

doi: 10.51639/2713-0576\_2024\_4\_2\_21

УДК 691.32

ГРНТИ 67.09.33

ВАК 2.1.5

## **Оценка адекватности определения упругих характеристик бетонных образцов**

\* Рязских А.И., Дмитриенко В.А.

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ,  
346506, Россия, г. Шахты, ул. Шевченко, 147*

email: \* [alex.ryazhskih@mail.ru](mailto:alex.ryazhskih@mail.ru), [vadmitrienko@rambler.ru](mailto:vadmitrienko@rambler.ru)

### **Аннотация**

Для обеспечения объективности проектных решений при использовании современных методов расчётов требуется введение упругих характеристик бетона в качестве исходных данных. Целью исследования является оценка точности определения упругих характеристик бетонных образцов при их испытании на сжатие.

Оценка выполнена при проведении исследований тяжёлого бетона, а также модифицированных составов мелкозернистого и опилкобетона.

Испытания образцов проводились по специально разработанной методике, в автоматическом режиме с синхронизацией нагружения и измерения продольных деформаций при испытании образцов бетона на сжатие, что позволило определять модуль упругости и модуль полной деформации с минимальными затратами труда и материалов.

На основе статистической обработки результатов испытаний определены коэффициенты вариации и ошибки измерений по каждому составу.

*Ключевые слова:* бетон, модуль упругости, деформации, кубики, прочность, плотность.

### **Теория и методы исследования**

В настоящее время проектирование сложных конструкций или объектов осуществляется, как правило, с применением программных комплексов.

При расчётах в качестве исходных данных требуется введение таких характеристик материалов как модуль упругости и коэффициент Пуассона, а иногда и модуль полной деформации.

Такие показатели производителями бетонных смесей не приводятся, поэтому в расчётах используются справочные данные [1].

Однако с каждым годом увеличиваются объёмы применения модифицированных составов, характеристики которых могут значительно отличаться от справочных.

Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона осуществляется при испытании призм из бетона. Причём нагружение образца должно производиться до уровня  $40 \pm 5\%$  ступенями, равными 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки, с сохранением в пределах каждой ступени скорость нагружения ( $0,6 \pm 0,2$ ) МПа/с. Кроме этого на каждой ступени производится выдержка нагрузки от 4 до 5 мин с фиксацией показаний приборов в начале и в конце выдержки ступени. Выполнить такие требования может только высококлассный специалист, имеющий значительный опыт работы с прессовым оборудованием.

Поэтому разработка методики, упрощающей получение упругих характеристик является весьма актуальной. Однако в этом случае возникает вопрос о достоверности исследований. Он может быть решен при статистической обработке результатов измерений, которая заключается в следующем: задается определенная точность измерений; проводится несколько измерений; с использованием методов статистики рассчитывается точность измерений, если она не превышает заданной, то измерения прекращают; если же требуемая точность не достигнута, то измерения продолжают пока результат не будет соответствовать заданному. В этом случае потребуется увеличение числа испытаний и соответственно количества образцов. Это приведёт к значительному росту затрат труда и материалов на проведение исследований [2].

С целью снижения затрат предлагается определять модуль упругости по результатам определения прочности бетона на сжатие с автоматизацией фиксации нагрузки и продольных деформаций весь период нагружения образца до разрушения через заданные интервалы времени. Это позволит более точно выдерживать скорость нагружения, а по полученному графику нагружения устанавливать требуемый интервал для расчёта напряжений образца в зависимости от предельной нагрузки [3].

Точность измерений и соответствующих расчётов существенно возрастают поскольку влияние человеческого фактора минимально.

### **Полученные результаты и их обсуждение**

На данном этапе исследований проведена оценка точности определения плотности, прочности на сжатие и модуля упругости четырёх составов бетона: контрольный, два мотивированных полипропиленовой фиброй и опилкобетона.

В качестве характеристики точности оценки и ширины доверительного интервала использован относительный показатель точности.

$$E = \Delta x / \bar{x}.$$

Числовое значение показателей  $\Delta x$  и  $E$  определяется расчётным путём с использованием результатов измерений и в соответствии с правилами прикладной статистики и определением выборочной средней  $\bar{x}$ , среднего квадратического отклонения, дисперсии и абсолютной погрешности (отклонения). В зависимости от числа измерений в каждой выборке и принятой доверительной вероятности принимался коэффициент распределения Стьюдента. Результаты испытаний образцов и расчётов статистических показателей приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Результаты испытаний

Состав	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Модуль упругости, МПа
Контрольный	2338.515	29.912	242.986
	2251.774	22.478	178.731
	2325.246	29.411	330.483
	2217.019	30.666	271.586
Среднее значение	2283.138	28.117	255.947
Коэффициент варьирования	0,026	0,135	0,246
Показатель точности, %	3,98	20,65	37,7
Модифицированный 1% фибры	2241.000	28.602	285.263
	2264.000	33.617	294.724
	2276.000	33.216	297.939
	2277.000	32.319	302.472
	2280.000	31.701	283.277
	2278.000	25.239	233.819
Среднее значение	2269.333	30.619	279.377
Коэффициент варьирования	0,007	0,105	0,089
Показатель точности, %	0,95	15,18	12,8
Модифицированный 2% фибры	2231.000	23.267	207.163
	2119.208	30.571	444.518
	2256.000	30.412	308.033
	2212.000	32.413	294.156
	2219.000	28.167	280.536
Среднее значение	2207.441	30.391	331.811
Коэффициент варьирования	0,024	0,122	0,281
Показатель точности, %	3,49	18,0	41,59
Опилкобетон	1588.720	20.893	214.867
	1534.564	19.012	97.226
	1367.396	14.045	103.050
	1378.984	12.069	55.772
	1533.000	18.994	80.087
	1528.000	19.935	128.876
	1553.000	20.803	150.078
	1524.000	22.434	187.162
Среднее значение	1500.958	18.523	127.140
Коэффициент варьирования	0,054	0,194	0,427
Показатель точности, %	7,61	27,14	59,75

Для визуального представления отклонения показателей в пределах одной выборки на рисунках 1 и 2 представлены зависимости прочности на сжатие и модуля упругости от плотности контрольного состава бетона.

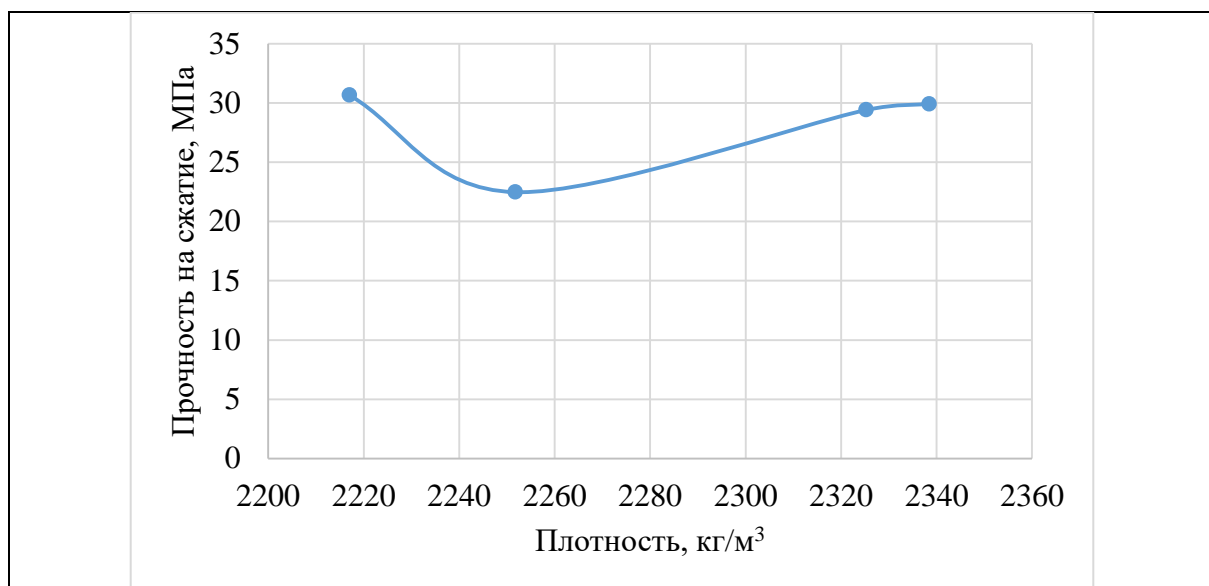


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие от плотности образцов без добавок (разработано автором)

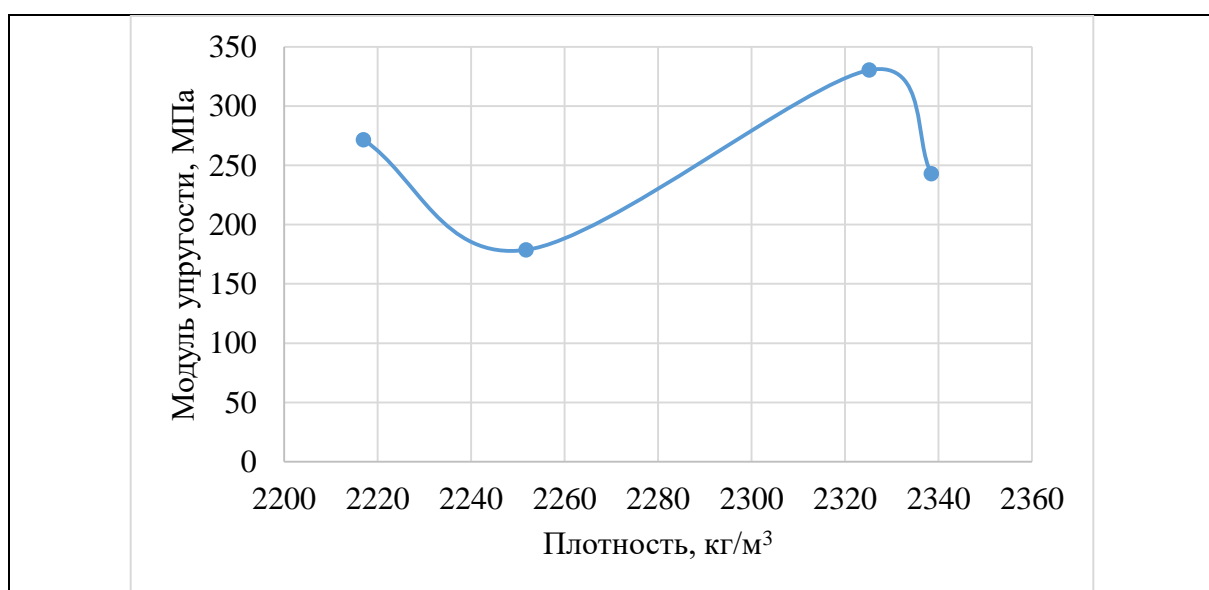


Рис. 2. Зависимость модуля упругости от плотности образцов без добавок (разработано автором)

Анализ представленных результатов показывает, что с усложнением процесса измерений значительно возрастает коэффициент варьирования и показатель точности, несмотря на удаление из выборок значений с максимальным отклонением от генеральной средней.

То есть для многокомпонентных систем вероятность значительных отклонений механических показателей даже в пределах одного замеса не редкость, поэтому применение статистической обработки данных является необходимым условием получения достоверных характеристик материалов. В свою очередь это потребует увеличения числа испытаний.

В этой связи обоснование предложенной методики определения модуля упругости будет иметь очень важное значение с точки зрения затрат.

### **Конфликт интересов**

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 24452-2023. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона: межгосударственный стандарт: издание официальное: дата введения 2014-01-01 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева. – Москва: Российский институт стандартизации, 2024. – 16 с.; 29×21 см. – Библиогр.: с. 6
2. Низина Т.А. Экспериментальные исследования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов / Низина Т.А., Балыков А.С., Сарайкин А.С. Текст: непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 4. – С. 91-95.
3. Страданченко С.Г. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства / Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н – Текст: непосредственный // Инженерный вестник Дона, – 2013, – №4. – С. 2-4.

### **Assessment of the adequacy of determining the elastic characteristics of concrete samples**

\*Ryazhskih A.I., Dmitrienko V.A.

<sup>1</sup>*Institute of Service and Entrepreneurship (branch) of DSTU, 147 Shevchenko str.,  
Shakhty, 346506, Russia*

email: \* [alex.ryazhskih@mail.ru](mailto:alex.ryazhskih@mail.ru), [vadmitrienko@rambler.ru](mailto:vadmitrienko@rambler.ru)

To ensure the objectivity of design decisions when using modern calculation methods, it is necessary to introduce the elastic characteristics of concrete as initial data. The purpose of the study is to assess the accuracy of determining the elastic characteristics of concrete samples during compression testing. The assessment was carried out during studies of heavy concrete, as well as modified compositions of fine-grained and sawdust concrete. The samples were tested using a specially developed method, in an automatic mode with synchronization of loading and measurement of longitudinal deformations when testing concrete samples for compression, which made it possible to determine the elastic modulus and the total deformation modulus with minimal labor and materials. Based on statistical processing of test results, the coefficients of variation and measurement errors for each composition were determined.

*Keywords:* concrete, modulus of elasticity, deformations, cubes, strength, density.

## **References**

1. GOST 24452-2023. Concrete. Methods for determining the prismatic strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio: interstate standard: official publication: date of introduction 2014-01-01 / developed by the A.A. Gvozdev Scientific Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete. – Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024. – 16 p. ; 29×21 cm. – Bibliogr.: p. 6
2. Nizina T.A. Experimental studies of dispersed-reinforced fine-grained concretes / Nizina T.A., Balykov A.S., Saraykin A.S. Text: direct // Academic Bulletin of UralNIIproekt RAASN. – 2015. – No. 4.- pp. 91-95.
3. Stradanchenko S.G. Development of effective fiber concrete compositions for underground construction / Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeiskov V.N. – Text: direct // Engineering Bulletin of the Don, – 2013, – No.4. – pp. 2-4.