

Суть рекомендации 2 сводится к представлению анализируемой случайной величины суммой нескольких случайных величин.

Экспериментальные исследования.

На рис. 1 приведены [13] для иллюстрации выборочные плотности распределения g прочности бетона h . Измерения прочности проводились ультразвуковым и ударно-импульсным методами. Объем выборки в обоих случаях $n=101$.

Анализ данных, представленных на рис.1, свидетельствует о воспроизводимости измерения прочности и о выраженной левосторонней асимметрии выборочных плотностей распределения. Второй вывод подтверждается и результатами из работы [15].

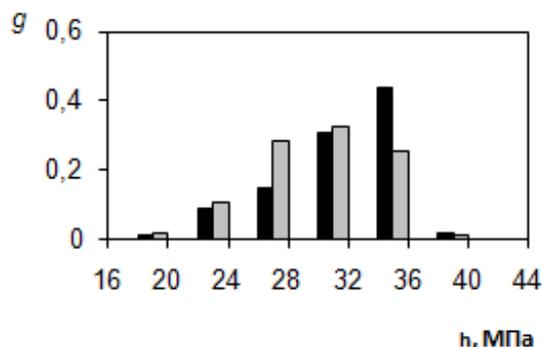


Рисунок 1 – Типичные выборочные плотности распределения прочности бетона на сжатие, где ■ – измерение ультразвуковым методом (Пульсар-1.1); ■ – измерение ударно-импульсным методом (Оникс-2.4)

В работах многих исследователей, в частности [15], приводятся выборочные распределения прочности, которые сложно отнести к тому или иному известному классу распределений. Автор работы [15] предпринял неимоверные усилия по описанию всего многообразия экспериментальных плотностей распределения прочности, забыв о возможной физической природе этого разнообразия,

связанной с естественной неоднородностью прочности бетона (смотри рекомендацию 2). Предпочтительно для описания выборочных плотностей распределения прочности воспользоваться суммой двух или нескольких взвешенных распределений.

В статьях [13, 16] продемонстрирована эффективность описания плотностей распределения механических характеристик бимодальными функциями. Наличие двух мод обнаруживается даже у сложных распределений, две моды у которых визуальнo не идентифицируются.

На рис. 2 для иллюстрации приведена экспериментальная гистограмма прочности бетона и аппроксимация бимодальной функцией с параметрами, определенными методом наименьших квадратов. Визуальное сравнение результатов свидетельствует об эффективности предлагаемого описания.

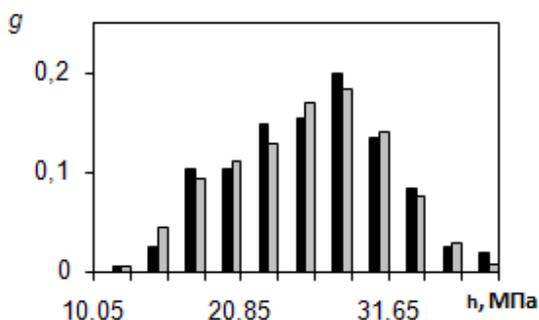


Рисунок 2 – Плотность распределения прочности бетона, где ■ – эксперимент; ■ – аппроксимация

Заключение.

При оценке технического состояния бетона необходимо рассмотрение прочности бетона на сжатие как случайной величины. В статье обосновано представление анализируемой случайной величины смесью случайных величин, характеризующих прочность ингредиентов бетона. Даны рекомендации по выбору приборов для измерения прочности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1986. 688 с.
2. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2010. № 36. С. 10-17.

3. Lin H., Xiong W. Review on the surface hardness of soft rock // *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2014. V. 19. pp. 4269–4279.

4. Фурса Т.В. Неразрушающий электромагнитный метод определения механической прочности изделий из композиционных диэлектрических материалов // *Физическая мезомеханика*. 2004. Т. 7. С. 307–310.

5. Akkaya Y., Voigt T., Subramaniam K.V., Shah S.P. Nondestructive measurement of concrete strength gain by an ultrasonic wave reflection method // *Materials and Structures*. 2003. V. 36. pp. 507–514.

6. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Ким, Л.В. Мониторинг железобетонных конструкций на основе неразрушающих испытаний бетона: методы контроля, критерии соответствия // *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2015. № 1 (22). С. 80–88.

7. Fairbairn E.M.R., Ebecken N.F.F., Paz C.N.M., Ulm F.J. Determination of probabilistic parameters of concrete: solving the inverse problem by using artificial neural networks // *Computers & Structures*. 2000. V. 78. pp. 497–503.

8. Lu C., Danzer R., Fischer F.D. Fracture statistics of brittle materials: Weibull or normal distribution // *Physical Review E*. 2002. V. 65. 067102 (4 p.).

9. Syroka-Korol E., Tejchman J., Mróz Z. FE calculations of a deterministic and statistical size effect in concrete under bending within stochastic elastoplasticity and non-local softening // *Engineering Structures*. 2013. V. 48. pp. 205–219.

10. Iervolino I., Galasso C. Comparative assessment of load-resistance factor design of FRP-reinforced cross sections // *Construction and Building Materials*. 2012. V. 34. pp. 151–161.

11. Лебедев А.А., Маковецкий И.В., Музыка Н.Р., Волчек Н.Л., Швец В.П. Оценка поврежденности материала по рассеянию характеристик упругости и статической прочности // *Проблемы прочности*. 2006. № 2. С. 5–14.

12. Осипов С.П., Осипов О.С. Подшивалов, И.И., Берженару Н.В., Жантыбаев А.А. Оценка технического состояния металлических изделий по плотности распределения твердости по Роквеллу // *Вестник ТГАСУ*. – 2015. – № 1 (48). – С. 122–131.

13. Осипов С.П., Осипов О.С., Жантыбаев А.А., Подшивалов И.И., Прищеп И.А., Берженару Н.В. Об оценке технического состояния бетонных изделий по прочности // *Вестник ТГАСУ*. 2015. № 5 (52). С. 90–100.

14. Подшивалов И.И., Мананков А.В., Осипов, С.П. Обобщенная схема химических и биологических коррозионных воздействий на защищенное строительное сооружение // *Известия вузов. Строительство*. 2008. № 1. С. 12–17.

15. Kilinc K., Celik A.O., Tuncan M., Tuncan A., Arslan G., Arioz O. Statistical distributions of in situ microstrength concrete strength // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 26. pp. 393–403.

16. Xu J., Corr D.J., Shah S.P. Nanomechanical investigation of the effects of nanoSiO₂ on C–S–H gel/cement grain interfaces // *Cement and Concrete Composites*. 2015. V. 61. pp. 7–17.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

Осипов Сергей Павлович – к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории технической томографии и интроскопии, тел.: 8(3822) 41-78-14, E-mail: osip1809@rambler.ru;

Осипов Олег Сергеевич – к.ф.-м.н., инженер-исследователь лаборатории технической томографии и интроскопии;

Жантыбаев Алибек Айвар-Бауржанович – магистрант кафедры ФМПК;

Подшивалов Иван Иванович – к.т.н., доцент кафедры ОФиИС;

Прищепа Инга Александровна – старший преподаватель кафедры СМиТ.