



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2013, ТОМ 9, НОМЕР 2, 91–96

УДК 691.328:691.54

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ САМОНАПРУЖЕННЯ ФІБРОБЕТОНУ І ЇЇ ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ МАТЕРІАЛУ

К. К. Мірошниченко

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Чернишевського, 24а, к. 302, м. Дніпропетровськ, 49600.*

E-mail: mirfb@mail.ru

Отримана 10 квітня 2013; прийнята 24 травня 2013.

Анотація. У статті наведено результати досліджень впливу технології приготування дисперсно-армованих композицій різного складу на самонапруження фібробетонних елементів. В експериментах використовували склади, армовані капроновими та іншими видами фібр, але у даній статті наведено результати досліджень з поліпропіленовими, скляними волокнами та відходами корду. На основі багатьох серій експериментів запропонована методика визначення величини розширення та енергії самонапруження дрібнозернистого фібробетону з різною дисперсною арматурою. Встановлено вплив технології приготування на величину самонапруження фібробетонних елементів.

Ключові слова: фібробетон, технологія, дисперсна арматура, розширення, самонапруження.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ САМОНАПРЯЖЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

К. К. Мірошниченко

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Чернишевського, 24а, к. 302, м. Дніпропетровськ, 49600.*

E-mail: mirfb@mail.ru

Получена 10 апреля 2013; принята 24 мая 2013.

Аннотация. В статье приведены результаты исследований влияния технологии приготовления дисперсно-армированных композиций различного состава на самонапряжение фибробетонных элементов. В экспериментах использовали составы, армированные различными видами фибр, но в данной статье приведены результаты исследований с полипропиленовыми, стеклянными волокнами и отходами корда. На основании многочисленных экспериментов предложена методика определения величины расширения и энергии самонапряжения мелкозернистого фибробетона с различной дисперсной арматурой. Установлено влияние технологии приготовления на величину самонапряжения фибробетонных элементов.

Ключевые слова: фибробетон, технология, дисперсная арматура, расширение, самонапряжение.

PECULIARITIES OF EVALUATION OF ENERGY OF FIBRE CONCRETE AUTO STRESSING AND ITS DEPENDENCE ON TECHNOLOGY OF MATERIALS PREPARATION

Konstantin Miroshnichenko

*Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture,
24a, Chernyshevskogo Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600.
E-mail: mirfb@mail.ru*

Received 10 April 2013; accepted 24 May 2013.

Abstract. In the article the results of researches of influence of technology of preparation of the dispersible-reinforced compositions of various structures are resulted on self tension of fibrous concrete's elements. In experiments used compositions, reinforced by a kapron and by the row of other types of fibers, this article provides the results of researches are resulted with polypropylene, glass fibers and wastes of cord are resulted. On the basis of numerous experiments proposed the method of definition of size of expansion and energy of self tension of fine-grained fibrous concrete is offered with a different dispersible armature. Influence of technology of preparation is set on the size of self tension of fibrous concrete's elements.

Keywords: fibrous concrete, technology, dispersion armature, expansion, self tension.

Постановка проблемы

В последнее время все чаще применяют фибробетон для различных изделий и конструкций. Применение в фибробетоне напрягающего или расширяющегося цемента призвано придать конструкции из такого материала большей плотности, что приводит к улучшению сцепления цементного камня с фибрами и, как следствие, к повышению прочностных и других показателей.

Однако технология приготовления дисперсно-армированного материала как на строительной площадке, так и на специальных заводах нуждается в совершенствовании. Из-за некачественного перемешивания в материале образуются клубки фибры и практически неармированные участки. Получается изделие с различными свойствами, что приводит к его разрушению и к затратам на ремонт или реконструкцию.

Анализ существующих решений

Проведенный анализ литературных и патентных источников по данной проблеме [1–5] показал, что существующие технологические схемы получения фибробетонных смесей не обеспечивают высокую однородность материала. Предлагаемые методики определения величины расширения и самонапряжения бетонов на напрягающем цементе [6, 7] не отражают истинную картину, происходящую во всем объ-

еме материала: производятся замеры только в одном направлении.

Методика проведения экспериментов

Были проведены многочисленные испытания фибробетонных образцов различного состава на сжатие и растяжение при изгибе, а также замеры свободного расширения.

В экспериментах в качестве вяжущего использовали напрягающий цемент НЦ-20 Днепропетровского цементного завода, М 500 ТУ 21-20-18-80; напрягающий цемент НЦ-20 Усть-Каменогорского цементного завода, М 500 ТУ 21-20-18-80;

Образцы изготавливались, в основном, в виде балочек размером 40×40×160 мм, 70×70×280 мм и кубиков размерами 100×100×100 мм.

Для определения линейного расширения и самонапряжения составов на НЦ согласно ТУ 21-20-18-80 используют балочки с металлическими (медными, латунными) пластинками в торцах, которые закладываются в форму перед заполнением ее смесью. В этом случае расширение измеряется только по одной оси (оси x).

В данной работе предлагается замеры расширения производить по трем осям образцов – кубиков размером 100×100×100 мм с пластинами на каждой грани.

Обсуждение результатов

Результаты проведенных нами экспериментов показали, что при изготовлении образцов из фибробетона под действием вибрации (при уплотнении) и заглаживании (выравнивании, а также при использовании пригруза) верхнего слоя большая часть волокон располагается в плоскости (оси x и y). В этой же плоскости в дальнейшем и производят замеры деформаций расширения (усадки). Это искажает ту действительную картину, которая происходит во всем объеме мелкозернистого бетона (раствора) на основе напрягающего цемента НЦ-20, армированного волокнами различного вида. Ведь волокна в данном случае больше сдерживают расширение цементного камня по осям x и y , а по оси z расширение незначительно отличается от неармированных.

Мы предлагаем замеры деформаций расширения производить по трем осям x , y и z образцов – кубиков размером $100 \times 100 \times 100$ мм с пластинками на каждой грани. В отличие от балочек, в которых фибры длиной 40 мм и более вынуждены изгибаться и ориентироваться вдоль оси образца, волокнистая арматура, находящаяся в кубике, располагается свободно и хаотично в пространстве. Это важно, так как смесь должна иметь высокую прочность не только на изгиб (растяжение), но и на сжатие, что возможно при равномерном распределении фибр по всему объему. При исследовании усадки таких составов этот факт имеет также большое значение.

Как показали эксперименты, величины свободного расширения (λ) образцов из фибробетона с различными фибрами на основе напрягающего цемента, замерянные по трем осям образцов, различны. Свободное расширение неармированных образцов составляло при этом 0,6 % ($\Pi / \Pi = 1$). Образцы из напрягающего фибробетона (НФБ) с отходами корда имели наименьшее расширение. Разность между результатами замеров расширения образцов-балочек и кубиков составила всего 0,03 %. Причина этого – относительно большая пористость на границе контакта отходов корда и цементного камня. Значительная часть энергии самоупругения в данном случае идет на устранение пористости. Показатели свободного расширения образцов из напрягающего стеклофибробетона следующие: средняя величина расширения балочек составила 0,24 %, а образцов-кубиков – 0,31 %. Кроме это-

го, разница между значениями показателей расширения по трем осям достигает 50 %.

Составы с полипропиленовым волокном показали такие результаты: средняя величина расширения балочек равнялась 0,28 %, а кубиков – 0,37 %. Разница – 0,09 %. Но прочностные показатели такого фибробетона ниже, чем у стеклофибробетона.

Объяснение здесь, на наш взгляд, следующее: в отличие от стекловолокна полипропиленовая фибра не имеет хорошего сцепления с матрицей, волокна не так, как стекловолокна, сдерживают расширение матрицы.

Таким образом, в дальнейшем величину свободного расширения и усадки будем измерять по трем осям образцов-кубиков и балочек (для контроля).

Для определения величины самоупругения согласно ТУ 21-20-18-80 используют стальные динамометрические кондукторы. При этом величина самоупругения фиксируется только вдоль балочки.

Предлагаемый в работе [7] способ определения энергии самоупругения (σ) с использованием динамометрических колец и цилиндров со спиралью не пригоден для определения σ фибробетона из-за небольшого размера форм и спирали, что сказывается на ориентации фибры, а также невозможности измерения самоупругения, происходящего во всем объеме фибробетона на НЦ.

На основании многочисленных экспериментов с составами, приготовленными по различным технологическим схемам и методике [6], согласно которой определение величины самоупругения производится с использованием определенных ранее значений прочности на сжатие и свободного расширения, нами предлагается величину энергии самоупругения определять по формуле:

$$\sigma = K_{\sigma} \sqrt{\lambda_{cp}^{куб}} \cdot R_{изз}^{cp},$$

где K_{σ} – эмпирический коэффициент, который изменяется в зависимости от процента армирования образцов и равен:

- при 0 % содержания фибры – 0,48;
- при 1 % содержания фибры – 0,40;
- при 2 % содержания фибры – 0,325;
- при 3 % содержания фибры – 0,28;
- при 4 % содержания фибры – 0,24;
- при 5 % содержания фибры – 0,21.

λ_{cp}^{xyb} – среднее значение величины свободного расширения, вычисленное по результатам замеров по трем осям образцов-кубиков, %;

$R_{изг}^{cp}$ – средняя прочность образцов на изгиб за весь период расширения. Вычисляется как среднеарифметическое значение ряда измерений.

Как показали результаты вычислений (таблица), величина самоупругения, учитывающая только одноосное расширение образцов на 16 – 20 % ниже величины самоупругения, вычисленного с учетом замеров расширения по трем осям.

Как видно из формулы, для вычисления величины самоупругения составов на основе НЦ, армированных различной дисперсной арматурой, необходимо иметь прочностные показатели таких композиций.

Результаты исследований показали, что введение в смесь любой фибры приводит к снижению прочности на сжатие матрицы и к увеличению прочности на изгиб и растяжение, что отражается на самоупругении материала (рис. 1) конструктивных элементов, которое необходимо определять с учетом $R_{изг}^{cp}$ и λ_{cp}^{xyb} .

Результаты исследований влияния вида предлагаемого нами смешивающего устройства на прочностные характеристики фибробетона, армированного различными волокнами, показали, что величины прочности на сжатие и растяжение при изгибе существенно отличаются в зависимости от способа приготовления материала.

Наилучшие значения имели образцы, смесь для которых готовилась в смесителе с гибким корпусом и в смесителе с лопастями в виде винтовых лент и каналовой поверхности (прочность на сжатие – 68,1 и 59,2 МПа, соответственно), а самые низкие – образцы, приготовленные в гра-

витационном смесителе (33 МПа) и СО-46 (41,1 МПа). Если же приготовление фибробетонной смеси осуществлять в смесителе СО-46 с использованием устройства для распушки и подачи фибры в бетоносмеситель (№ 1), то прочность повысится на 6,3 МПа. Применяв дополнительный ротор в гравитационном смесителе можно улучшить прочность на сжатие стеклофибробетона на 5–9 МПа. Технология приготовления также влияет на изменение прочности на изгиб фибробетона, а это отражается на показателях самоупругения фибробетона.

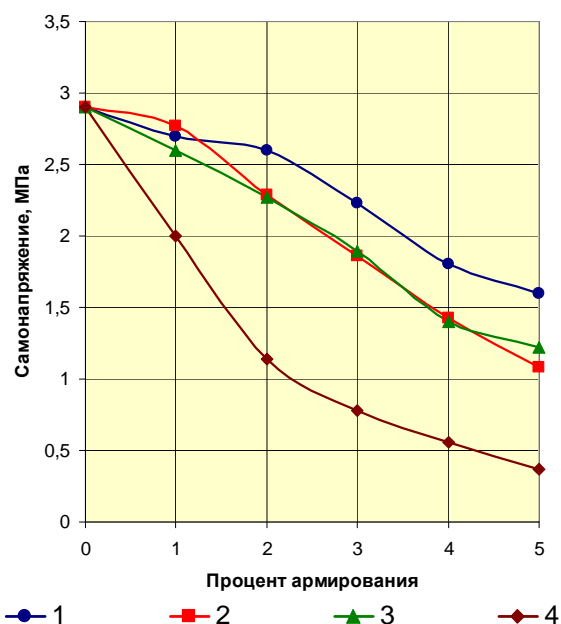


Рисунок 1. Влияние вида дисперсной арматуры и ее количества на величину самоупругения фибробетона на НЦ. 1 – состав со стекловолокном; 2 – состав с полипропиленовым волокном; 3 – состав с анидным волокном; 4 – состав с отходами корда. Состав матрицы: П / Ц = 1; В / Ц = 0,4; 0,4 % С-3; $\mu = 2\%$, $l_{\phi} = 25$ мм.

Таблица. Величины самоупругения (σ) напрягающего стеклофибробетона, вычисленные по предлагаемой методике и методике [7]

№ партии	Процент армирования, %	σ_1^{cp} , МПа по методике [117], МПа	σ_2^{cp} , МПа по предлагаемой методике, МПа	Разность σ_2 и σ_1 , %
1	1	2,27	2,7	16,0
2	2	2,12	2,6	18,5
3	3	1,79	2,23	19,8
4	4	1,44	1,8	20,0
5	5	1,27	1,6	20,6

Выводы

Как показали результаты вычислений, величина самоупругения, учитывающая только одноосное расширение образцов на 16–20 %, ниже величины самоупругения, вычисленного с учетом замеров расширения по трем осям.

Отсюда следует, что величина самоупругения, учитывающая объемные изменения, про-

исходящие в напрягающем фибробетоне, более полно отражает истинную картину.

Установлено, что технология приготовления влияет на изменение прочности фибробетона. А так как величины $R_{сж}^{cp}$ и $R_{изг}^{cp}$ используются при определении σ , то это показывает, что технология приготовления (качество перемешивания) существенно отражается на показателях самоупругения фибробетонных элементов.

Литература

1. Пухаренко, Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / Пухаренко Юрий Владимирович. – С.-П., 2004. – 315 с.
2. Королев, К. М. Эффективность приготовления бетонных смесей [Текст] / К. М. Королев // Механизация строительства. – 2003. – № 6. – С. 7–8.
3. Михайлов, К. В. Применение неметаллической арматуры в бетоне [Текст] / К. В. Михайлов, И. Е. Евгеньев, Л. Г. Асланова // Бетон и железобетон. – 1990. – № 4. – С. 5–7.
4. Измайлов, Ш. Я. Свойства фибробетона, армированного щелочестойким стекловолокном и особенности технологии изготовления из него тонкостенных изделий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Измайлов Шограт Ягуб. – М., 1983. – 197 с.
5. Михайлов, В. В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самоупругенные железобетонные конструкции [Текст] / В. В. Михайлов, С. Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с.
6. А. с. СССР № 578620, МКИЗ В 28 С 5/12. Способ определения энергии самоупругения твердеющего вяжущего [Текст] / В. В. Михайлов, Г. Д. Дибров, С. Л. Литвер, О. А. Звездин, В. В. Андреева (СССР). – № 2337795/29-33; заявл. 24.03.76; опубл. 05.06.77, Бюл. № 21. – 4 с.
7. Полимерцементные и дисперсно-армированные гидроизоляционные покрытия на основе напрягающего цемента [Текст] / В. Х. Прохоров, И. Ф. Белова, Б. И. Смирнов, Е. А. Девятков // Применение напрягающего бетона и самоупругенного железобетона в строительстве: Всесоюз. совещ., Москва, 25–27 янв. 1982 г. (Тез. докл.) / ВДНХ СССР, Госстрой СССР, НИИ бетона и железобетона, Центр. правл. НТО стройиндустрии. – М.: НИИЖБ, 1982. – С. 23–41.

References

1. Puharenko, Yu. V. Scientific and practical principles of structure and properties formation of fiber concretes: Ph.D. dissertation. St. Peterburg, 2004. 312 p. (in Russian)
2. Korolev, K. M. Efficiency of concrete preparation. In: *Building mechanization*, 2003, Number 6, p. 7–8. (in Russian)
3. Mihailov, K. V.; Evgenyev, I. E.; Aslanova, L. G. Application of non-metallic armature in concrete. In: *Concrete and ferro-concrete*, 1990, Number 4, p. 5–7. (in Russian)
4. Izmailov, Sh. Ya. Characteristics of fibre concrete, armor-clad by alkali-resistant glass fiber and particularities of fabrication technique of thin-walled products from it: Ph.D. thesis in Engineering Science: 05.23.05. Moscow, 1983. 197 p. (in Russian)
5. Mihailov, V. V.; Litver, S. L. Expanded and straining cement and self-stressed concrete structures. Moscow: Stroizdat, 1974. 312 p. (in Russian)
6. A. s. USSR No. 578620, MKI 3 V 28 S 5/12. Process of energy evaluation of autostressing of hardening cementing material / V. V. Mihailov, G. D. Dibrov, S. L. Litver, O. A. Zvezdin, V. V. Andreeva (USSR). No. 2337795/29-33; application 24.03.76; published 05.06.77, Bulletin No. 21. 4 p. (in Russian)
7. Prohorov, V. H.; Belova, I. F.; Smirnov, B. I.; Deviatkov, E. A. Polymer-cement and fiber reinforcement waterproofing covering based on stressed cement. In: *The usage of stressed concrete and self-stressed Ferro-concrete in building. All-Union conference. Moscow, 25–27, January (scientific conference abstract)*. Moscow: NIIZhB, 1982, p. 23–41. (in Russian)

Мірошніченко Костянтин Кирилович – к. т. н., доцент; кафедра нарисної геометрії та графіки Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: технологія виробництва фібробетону, розрахунок і проектування змішувачів пристроїв для будівельних сумішей.

Мирошниченко Константин Кириллович – к. т. н., доцент; кафедра начертательной геометрии и графики Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: технология производства фибробетона, расчет и проектирование смешивающих устройств для строительных смесей.

Konstantin Miroschnichenko – PhD (Eng), Associate Professor; Descriptive Geometry and Graphics Department, Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: the technology of production of fibrous concrete, calculation and designing of mixers for build compositions.