

## Некоторые аспекты начального модуля упругости бетонов скомпенсированной усадкой на туфовых заполнителях Кабардино-Балкарии

*Б.Х. Бештоков, М.А. Бирсов, А.А. Хутов, А.В. Черкесов*

*Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик*

**Аннотация:** Статья посвящена результатам исследований начального модуля упругости туфобетонов на природных пористых заполнителях Кабардино-Балкарии, с компенсированной усадкой с приготовленные с применением расширяющей добавки, как на кварцевых так и на туфовых песках. В статье приводятся результаты экспериментов по определению начального модуля упругости туфобетонов разных рецептур приготовления. Предлагаются значения поправочных коэффициентов в общеизвестной формуле зависимости начального модуля упругости легкого бетона от его кубиковой прочности и объемного веса сухого бетона в зависимости от рецептуры туфобетонов.

**Ключевые слова:** модуль упругости, туфобетоны, легкие бетоны, пористые заполнители, туф, туфовые пески, компенсированная усадка

В действующих нормах СП (СНиП) характеристикой упругости (легкого) бетона при кратковременной нагрузке принимается начальный модуль упругости  $E_{\sigma}$ , который представляет собой отношение  $\frac{\sigma}{\varepsilon}$  при величине  $\sigma \leq 0.3R_{pr}$ , где  $\sigma$  – нормальные напряжения,  $\varepsilon$  – относительные деформации, а  $R_{pr}$  – нормативная призмная прочность бетона. Условно считается, что при нагрузке менее 30%  $R_{pr}$  пластические деформации легкого бетона очень малы, и поэтому до этого предела наблюдается линейная зависимость между напряжениями и деформациями.

Исходя из соображений, что бетон является многокомпонентной системой, ряд исследователей вывели некоторые зависимости между упругими свойствами бетона и составляющих его компонентов.

На сегодняшний день наиболее распространенной моделью для описания зависимости модуля упругости бетонов от свойств составляющих его компонентов является модель Хирча, описываемая уравнением [1-3]:

$$E_0 = \frac{2}{\frac{1}{\varphi_{щ} E_{щ} + \varphi_p E_p} + \frac{\varphi_{щ}}{E_{щ}} + \frac{\varphi_p}{E_p}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{щ}, \varphi_p$  – объемная концентрация щебня, раствора;

$E_{щ}, E_p$  – модуль упругости щебня и раствора.

Для расчета по вышеприведенным формулам (данным моделям), необходимо владеть данными о модулях упругости составляющих компонентов, что иногда является затруднительным. Поэтому для большего удобства многие исследователи модуль упругости ставят в зависимость от его кубиковой прочности и объемного веса сухого бетона. На данный момент времени наибольшим признанием пользуется формула, предложенная в [3], которая получена в результате анализа многочисленных экспериментальных данных, а также более 70 формул, предложенных разными исследователями. Она применима как для тяжелых, так и для легких бетонов:

$$E_0 = \left[ \frac{0,05R_{пр} + 57}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{пр}}} \right] \left( \frac{\rho}{2,4} \right)^{1,25} K \quad (2)$$

Модуль упругости бетонов зависит от многих факторов, главными из которых являются свойства и качества заполнителей, количество и активность цемента, объем вовлеченного воздуха и В/Ц, состава и плотности бетона.

У легких бетонов из-за пористого заполнителя предполагается меньший модуль упругости, по сравнению с равнопрочными тяжелыми бетонами, что подтверждают многочисленные опыты [2-5]. Поэтому естественно ожидать, что в туфобетонах на кварцевых песках значения модуля упругости будут несколько выше в сравнении с туфобетонами на пористых песках.

Низкий начальный модуль упругости легкого бетона при прочих равных условиях, с одной стороны, вызывает большой прогиб, а с другой - меньшие напряжения при деформациях от внешних воздействий (изменение температуры при применении неразрезных многопролетных конструкций, при осадке опор, при динамических нагрузках и т.д.).

Известно, что бетоны, приготовленные на напрягающих цементах, имеют более плотную структуру в сравнении с бетонами на рядовых ПЦ, вследствие чего имеют повышенные деформативные показатели [2].

В настоящей работе изучался начальный модуль упругости бетонов с компенсированной усадкой на пористых заполнителях Кабардино-Балкарской Республики (КБР) как на кварцевом, так и на туфовом песке.

Для компенсации усадочных деформаций использовалась расширяющая добавка сульфаминатного типа в количестве 12,5% массы портландцемента. Состав и дозировка были определены по методике проф. Г.В. Несветаева. Были изготовлены и испытаны образцы призмы из туфобетонов с компенсированной усадкой на кварцевом и на туфовом песке, с различной концентрацией крупного заполнителя 0,35-0,45 (или 0,7-0,9 от объема насыпной плотности). Испытания проводились в сравнении с образцами, изготовленными на рядовом портландцементе, с одинаковыми составами. Подвижность бетонной смеси всех составов при этом была равна 4–6см осадки стандартного конуса. После формования все образцы хранились в нормальных условиях.

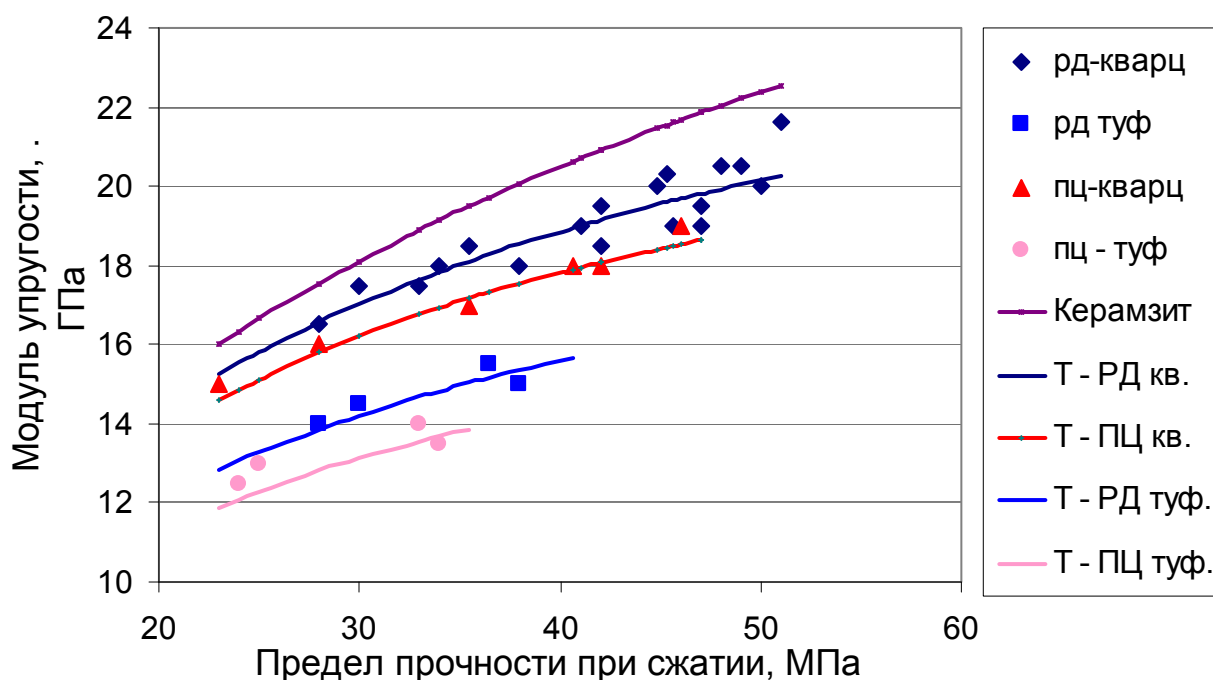


Рис. 1. Зависимости модулей упругости туфобетонов от предела прочности на сжатие.

Методика испытаний туфобетонов производилась по ГОСТ 24452.

Из результатов исследований бетонов на пористых заполнителях Кабардино-Балкарии на кварцевых и на туфовых песках, представленных на рис.1 видно, что начальный модуль упругости у туфобетонов на кварцевых песках выше, чем у равнопрочных туфобетонов на пористых песках в среднем на 20-25 %. Это справедливо для туфобетонов как с РД, так и без нее. Такой рост начального модуля упругости вполне согласуется с известными данными СНиП.

Результаты испытаний также показали, что использование РД повышает модуль упругости у туфобетонов на 5–9%. Наименьшую эффективность от использования расширяющей добавки показали образцы туфобетонов, приготовленных на кварцевых песках, хотя в абсолютном выражении они имеют больший прирост значений модуля упругости.

Как видно из графиков на рис.1, из всех рассматриваемых бетонов на пористых заполнителях КБР, наибольшие значения модуля упругости наблюдаются у туфобетонов с компенсированной усадкой на кварцевом песке, но все же на 10% ниже значений модуля упругости равнопрочных керамзитобетонов.

Повышенный начальный модуль упругости туфобетонов с расширяющимися добавками в сравнении с портландцементными туфобетонами определяются более плотной структурой полученного бетона, меньшей величиной общей пористости растворной составляющей и её мелкопористой структурой. Расширение бетонов в начальный период твердения, способствует лучшему уплотнению растворной матрицы, адгезии растворной составляющей к заполнителю и упрочнением контактной зоны между растворной составляющей и развитой поверхностью заполнителя, что улучшает деформативные свойства контактной зоны 30-220 мкм [6-10]

Данные испытаний образцов туфобетона в 180 суточном возрасте подтверждают вышеприведенные результаты.

Экспериментально полученные результаты были сопоставлены с данными полученными другими авторами на тяжелых заполнителях, а также с теоретическими значениями, полученными по формуле (2) для керамзитобетона в результате, которого выявлены корректирующие коэффициенты начального модуля упругости туфобетонов в зависимости от рецептуры (таблица 1).

Таблица 1

Значение поправочного коэффициента К формулы (2) в зависимости от рецептуры туфобетонов

Керамзито-бетон	ТУФОБЕТОНЫ			
	РД + кварц. песок	ПЩ + кварц. песок	РД + туф. песок	ПЩ + туф. песок

---

---

1	$1-0,0018 \cdot R_{pr}$	$0,97-0,00225 \cdot R_{pr}$	$0,86-0,00225 \cdot R_{pr}$	$0,8-0,00225 \cdot R_{pr}$
	0,92...0,965	0,88...0,93	0,77...0,815	0,71...0,755

Таким образом, применение РД повышает начальный модуль упругости у туфобетонов до 9%, а использование кварцевого песка вместо пористого песка повышает до 25 % начальный модуль упругости туфобетонов. Наибольшие значения модуля упругости наблюдаются у туфобетонов с компенсированной усадкой на кварцевом песке, но все же на 10% ниже значений модуля упругости равнопрочных керамзитобетонов.

#### Литература:

1. Симонов М.З. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1955. 254 с.
2. Ахматов М.А. Эффективность применения легких бетонов и железобетонных конструкций на заполнителях из каменных отходов и рыхлых пористых пород вулканического происхождения: Дисс. ... докт. тех. наук 05.23.01, 05.23.05- Ростов-на-Дону 1999. 514 с.
3. Несветаев Г.В. Закономерности деформирования и прогнозирование стойкости бетонов при силовых и температурных воздействиях: Автореферат дисс. ... докт. тех. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону 1998. 47с.
4. Маилян Р.Л. Ахматов М.А. Железобетон на пористых каменных отходах. М.: Стройиздат, 1987. 208с.: ил.
5. Бычков М.В. Самоуплотняющиеся бетоны пониженной плотности с применением вулканического туфа // Инженерный вестник Дона 2013, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1775](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1775).



6. Налимова А.В. Влияние комплексной полимерной добавки на прочность и усадочные деформации цементного камня // Инженерный вестник Дона 2012, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/ n1y2012/737
7. Несветаев Г.В., Жильникова Т.Н. Метод прогнозирования марочной прочности бетона // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы 3-й Международ. конф. Ростов-на-Дону, 2004. С. 433-445.
8. Brandl Johannes. Selbstverdichtender Beton beim Bau eines U-Bahnhofs // Beton, -№9, 2003, 53, PP. 424-427.
9. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro. Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. Vol. 1. 2003. №1, PP. 5-15.
10. Пирадов А.Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона, М.: Стройиздат, 1973. 124 с.

### References

1. Simonov M.Z. Beton i zhelezobeton na poristykh zapolnitelyakh [Concrete and reinforced concrete on porous aggregates]. М.: Stroyizdat, 1955. 254 p.
2. Akhmatov M.A. Effektivnost' primeneniya legkikh betonov i zhelezobetonnykh konstruktsiy na zapolnitelyakh iz kamennykh otkhodov i rykhlykh poristykh porod vulkanicheskogo proiskhozhdeniya: Diss. ... dokt. tekhn. nauk 05.23.01, 05.23.05-Rostov-na-Donu 1999. 514 p. [Efficiency of using lightweight concrete and reinforced concrete structures on aggregates from stone waste and loose porous rocks of volcanic origin .: Thesis. ... Doctor of Technical Sciences 05.23.01, 05.23.05. Rostov-on-Don 1999. 514 pg]
3. Nesvetaev G.V. Zakonomernosti deformirovaniya i prognozirovaniye stoykosti betonov pri silovykh i temperaturnykh vozdeystviyakh: Avtoreferat diss. ... dokt. tekhn. nauk.: 05.23.05. Rostov-na-Donu 1998. [Regularities of deformation and prediction of the resistance of concretes for power and temperature effects: the Abstract of the thesis of a Dr.Sci.Tech .: 05.23.05. Rostov-on-Don 1998. 47 p.]



4. Mailyan R.L. Akhmatov M.A. Zhelezobeton na poristyykh kamennykh otkhodakh [Reinforced concrete from porous stone aggregates]. M.: Stroyizdat, 1987. 208 pg.
5. Bychkov M.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus) 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1775](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1775).
6. Nalimova A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus) 2012, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/737](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/737).
7. Nesvetaev G.V., Zhil'nikova T.N. Beton i zhelezobeton v tret'em tysyacheletii: Materialy 3-y Mezhdunarod. konf. Rostov-na-Donu, 2004. pp. 433-445.
8. Brandl Johannes. Beton, №9, 2003,53, pp. 424-427.
9. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro. Journal of Advanced Concrete Technology. Vol. 1. 2003. №1, pp. 5-15.
10. Piradov A.B. Konstruktivnye svoystva legkogo betona i zhelezobetona [Constructive properties of lightweight concrete and reinforced concrete]. M., Stroyizdat, 1973. 124 p.