

УДК 666.971.4

ББК 38

О-11

Несветаев Григорий Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ТСП Ростовского государственного строительного университета, e-mail: nesgrin@yandex.ru;

Кардумян Галина Суреновна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (НИИЖБ), e-mail: niizb2011@mail.ru, kardumyan@mail.ru;

Та Ван Фан, аспирант Ростовского государственного строительного университета, e-mail: tavanphan@gmail.com;

Хомич Леонид Анатольевич, аспирант Ростовского государственного строительного университета, e-mail: leo.khomich@gmail.com;

Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин Майкопского государственного технологического университета, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

О ВЛИЯНИИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ВЕЛИЧИНУ НАЧАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И БЕТОНА (рецензирована)

При расчете железобетонных конструкций по деформациям одним из основных нормируемых показателей является модуль упругости бетона, который в значительной степени определяется свойствами цементного камня. Показано влияние некоторых суперпластификаторов и минеральных модификаторов на модуль упругости цементного камня. Сформулированы предложения по учету влияния добавок на модуль упругости при расчете конструкций.

Ключевые слова: портландцемент, суперпластификаторы, минеральные модификаторы, модуль упругости.

Nesvetaev Grigory Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of TCP RSUCE, Rostov-on-Don, e-mail: nesgrin@yandex.ru;

Kardumyan Galina Surenovna, Candidate Technical Sciences, senior researcher of SRIRC, e-mail: niizb2011@mail.ru, kardumyan@mail.ru;

Ta Van Fan, post graduate student, RSUCE, Rostov-on-Don, e-mail: tavanphan@gmail.com;

Khomich Leonid Anatolievich, post graduate student of RSUCE, Rostov-on-Don, e-mail: leo.khomich@gmail.com;

Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the department of Construction and General Professional Disciplines of Maikop State Technological University, tel.: 89184205021, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

EFFECT OF SUPER PLASTICIZERS AND MINERAL ADDITIVES ON THE VALUE OF INITIAL MODULUS OF CEMENT ROCK AND CONCRETE ELASTICITY (Reviewed)

In the calculation of reinforced concrete structures on deformations the modulus of elasticity of concrete, which is largely determined by the properties of cement, is one of the major standardized indicators. The influence of some super plasticizers and mineral modifiers on the elastic modulus of cement stone has been shown. Recommendations on the accounting of the effect of additives on the elasticity modulus in the calculation of structures have been given.

Keywords: Portland cement, super plasticizers, mineral modifiers, elasticity modulus.

Работа железобетонных конструкций, особенно статически неопределимых, зависит не только от прочности, но и от деформационных свойств бетона (прогибы, напряжения, возникающие при вынужденных деформациях, например, изменении температуры или влажности бетона, от которых зависит, в частности, трещиностойкость бетона), нормирование которых осуществляется в зависимости от класса бетона, причем для начального модуля упругости бетона E_b неоднозначно. В связи с широким распространением в последнее десятилетие высокопрочных бетонов из высокоподвижных, в т.ч. самоуплотняющихся бетонных смесей, макроструктура которых принципиально отличается от традиционных бетонов, и для получения которых используются высокоэффективные суперпластификаторы (СП), в т.ч. новые, малоизученные, и минеральные модификаторы (ММ), вопрос о влиянии СП и ММ на деформационные свойства бетонов приобретает особую актуальность. Применение новых материалов оказывает влияние не только на технологию, но и на работу конструкций [1].

Модуль упругости бетона может быть весьма точно определен по формуле

(модифицированная модель Хирча [2])

$$E_0 = \frac{2}{\frac{1}{E_a V_a + E_m V_m + E_{tz} V_{tz}} + \frac{V_a}{E_a} + \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_{tz}}{E_{tz}}}, \quad (1)$$

где E_a , E_m и E_{tz} – модуль упругости соответственно заполнителя, матрицы (цементного камня) и контактной зоны между цементным камнем и заполнителем; V_a , V_m и V_{tz} – относительная объемная концентрация соответственно заполнителя, матрицы (цементного камня) и контактной зоны.

Из ф. (1) следует, что при прочих одинаковых условиях модуль упругости бетона определяется величиной модуля упругости цементного камня. Поскольку СП и ММ оказывают влияние на процессы гидратации, а, сл-но, пористость цементного камня, естественно, при введении в состав бетона СП и ММ возможно изменение модуля упругости цементного камня и бетона. Так, известна, например, формула Маннинга, устанавливающая связь между модулем упругости цементного камня E и пористостью P

$$E = 58300 \cdot \exp(-5,54P),$$

однако, по данным исследований Несветаева Г.В. и Кардумян Г.С., связь между модулем упругости цементного камня E и его пористостью P выражается зависимостью

$$E = E_0 \cdot \exp(-2,055P), \quad (2)$$

в которой значение величины E_0 , т.е. модуля упругости цементного камня с «нулевой» пористостью, может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от соотношения между компонентами структуры цементного камня, а именно: негидратированный цемент (клинкер) и гидратированный цементный камень, содержащий: тоберморитовый гель; портландит; эттрингит; поры.

При наличии данных о модуле упругости и объемной концентрации компонентов структуры цементного камня его модуль упругости может быть определен по модели, аналогичной ф. (1). В составе цементного камня представлены: клинкер (не гидратированный цемент) с объемом порядка 14,4-28,5%; портландит с объемом 11-15%; эттрингит с объемом 8-27%; тоберморит – остальное, при этом «носителем» пористости в цементном камне являются тоберморит, портландит и эттрингит. В соответствии с ф. (2) при изменении пористости цементного камня на 5% изменение модуля упругости составит примерно 10%.

По данным [2], значение модуля упругости цементного камня при введении некоторых СП может составлять от 0,76 до 1,1 от величины бездобавочного эталона, что может вызывать изменение модуля упругости бетона в пределах от -13 до +5%. Особый интерес представляет изучение влияния совместного введения СП и ММ, поскольку при этом может изменяться не только пористость цементного камня, но и соотношение между продуктами гидратации, модуль которых весьма различен (модуль упругости портландита 15 ГПа, тоберморитового геля 33 ГПа, эттрингита 40-70 ГПа, портландцементного клинкера от 35 до 105 ГПа). Модуль ММ, а также новообразований при его взаимодействии с продуктами гидратации цементного камня также может быть различным, и в случае изменения соотношения между этими компонентами, составляющими структуру цементного камня, модуль последнего может изменяться. В [3] показано, что значение модуля упругости модифицированного комплексной органической добавкой «Эмбэлит» составило 24,1 ГПа при В/В = 0, 227, или примерно 90% от бездобавочного эталона с аналогичными параметрами.

Изучено влияние на модуль упругости цементного камня при В/В = 0,27 портландцементов (ПЦ) заводов «Пролетарий» и «Себряковский», совместно с СП (0,2-0,5%): «Glenium» (g51, g30), «Melflux 2641» (m2641), «Melflux 2651» (m2651), «Melflux 5581» (m5581) и ММ: 10% от ПЦ – для БС и МК, 15% – для Э. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения относительного модуля упругости цементного камня

Суперпластификаторы	Значения E_d/E_0 для цементного камня с наполнителями				
	БС	МК	БС + МК	Э	Нет
ПЦ «Себряковский», 2009 $E_0 = 16365$ МПа					
G30					1,034
G51					1,0
St					1,067
ПЦ «Мальцовский», 2009 $E_0 = 19970$ МПа					
G30					0,947
G51					0,937
St					0,915
ПЦ «Вольский», 2009 $E_0 = 20500$ МПа					
G30					1,009
G51					0,961
St					1,019
ПЦ «Белгородский», 2009 $E_0 = 21820$ МПа					
G30					0,895
St					0,987
ПЦ «Себряковский», 2012 $E_0 = 16790$ МПа					
нет	1,22	1,166	1,303		
G30			1,254		
G51			1,46		
M2651			1,18		
M5581			1,262		
СП1ВП			1,104		
ПЦ «Пролетарий», 2012 $E_0 = 18210$ МПа					
нет				0,829	
G51				0,97	1,017
M2641				0,895	1,055
M2651				0,99	0,968
M5581				0,67	1,015
СП1ВП				0,824	0,948

Из представленных в таблице данных следует:

1. Модуль упругости цементного камня в случае применения цемента одного и того же завода является величиной достаточно стабильной (данные по Себряковскому заводу 2009 и 2012 гг.). Этот результат имеет важное значение для практики, но требует проверки на обширном экспериментальном материале;

2. СП на основе эфиров поликарбоксилатов изменяют относительную величину модуля упругости цементного камня в пределах от 0,895 до 1,067, т.е., примерно, в пределах $\pm 10\%$;

3. ММ, в т.ч. при совместном применении с СП, оказывают более существенное влияние на величину относительного модуля упругости, в пределах от 0,67 до 1,46, т.е. на модуль упругости бетона, как будет показано далее, в пределах $\pm 20\%$;

4. Влияние СП на модуль упругости цементного камня, в т.ч. с ММ, индивидуально, т.е. для различных цементов может иметь разный, в т.ч. противоположный характер, в связи, с чем при выборе материалов для высокопрочных бетонов, в т.ч. получаемых из высокоподвижных бетонных смесей, целесообразно производить проверку на совместимость цементов с добавками не только по показателям подвижности бетонной смеси или прочности бетона, но и по влиянию на модуль упругости.

По данным [4], изменение модуля упругости цементного камня и бетона связаны соотношением (1), где $E_{Б,д}$; $E_{Б,э}$ – соответственно начальный модуль упругости бетона, содержащего добавку (СП, ММ, ММ+СП), и бездобавочного эталона; $E_{ЦК,д}$; $E_{ЦК,э}$ – соответственно начальный модуль упругости цементного камня, содержащего добавку (СП, ММ, ММ+СП), и бездобавочного эталона, из которой следует, что при изменении модуля упругости цементного камня в пределах, представленных в табл., изменение модуля упругости бетона относительно бездобавочного эталона составит от 0,82 до 1,21, причем влияние СП на основе эфиров поликарбоксилатов можно рассматривать как незначительное, в пределах 0,95 до 1,03.

Таким образом, при введении в состав бетона СП совместно с ММ возможно изменение начального модуля упругости бетона только за счет этого фактора в пределах, требующих учета при

расчете конструкций по второй группе предельных состояний. Действие СП+ММ зависит как от свойств цемента, так и от вида СП и ММ, т.е. является индивидуальным и требует оценки при подборе материалов для бетона. В принципе, можно подобрать такое сочетание ПЦ+СП+ММ, что изменение модуля упругости цементного камня (и бетона) будет минимальным.

Учитывая тот факт, что вследствие изменения макроструктуры бетона высокоподвижных и самоуплотняющихся смесей, возможно снижение до 12% начального модуля упругости бетона, полученного из высокоподвижной смеси в сравнении с бетоном из смеси с маркой по удобоукладываемости П1 [5], а также то обстоятельство, что влияние СП+ММ может сопровождаться дополнительным снижением модуля в указанных выше пределах. Следует констатировать необходимость внесения соответствующих изменений в нормы проектирования, поскольку влияние подвижности бетонной смеси на модуль упругости бетона не отражено в СП 52-101-2003, хотя в некоторых нормативных документах (для гидротехнического бетона) в СССР значение модуля упругости бетона в зависимости от подвижности бетонной смеси нормировалось. В нормах Беларуси СНБ 5.03.01-02 учтено влияние подвижности бетонной смеси на модуль упругости, но только за счет изменения соотношения компонентов макроструктуры «матрица – заполнитель», возможное влияние СП (ГП) не отражено. При отсутствии на стадии расчета конструкций данных о фактическом составе бетона и влиянии СП и ММ, можно рекомендовать поправочный коэффициент к величине модуля упругости бетона 0,8 при расчете по деформациям и 1,2 при расчете по напряжениям, возникающие при вынужденных деформациях бетона (изменение температуры, влажности).

Литература:

1. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся высокопрочные и легкие бетоны на пористых заполнителях для эффективных конструкций // Технологии бетонов. 2011. №1. С. 57-58.

2. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // Строительные материалы. 2009. №6.

3. Структура и свойства высокопрочных бетонов, содержащих комплексный органоминеральный модификатор «Эмбэлит» / С.С. Каприелов [и др.] // II Всероссийская междунар. конф. по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – пути развития» (Москва, 5-9 сентября 2005). Москва. Т. 3. С. 657-671.

4. Несветаев Г.В. Применение модификаторов с целью управления модулем упругости бетона // Новые научные направления строительного материаловедения: академические чтения РААСН. Белгород, 2005. Ч. 2. С. 51-57.

5. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2011. 381 с.

References:

1. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Self-sealing high-strength and lightweight concrete with porous aggregates for effective structures // *Technology of concrete*. 2011. № 1. P. 57 – 58.

2. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. SCC: elasticity modulus and creep measure // *Building Materials*. 2009. № 6.

3. Structure and properties of high strength concrete containing complex organic and mineral modifier "Embelit" / Kaprielov S.S. [and oth.] // II All-Russian International Conference on concrete and reinforced concrete "Concrete and reinforced concrete - ways of development" (Moscow, September 5-9. 2005).M. V. 3. P.657-671.

4. Nesvetaev G.V. The use of modifiers to control the modulus of elasticity of concrete // *New research areas of building materials: academic readings of RAABS. Belgorod, 2005. Part 2. P. 51-57.*

5. Nesvetaev G.V. Concrete: academic reference. Rostov-on-Don: Phoenix, 2011.