

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПЕНОБЕТОНА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СТАТИСТИКИ

Гара Ан.А., к.т.н., доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
garyc@mail.ua

Аннотация. Исследуется послойная неоднородность распределения характеристик стойкости и прочностных показателей в массиве безавтоклавного конструкционно-теплоизоляционного пенобетона. Рассмотрены статистические характеристики результатов натуральных и вычислительных экспериментов для анализа свойств пенобетонов. Использование метода размножения выборок открывает дополнительные возможности для анализа свойств материала исследователем. В результате вычислительных экспериментов построено распределение коэффициента водостойкости пенобетона и определены границы интервальных оценок.

Ключевые слова: безавтоклавный пенобетон, бутстреп-метод, коэффициент водостойкости, послойная неоднородность.

ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІНОБЕТОНУ МЕТОДАМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СТАТИСТИКИ

Гара А.О., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
garyc@mail.ua

Анотація. Досліджується пошарова неоднорідність розподілу характеристик стійкості і показників міцності в масиві безавтоклавного конструкційно-теплоізоляційного пінобетону. Розглянуті статистичні характеристики результатів натурних і обчислювальних експериментів для аналізу властивостей пінобетонів. Використання методу розмноження вибірок відкриває додаткові можливості для аналізу властивостей матеріалу дослідником. В результаті обчислювальних експериментів побудовано розподіл коефіцієнта водостійкості пінобетону і визначені межі інтервальних оцінок.

Ключові слова: безавтоклавний пінобетон, бутстреп-метод, коефіцієнт водостійкості, пошарова неоднорідність.

EVALUATION OF FOAM CONCRETE PROPERTIES USING COMPUTATIONAL STATISTICS METHODS

Gara A.A., PhD., Assistant Professor,
Odessa State of Civil Engineering and Architecture
garyc@mail.ua

Abstract. This study is focused on the issue of improving the characteristics of non-autoclave foam concrete. The author considers the foam concrete as a perspective material which does not need a complicated technology and significant costs for energy. The main imperfections of foam concrete were studied, e.g. inhomogeneity of property distribution, deterioration of characteristics of the material at water saturation, low rates of compressive strength, etc. During the natural experiment a 75 samples-cubes in dry and water-saturated condition were tested on compressive strength and the water

resistance coefficient was calculated. The water resistance coefficient can be calculated just one time because it is calculated as the ratio of the average dry strength to medium-strength of foam concrete saturated with water. The multiple reproduction of the samples (bootstrap, bootstrapping) was used for analyzing the material properties. This method was used for building a water resistance coefficient distribution. Some characteristics obtained in the natural and computational experiments were compared. The use of the multiple reproduction of the samples method gives the additional capabilities for material properties research. For example, it is possible to define how the properties were distributed in zones of minimal and maximal values and to define the limits of internal estimates.

As a result of methods mentioned above we got the information that could not be obtained without the computer technology.

One of the techniques of improvement of material quality is the increasing average water resistance coefficient and the decreasing the coefficient of variation in the distributions which were obtained through the multiple methods of data processing.

Keywords: non-autoclave foam concrete, bootstrapping, water resistance coefficient, layer inhomogeneity.

Введение. Энергоэффективность является одним из приоритетных направлений развития науки и техники Украины до 2020 года, указанных в Законе Украины №2623-14 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».

Перспективными энергосберегающими строительными материалами, признанными строителями в большинстве стран мира, являются изделия из ячеистого бетона. Основными преимуществами являются широкий диапазон технических показателей и теплоизоляционных свойств, вследствие чего, ячеистый бетон может быть использован для изготовления широкой номенклатуры штучных изделий различного назначения, а также как монолитный тепло- и звукоизоляционный материал. Наибольшее распространение на территории Украины в данный момент получили автоклавные газосиликаты, однако, технология их производства требует обязательного применения помольного оборудования и автоклавной обработки, что значительно увеличивает стоимость готового материала. Кроме того, газосиликаты невозможно использовать в качестве монолитного теплоизоляционного материала при использовании несъемной опалубки.

Среди разнообразия ячеистых бетонов особое место занимают безавтоклавные пенобетоны (БПБ). Это связано со сравнительно простой технологией их производства, распространенной сырьевой базой и невысокой энергоемкостью.

К недостаткам БПБ можно отнести неоднородность распределения свойств по объему, ухудшение характеристик материала при водонасыщении, низкие прочностные характеристики (по сравнению, например, с газобетоном, имеющим аналогичную марку по средней плотности).

Использование методов компьютерной статистики при решении инженерных задач направленных на улучшение свойств материалов открывает для исследователя дополнительные возможности при регулировании технологических параметров производства и анализе характеристик готового продукта. Использование таких методов при решении ряда задач строительного материаловедения позволяет получать дополнительную информацию о свойствах материала [1-4], совершенствовать его технологию.

Цели и задачи. Основной задачей исследовательской работы является анализ свойств безавтоклавных пенобетонов, которые получены в заводских условиях по кассетной технологии без тепловой обработки. В данной работе, произведен анализ прочностных характеристик материала до и после экспозиции в воде, применен метод позволяющий извлечь дополнительную информацию о стойкости материала.

О бутстреп-методе. Анализ результатов исследований в области строительного материаловедения в ряде случаев может быть существенно углублен с помощью методов компьютерной статистики. Следует отметить, что эти методы нередко дают информацию, которую нельзя получить иными способами без очень больших затрат материальных и временных ресурсов.

Один из таких методов в 1979 году предложил Б. Эфрон [5]. Это bootstrap – метод многократного воспроизведения достаточно больших массивов экспериментальных данных.

Основная идея бутстрепа по Эфрону состоит в том, чтобы методом статистических испытаний (Монте-Карло) многократно извлекать повторные выборки из эмпирического распределения. А именно: берется конечная совокупность из n вариантов исходной выборки $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$, откуда на каждой из n последовательных итераций с помощью датчика случайных чисел, равномерно распределенных на интервале $[1, n]$, «вытягивается» произвольный элемент x_k , который снова «возвращается» в исходную выборку (т.е. может быть извлечен повторно). Например, при $n = 6$ одна из таких комбинаций имеет вид $x_4, x_2, x_2, x_1, x_4, x_5$, т.е. одни элементы могут повторяться два или более раз, тогда как другие элементы отсутствовать [5, 6].

Таким способом можно сформировать любое, сколь угодно большое число бутстреп-выборок (обычно 5000-10000). На основе разброса значений анализируемого показателя, полученного в процессе имитации, можно построить, например, доверительные интервалы оцениваемого параметра. Тем самым бутстреп представляет собой более экономный способ статистического исследования, использующий всю вычислительную мощь компьютера, но позволяющий обойтись без дополнительных натуральных измерений [7].

На рис. 1. представлены три псевдовыборки из исходного набора шести наблюдений. Практически, разумеется, генерируют сотни или тысячи псевдовыборок, а не только три. Естественными ограничениями здесь являются затраты компьютерного времени и отчасти размер эмпирической совокупности n ; число возможных вариантов носит комбинаторный характер.

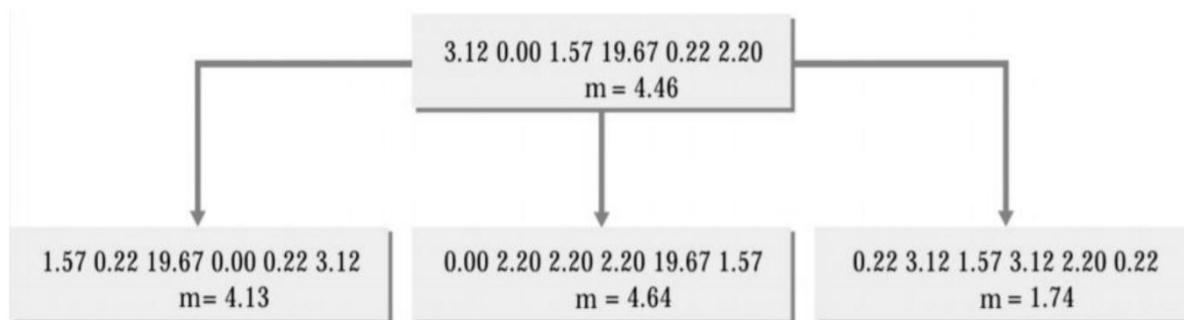


Рис. 1. Идея бутстрепа

Верхний блок на рис. 1 включает эмпирическую выборку из 6 значений. Три нижних блока являются псевдовыборками, случайно составленными из элементов исходной выборки. Рассчитана статистическая характеристика – выборочное среднее m – как для исходной совокупности, так и для каждой псевдовыборки.

Результаты исследования. Использование бутстрепа при решении ряда задач строительного материаловедения [1-4] позволило получить нетривиальные результаты. Некоторые особенности бутстреп-метода (в одной из версий ОГАСА) показаны на примере решения задачи о доверительных интервалах коэффициента водостойкости K_w пенобетона объемной массы 600 кг/м^3 .

При исследовании послойной неоднородности плотности и механических свойств пенобетонных блоков (одного замеса) были испытаны на прочность при сжатии по 75 выпиленных из массива кубиков $10 \times 10 \times 10$ см в сухом (R_d) и водонасыщенном (R_w) состоянии. Образцы в эти две группы отбирались случайно, поскольку дисперсионный анализ позволил принять (с риском около 0.05) гипотезу об однородности пенобетонных блоков по прочности.

Статистические характеристики результатов натуральных испытаний приведены в табл. 1 (незначимые оценки A и E отмечены *); полигоны распределений – на рис. 2.

Таблица 1 – Характеристики распределений показателей качества пенобетона

Эксперимент	Показатель качества	Число элементов n	Среднее Y_{av}	Стандарт s	Кэф. вариации v	Асимметрия A	Экцесс E	Y_{min}	Y_{max}	$D = Y_{max} - Y_{min}$	Квантиль Q_{05}	Квантиль Q_{95}
Натурный	R_d	74	11.25	1.87	0.166	0.19*	0.42*	7.30	16.60	9.30	8.00	14.00
	R_w	72	8.44	1.00	0.118	0.54	-0.20*	6.70	10.70	4.00	7.00	10.39
Вычислительный	R_{dc}	10000	11.23	1.85	0.165	0.17	0.31	7.30	16.60	9.30	7.80	14.00
	R_{wc}	10000	8.42	0.98	0.116	0.55	-0.19	6.70	10.70	4.00	7.00	10.50
	K_{wc}	10000	0.771	0.162	0.210	0.89	1.12	0.404	1.466	1.06	0.554	1.074

Коэффициент водостойкости (по средним) $K_w = 0.750$; если максимальные значения в распределениях R_d и R_w отличаются на 55%, то минимальные – на 9%.

Вне зависимости от числа испытанных образцов-близнецов по натурным данным определяется лишь одно значение K_w . Закон распределения для коэффициента стойкости можно получить аналитически [2], но при соблюдении ряда требований, трудно выполнимых на практике. Однако, можно получить распределение K_w в вычислительном эксперименте по бутстреп-методу [1-3].

В данном случае анализируется распределение стойкости, определяемой не по средним значениям прочности в партии образцов, а в предельном случае – по одной паре образцов.

Вычислительный эксперимент начинается с формирования из данных натурального эксперимента новой выборки. Случайным образом отбирается элемент вариационного ряда (например, #1, с $R_d = R_{d.min} = 7.30$ МПа) – и сразу возвращается на место.

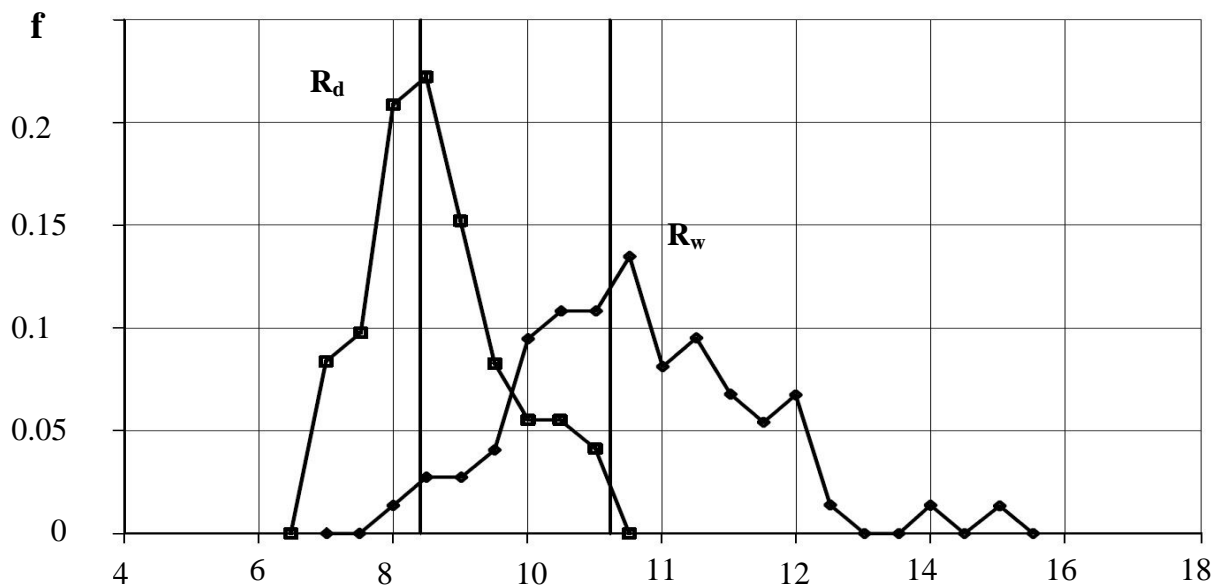


Рис. 2. Полигоны распределений прочности сухих R_d и водонасыщенных R_w образцов в натурном эксперименте

Таким образом, этот элемент может попасть в генерируемую выборку объема n от 0 до n раз, что существенно изменит новые выборки (в ряде задач так клонируются и сами исходные выборки [1-4]).

В данном случае генерированы новые случайные ряды прочности, по которым получено 10000 значений K_w (табл. 1 и рис. 3). Статистические характеристики генерированных распределений прочностей практически равны таковым в натурном эксперименте, а распределение K_{wc} представляет собой ранее не доступную информацию. Средний уровень $K_{wc} = 0.771$, а наименьший (с 5% риском) – 0.554.

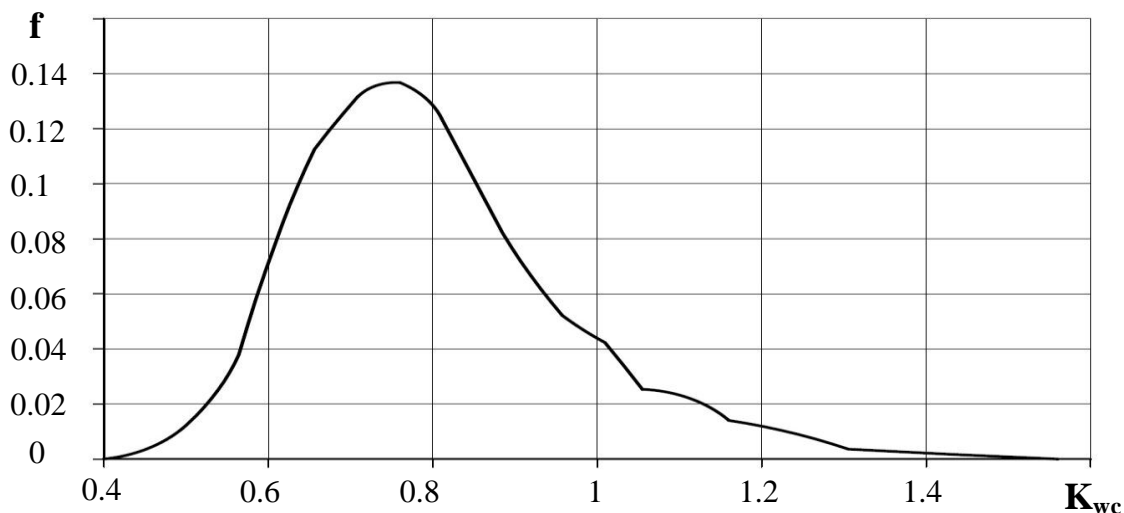


Рис. 3. Распределение коэффициента водостойкости K_{wc} по результатам вычислительного эксперимента

Выводы:

1. В результате применённых методов обработки результатов испытаний получена информация, которую невозможно получить без использования компьютерной технологии.
2. Повышение качества материала может быть достигнуто не только за счет увеличения среднего показателя коэффициента водостойкости, но и уменьшения коэффициента его вариации, интервальные оценки которого могут быть получены благодаря использованию методов компьютерного размножения данных.

Литература

1. Voznesensky V. Experimental-Statistical Modelling in Computational Materials Science / V. Voznesensky, T. Lyashenko // Одесса: Астропринт, 1998. – 32 с.
2. Вознесенский В.А. Вычислительные эксперименты с результатами натуральных экспериментов в компьютерном материаловедении / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко // Вопросы современного строительного материаловедения и строительства: Сб. науч. ст. – Львов, 1998. – С. 42-50.
3. Вознесенский В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко // Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.
4. Вознесенский В.А. Бутстреп – компьютерное «клонирование» данных натурального эксперимента / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко // Моделирование и оптимизация в материаловедении: Мат-лы 42-го междунар. сем. МОК'42. – Одесса: Астропринт, 2003. – С. 3-5.
5. Efron B. Bootstrap methods: another look at jackknife / B. Efron // The Annals of Statistics, v.7, N1, 1979. – pp. 1-26.
6. Anatolyev S. The basics of bootstrapping / S. Anatolyev // Quantile, No.3, 2007. – pp. 1-12.
7. Шитиков В.К. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг // Тольятти: Кассандра, 2013. – 314 с.

Стаття надійшла 28.11.2016