

## Экспериментальное исследование влияния модуля упругости бетона на изменение его прочности при кратковременном нагружении на материалах района Ханоя

Л. К. Ву<sup>1</sup>, Д.Р. Маилян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ханойский архитектурный университет

<sup>2</sup> Донской государственный технический университет

**Аннотация:** В рамках работы над кандидатской диссертацией, посвящённой созданию новых систем и расчётных аппаратов по проектированию железобетонных резервуаров для хранения сжиженного природного газа, была сделана работа по определению свойств бетонных смесей, используемых при строительстве резервуаров во Вьетнаме, а именно в районе Ханоя. Особенностью используемых для изготовления бетона материалов является применение местных пород, которые имеют отличительные свойства, что сказывается на прочности и деформационных свойствах бетона.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований свойств бетонов, изготовленных на материалах Вьетнама. Была установлена зависимость между модулем упругости бетона и его призменной прочностью на сжатие. В рамках исследования были составлены и изучены 16 формул бетонных смесей на разных материалах Вьетнама.

В результате проведённых исследований была выявлена зависимость модуля упругости и призменной прочности бетона, что в дальнейшем будет использовано при создании расчётных аппаратов по проектированию железобетонных конструкций.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, материалы, конструкции, модуль упругости бетона, призменная прочность, деформации.

Железобетон является основным материалом, который воспринимает нагрузку от внешних воздействий. Качество изготовления бетонной смеси влияет на надёжность здания и его долговечность. Основными показателями бетона - его прочность на сжатие и его деформационные свойства [1,2]. Влияние вида крупного заполнителя и наличие суперпластификаторов на деформационные свойства бетона - важные факторы при оценке прочностных свойств бетона [3,4]. Основной характеристикой бетона является призменная прочность на сжатие, однако деформационные свойства бетона влияют на его долговечность и надёжность несущих железобетонных конструкций. Отсутствие исследований нередко приводят к необходимости усиления новых или уже эксплуатируемых объектов [5-7].

В процессе проектирования железобетонных конструкций, при



изготовлении которых использовались новые материалы, необходимо провести экспериментальные исследования по определению модуля упругости бетона и его прочностных свойств. Основной задачей данной работы является установление взаимосвязи между модулем упругости бетона и его прочностью на сжатие [8-10], что определяет необходимость исследований в области влияния особенностей компонентов бетона, и изготовленных на материалах Ханоя, на деформационные свойства железобетона [11,12].

Для определения эффекта ползучести были изготовлены серии образцов, согласно ГОСТ 24544-2020, имеющих отличные составляющие. Все используемые материалы - вьетнамские. Ниже представлены в Табл. 1-4 основные характеристики материалов, используемых для изготовления бетонных смесей, а также их состав.

Таблица 1  
Показатели качества цемента

| №  | Показатель  | Значение показателя                       |  | Стандарты   |
|----|---|---|--|---|
|    |   | Портландцемент<br>PC50 Тханг Лонг<br>(№1) | Портландцемент<br>PC50 Бут Шон<br>(№2) |   |
| 1  | 2   | 3   | 4                                      | 5   |
| 1. | ТП<br>- остаток на сите 0,09<br>мм, по массе, %;<br>-удельная<br>поверхность, см <sup>2</sup> /г. | 0,73<br>3430                              | 3520                                   | TCVN 4030:2003<br>Сит 0,09 мм, не в<br>соответствии с<br>ГОСТ 310.2-81 сит<br>0,08 мм |
| 2. | НГ цементного теста,<br>%   | 26,8                                      |  | TCVN 6017:1995<br>ГОСТ 310.3-81   |
| 3. | Сроки схватывания,<br>мин:<br>- НС<br>- КС  | 135<br>190                                | 130<br>200                             | TCVN 6017:1995<br>в соответствии с<br>ГОСТ 310.3-81                                   |
| 4. | Истинная плотность<br>цемента, г/см <sup>3</sup> .  | 3,10                                      | 3,08                                   | TCVN 4030:2003 в<br>соответствии с<br>ГОСТ 310.2-81                                   |
| 5. | Предел прочности в<br>возрасте 28сут, МПа:<br>на сжатие<br>на изгиб                               | 52,5<br>10,3                              | 51,1<br>10                             | TCVN 6016:2001<br>в соответствии с<br>ГОСТ 310.4-81                                   |

Таблица 2

Показатели качества песка

| №  | Наименование показателя   | Показатели   |  | Стандарты  |
|----|---|--|--|--|
|    |   | Желтый песок<br>Ло (№1)  | Желтый песок<br>Хонг (№2)  |  |
| 1  | 2   | 3  | 4  | 5  |
| 1. | Модуль крупности песка  | 2,5  | 2,9  | TCVN 7570:2006;<br>TCVN 7572 : 2006<br>в соответствии с<br>ГОСТ 8735-88;<br>ГОСТ 8736-93 |
| 2. | Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>   | 1430   | 1417   |  |
| 3. | Содержание пылевидных и глинистых частиц, %   | 0,4  | 0,5  |  |
| 4. | Содержание органических примесей  | Нет  | Нет  |  |
| 5. | Гранулометрический состав (остатки на ситах частные, полные, %):<br>сито: 2,5<br>1,25<br>0,63<br>0,315<br>0,16<br>дно | 11,2/11,2<br>14,8/26<br>18,6/44,6<br>29,1/73,7<br>22,2/95,9<br>4,1/100 | 11,0/11,0<br>32,0/43,0<br>16,7/59,7<br>19,0/78,7<br>16,7/95,4<br>4,6/100 |  |

Таблица 3

Показатели качества щебня

| №  | Наименование показателя                                 | Показатели                |                             | Стандарты   |
|----|---|---------------------------|-----------------------------|---|
|    |   | Щебень<br>Фу Ман<br>(№ 1) | Щебень<br>Хоа Бинь<br>(№ 2) |   |
| 1  | 2   | 3                         | 4                           | 5   |
| 1. | Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup> | 1420                      | 1480                        | TCVN 7570: 2006; TCVN<br>7572 : 2006 в<br>соответствии с ГОСТ<br>8267-93; ГОСТ 8269 -97 |
| 2. | Плотность в куске, г/см <sup>3</sup>                    | 2,73                      | 2,72                        |   |
| 3. | Пустотность, %  | 47,4                      | 45                          |   |
| 4. | Фракция   | 5 – 20                    | 5 – 40                      |   |
| 5. | Марка по прочности                                      | 1100                      | 1200                        |   |

Зависимость между значениями  $E_0$  и  $R_b$  представлены на рис.1. Экспериментальные значения начального модуля упругости  $E_0$  в основном превышают теоретические, полученные как по формуле [9], так и согласно СП 63.13330.

Таблица 4

## Составы бетонных смесей

| Состав   | Цемент | Песок | Щебень | Серия |
|----------|--------|-------|--------|-------|
| 1        | 2      | 3     | 4      | 5     |
| Состав А | №1     | №1    | №1     | A111  |
|          | №1     | №1    | №2     | A112  |
|          | №1     | №2    | №1     | A121  |
|          | №1     | №2    | №2     | A122  |
|          | №2     | №1    | №1     | A211  |
|          | №2     | №1    | №2     | A212  |
|          | №2     | №2    | №1     | A221  |
|          | №2     | №2    | №2     | A222  |
| Состав В | №1     | №1    | №1     | B111  |
|          | №1     | №1    | №2     | B112  |
|          | №1     | №2    | №1     | B121  |
|          | №1     | №2    | №2     | B122  |
|          | №2     | №1    | №1     | B211  |
|          | №2     | №1    | №2     | B212  |
|          | №2     | №2    | №1     | B221  |
|          | №2     | №2    | №2     | B222  |

На рис. 1 экспериментальные значения зависимостей начального модуля упругости  $E_0$  для опытных бетонных смесей 111-222 (Табл. 4); от предельной призмной прочности бетона на сжатие  $R_b$ , превышают теоретические значения, найденные по СП 63.13330 и по формуле (1), которая приведена в [9].

$$E_0 = \frac{57+0,05 \cdot R_{pr}}{1 + \frac{29}{3,8+R_{pr}}}, \quad (1)$$

Одним из вариантов причины увеличения модуля упругости  $E_0$  экспериментальных бетонных смесей по сравнению с теоретическими значениями являются использование крупного заполнителя с более высоким модулем упругости, чем в материалах, рассчитанных по формуле (1).

Согласно анализа, отношения кривых начального модуля упругости к призмной прочности бетона, представленных на рис.1, можно сделать следующие выводы: максимальные превышение значений  $E_0$ , по сравнению с нормативными значениями достигает 27%, в свою очередь среднее

значение не превышает 11%.

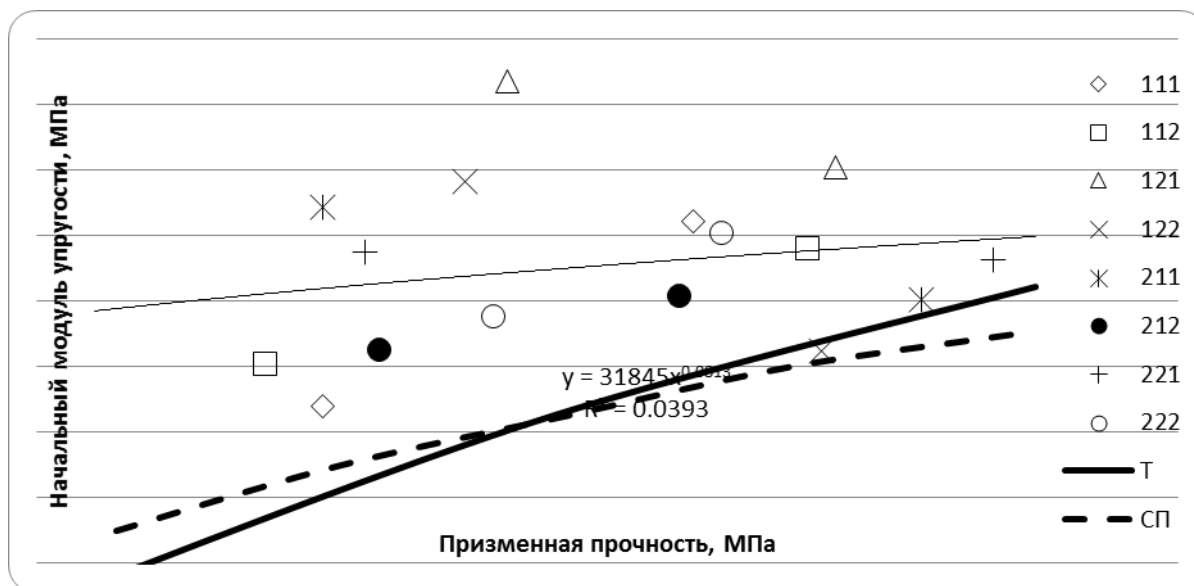


Рис. 1. Зависимость величины  $E_0$  от призмной прочности бетона  $R_b$

Согласно анализу отношения кривых начального модуля упругости к призмной прочности бетона, представленных на рис.1, можно сделать следующие выводы: максимальные превышение значений  $E_0$ , по сравнению с нормативными значениями, достигает 27%, в свою очередь, среднее значение не превышает 11%.

Ориентируясь на среднее значение предлагается ввести коэффициент, корректирующий модуль упругости бетона  $E_0$ , равный 1,1.

Составы на цементе 2 по сравнению с составами на цементе 1 показали значения модуля упругости  $E_0$  в среднем на 2% ниже. Аналогичная ситуация наблюдается при применении резных составов песка и щебня, где  $E_0$  разнится 4,5 и 2% соответственно.

В результате полученных данных можно утверждать, что модуль упругости бетона не зависит от характеристик и вида составляющих.

Увеличение начального модуля упругости бетона влияет на снижение деформаций железобетонных конструкций при длительном воздействии нагрузок, следовательно, уменьшает ползучесть бетона [10]. Данные обстоятельства необходимо учитывать при проектировании несущих

элементов новых и эксплуатируемых зданий и сооружений, особенно, в условиях изменяющихся температур.

В результате проведенных исследований была выявлена закономерность влияния начального модуля упругости бетона на призмную прочность бетона в зависимости от вида и свойств материалов. Для высокопрочных бетонов значения  $E_0$  превышают на 7 - 15% регламентированных в СП 63.13330, что приводит к выводу коррекции значений  $E_0$  путем введения поправочного коэффициента, равного 1,11.

### Литература

1. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов // Уфа, ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002, 376с.
  2. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона //Стройиздат 1981. 464 с.
  3. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Уникальные бетоны и технологии в практике современного строительства России // Проблемы современного бетона и железобетона. НП ООО «Стринко», 2007. т. 2. С. 105-120
  4. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 51-54.
  5. Маяцкая И.А., Польской П.П., Георгиев С.В., Федченко А.Е. Применение углепластиковых ламелей при усилении строительных конструкций // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 12 (64). С. 33-38.
  6. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. The deformability of short pillars in various loading options and external composite reinforcement // MATEC Web of Conferences, 2018. P. 02026.
  7. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение, 2014, № 12-2. С. 496-499.
-

8. Jeon S.J., Chung C.H., Kim Y.U., Kim H.S., Choi N.S.. Basic design for large above-ground tank // GASEX 2002 Conference and Exhibition Brunei, 2002. pp. 5,6.
9. Александровский С.В., Васильев П.И. Экспериментальные исследования ползучести бетона // Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. Состояние проблемы и перспективы развития. Под ред. С.В. Александровского. 1978. С. 97-152.
10. Демьянова В. С., Калашников В.И., Ильина И.Е. Сравнительная оценка влияния отечественных и зарубежных суперпластификаторов на свойства цементных композиций // Строительные материалы №9, 2002, С.4-6.
11. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны // Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп., 1998. 768 с.
12. Батудаева А.В., Кардумян Г.С., Каприелов С.С. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей // Бетон и железобетон. 2005. №4. С. 54.

### References

1. Babkov V.V., Mohov V.N, Kapitonov S.M., Komohov P.G. Strukuroobrazovanie i razrushenie cementnyh betonov [Structure formation and destruction of cement concrete] Ufa, GUP «Ufimskij poligrafkombinat», 2002, 376 p.
  2. Ahverdov, I.N. Osnovy fiziki betona [Fundamentals of concrete physics] Strojizdat 1981. 464 p.
  3. S.J.Jeon, C.H.Chung, Y.U.Kim, H.S.Kim, N.S.Choi. GASEX 2002 Conference and Exhibition Brunei, 2002. pp. 5,6.
  4. Tamrazjan A.G. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. № 7. pp. 51-54.
  5. Majackaja I.A., Pol'skoj P.P., Georgiev S.V., Fedchenko A.E. Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. 2018. № 12 (64). pp. 33-38.
-





6. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 02026.
7. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014, № 12-2. pp. 496-499.
8. Jeon S.J., Chung C.H., Kim Y.U., Kim H.S., Choi N.S.. GASEX 2002 Conference and Exhibition Brunei, 2002. pp. 5,6.
9. Aleksandrovskij S.V., Vasil'ev P.I. Sostojanie problemy i perspektivy razvitiya. Pod red. S.V. Aleksandrovskogo. 1978. pp. 97-152.
10. Dem'janova V.S, Kalashnikov V.I., Il'ina I.E. Stroitel'nye materialy №9, 2002, pp. 4-6.
11. Batrakov V.G. Modificirovannye betony [Modified concrete]. Teorija i praktika. 2-e izd., pererab. i dop., 1998. 768 p.
12. Batudaeva A.V., Kardumjan G.S., Kaprielov S.S. Beton i zhelezobeton. 2005. №4. pp. 54.

**Дата поступления: 20.02.2024**

**Дата публикации: 5.04.2024**