

- on phosphogypsum // 16 Internationale Baustofftagung. - Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. - Band 1. - P.875-882.
6. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / Л.Г.Шпынова, В.И.Чих, М.А.Саницкий, Х.С.Соболь и др. - Львов: Вища школа, 1981. - 160 с.
  7. Будников П.П. Гипс, его исследование и применение.- М.: Госстройиздат, 1943. - 574 с.
  8. Бабушкин В.И., Новикова С.П. О роли коллоидно-химических явлений в объемных изменениях цементного камня и бетона // Тр.ВНИИВОДГЕО.- М.: 1973.- С.133.
  9. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии .- Ленинград: Химия, 1974. - 496 с.
  10. Plugin A.A. Increase of gypsum water resistance by mineral additives / A.A.Plugin, O.A.Plugin, H.-B.Fisher, G.N.Shabanova // 1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: F.A.Finger–Institut für Baustoffkunde, Bauhaus–Universität Weimar, 2011. – N P21. – P.435–443.

УДК 666.983

**Костюк Т. А. , Вандоловский С. С.***Харьковский национальный университет строительства и архитектуры***СТРУКТУРА СТАЛЕБЕТОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.  
АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ КОМПОЗИТА**

Для повышения прочности бетона при растяжении в его состав вводят отрезки прочных нитей – фибр из стали, стекловолокна, пластика. Такой материал, состоящий из комплекса веществ с различными физическими характеристиками, является композитом (КМ). Б. А. Крылов считает, что «необходимо в ближайшее время вести исследования в направлении разработки теории бетона с фибровой арматурой. Решение вопросов гомогенизации смеси и ее укладки откроет фибробетону большую перспективу промышленного применения». [1]

**Задача исследований** – установить связь между бетонной матрицей и армирующими матрицу волокнами с целью разработки технологических приемов, обеспечивающих повышение прочности КМ.

Широко известен композит, в котором цементный камень усилен волокнами асбеста – асбестоцемент, из которого изготавливают трубы, легкие перегородки и кровельный материал – шифер. Асбестоцемент при высоких прочностных показателях имеет два недостатка: экологически опасен (канцерогенен), запасы асбеста имеются только на Урале и в Канаде. Указанные недостатки послужили основа-

нием для проведения исследований по замене асбеста фибрами из других материалов. По данным Б. А. Крылова первые исследования в области фиброцемента были начаты в 60-х годах группой киевских специалистов [1], которые создали стеклоцемент, однако фибра из стекловолокна оказалась не стойкой в щелочной среде. Затем в Риге, Ленинграде, Челябинске начались исследования по использованию стальной фибры диаметром 0,25 – 1 мм длиной до 60 мм. [1] По результатам многолетних исследований нового композиционного материала (КМ) и опыта его применения в нашей стране и за рубежом сделан вывод, что фибробетон является перспективным материалом для таких конструкций, как дорожные и аэродромные покрытия, трубы, кровельные покрытия, листы опалубки, корпуса судов, отделки туннелей. Исследования прочностных показателей изделий из дисперсно армированных бетонов показали, что определенное влияние на прочность оказывает крупность заполнителя бетона. При введении в цементный камень волокон, прочность такого КМ при растяжении увеличивается в 3 раза. Введение же волокон в бетон увеличивает аналогичный показатель только на 20 – 30 %. Меньшее

значение - для более крупного щебня [1]. Для установления, какие параметры составляющих КМ оказывают влияние на конечные показатели качества КМ, проведен анализ научных и технических решений, принятых на современном этапе.

Универсальной характеристикой фибробетона принят «модуль фибрового армирования «К» [1, 3,5]:  $K = \frac{\mu l}{d}$  (1) где  $\mu$  - количество арматуры по объему,  $l$  - длина фибр,  $d$  - диаметр фибр.

Б. А. Крылов считает, что необходимо в ближайшее время вести исследования в направлении разработки теории бетона с фибровой арматурой. Решение вопросов гомогенизации смеси и ее укладки откроет фибробетону большую перспективу промышленного применения. [1]. Количество фибровой арматуры принимается по объему ввиду очень существенной разнице в показателях массы фибр (очень малой для полимеров, средней для стеклянного и базальтового волокон и высокой для стальных фибр).

**Анализ взаимодействия элементов структуры бетона, армированного стальными фибрами.** Сталефибробетон является композиционным материалом (КМ), состоящий из следующих элементов: щебень, песок, цементный камень и стальные нити-фибры. Схема структуры этого материала представлена на рис. 1

Под действием усилия  $P$  в отдельных участках фибробетона возникают растягивающие напряжения  $\sigma_p$ , при этом первые трещины появятся в зонах, где фактическое нормальное напряжение  $\sigma_\phi$  превосходит допустимое напряжение  $\sigma_{доп}$ . т. е. условие трещинообразования:  $\sigma_\phi > \sigma_{доп}$ . На схеме (рис. 1) показаны элементы, из которых состоит композиционный материал - фибробетон. В середине слоя бетона ( $S$ ) возникают растягивающие напряжения, как в неармированном бетоне т.е.  $\sigma_\phi \approx \sigma_p$ . Вблизи армирующих стальных волокон (фибр) характер напряжений в зоне, примыкающей к фибрам, отличается от напряжений в середине полосы  $S$ . Под действием усилия  $P$  (рис. 2 а) бетон и арматурный стержень деформируются.

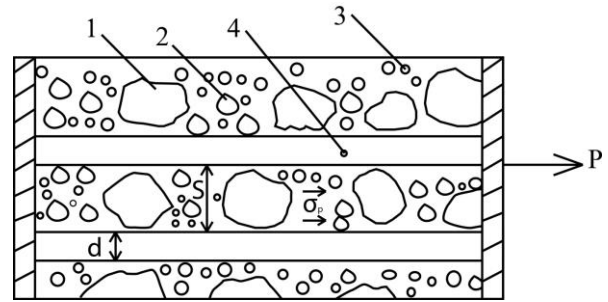


Рис. 1. Схема бетона армированного стальными фибрами. 1 - щебень, 2 - песок, 3 - цемент, 4 - фибровое волокно.  $P$  - растягивающее усилие,  $d$  - диаметр фибрового волокна,  $S$  - расстояние между волокнами.

При начальной длине  $L$  арматура и бетон удлиняются на величины  $\Delta L_A$  и  $\Delta L_\sigma$ , которые можно представить в виде относительных деформаций:  $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ , из рис. 2 а следует, что  $\Delta L_\sigma \gg \Delta L_A$  откуда  $\epsilon_\sigma \gg \epsilon_A$ . Разница  $g$  между величинами деформаций на участке длиной  $L$  принято обозначать как  $g = \Delta L_\sigma - \Delta L_A$  [ 1 ]:

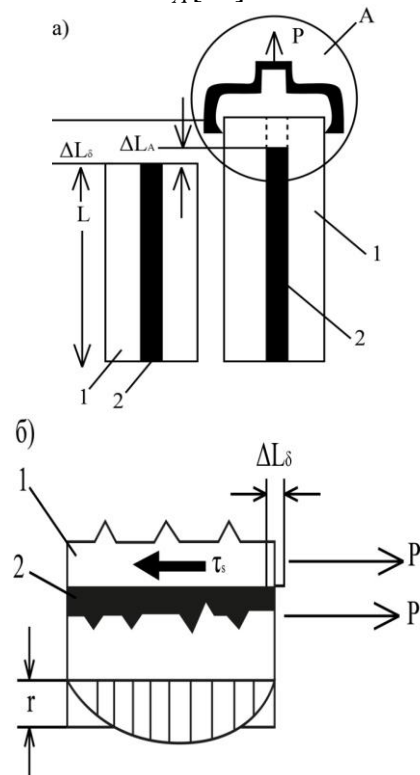


Рис. 2. Деформации бетона и арматуры под действием силы  $P$ : 1 - бетон, 2 - арматура; а) Схема нагрузки ж.б. образца и деформации его элементов; б) Напряжения в бетоне вблизи контакта с арматурой  
Из-за разницы деформаций между поверхностями бетона и арматуры возникает

касательное напряжение  $\tau$  (рис. 2 б). По А. А. Гвоздеву закон сцепления бетона и арматуры записывается в виде [ 3 ]:

$$\tau_{\sigma} = f(g) \quad (2)$$

Величина  $\tau_{\sigma}$  может быть определена через модуль упругости при сдвиге  $G$ , величина которого определяется через модуль упругости  $E$  [ 2 ]:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

где  $\nu$  – коэффициент поперечной деформации Пуассона ( $\nu = 0,2 \dots 0,3$ ).

На основании теоретических исследований [5] установлено, что приближенно  $G_{\sigma} = 0,4 E_{\sigma}$ .

Действие касательного напряжения  $\tau$  передается бетону перпендикулярно армирующей нити, постепенно убывая до расстояния "r" (рис. 2, б) там же зоны упрочнения бетона вокруг арматуры. Для упрощения расчетов эпюра напряжений условно принимается прямоугольной [1,5] Экспериментальными исследованиями [1] [3,4] установлено, что величина "r" составляет 5 мк в стадии упругости бетона и при увеличении нагрузки возрастает до 15 мк.

Рассмотренное взаимодействие между армирующими фибрами и бетоном позволяет сделать вывод, что касательное напряжение  $\tau_{\sigma}$ , упрочняющее бетон, зависит от модуля упругости фибр  $E$ , а упочняющее  $E_A$ . При этом степень упрочнения оказывается тем значительней, чем больше величина  $g$ , т.е. разница модулей упругости бетона и арматуры. Полимерные волокна из-за низкой величины их  $E$  не могут упрочнять бетон и могут служить только конструктивным элементом, препятствующим отделению треснувших частей детали (например, штукатурки) от всего массива. Поскольку действие  $\tau_{\sigma}$  распространяется на небольшую глубину "r" (5-15 мкм) (поэтому прочность сталефибробетона в целом может быть повышена путем увеличения площади фибр (уменьшением диаметра волокон) и максимального уменьшения расстояния  $S$  (рис. 1), что физически возможно при условии использования особомелкозернистого бетона.

При исследовании дисперсно армированного материала – асбестоцемента установлено, что его прочность оказывается тем выше, чем меньше расстояние между волокнами [6]. При расчете состава асбестоцемента принималось, что каждое волокно цемента (размер зерна 5 мк), и в результате теоретически получено, что плотная упаковка этого КМ достигается при соотношении а/ц = 15/85 (%), на практике это соотношение составляет 20/80. Исследования также показали, что на прочность затвердевшего асбестоцемента из физических показателей диаметр волокон влияет в большей степени, чем их длина. [6] В этих исследованиях соотношение модулей упругости асбеста и цемента не рассматривалось: у асбеста  $E = 20 \cdot 10^5$  МПа, т. е. превосходит в 100 раз модуль упругости цементного камня. Учитывая, что для асбестоцемента при уменьшении диаметра волокон прочность возрастает. Г. Ф. Тобольский и И. Ф. Цепенюк применили для стали фибробетона стальную проволоку различного диаметра. В табл. 1 приведены результаты испытания образцов-балочек на прочность. [7]

Таблица 1 - Прочность на изгиб сталефибробетона

Диаметр стальных волокон, мм	Напряжения при появлении трещин, МПа	Разрушающие напряжения, МПа
0,70	10,7	25,1
0,50	19,8	42,4
0,28	28,8	47,5

Анализ данных испытаний приведенных в табл. 1, показали, что уменьшение диаметра волокон в 2 раза приводят к повышению прочности на растяжении при изгибе в 1,8 раза. Уменьшение диаметра фибры с целью повышения прочности КМ вызывает необходимость расположения их в материале при минимальном значении  $S$  (рис. 1). При этом необходимо применить особо мелкозернистый специальный бетон. Особенности гранулометрического состава такого бетона выдвигают задачи разработки метода гомогенизации смеси [8].

**Заключение**

1. Прочность бетона при армировании короткими нитями (фибрами) зависит от соотношения модулей упругости бетонной матрицы и фибр.

2. Прочность дисперсно армированного бетона зависит от диаметра армирующих волокон и повышается при уменьшении диаметра волокон.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Крылов Б. А. и др. / Кн: Фибробетон и его применение в строительстве. М.:НИИЖБ, 1979. - с 4 – 12.
2. Астанін В. В. Основи розрахунків на міцність. Харків: «Регіон-інформ», 2001. - 209 с.
3. Гвоздев А. А. состояние и задачи исследования сцепления арматуры с бетоном // Б и Ж. Б., 1968. - № 12. - с. 1 – 4.
4. Оатул А. А Сцепление арматуры с бетоном // Изв. ВУЗов, сер. стр. и арх., 1977. - №5. - с.3-16.
5. Холмянский М.М. Теория сцепления арматуры с бетоном. // Б и Ж.Б., 1968. - №12. - с.10-18
6. Соколов П.Н. Технология асбестоцементных изделий. М.: Госстройиздат, 1960. - 395 с.
7. Тобольский Г.Ф., Цепенюк И.Ф. Пространственное армирование песчаных бетонов проволокой малых диаметров. // Изв. ВУЗов, сер. стр. и арх., №7. – 1964. - с.42-49.
8. Костюк Т.А., Деденева Е.Б., Вандоловский С.С. Совершенствование технологии гомогенизации бетонных смесей с мелкозернистыми наполнителями. / Вісник Одеської держ. ак. буд. та арх., вип. №60. – 2015. - с.149-153.

УДК 666.972

**Кугаєвська Т.С., Шульгін В.В.**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

**Сопов В.П.**

*Харківський національний університет будівництва і архітектури*

**МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ НАГРІТИМ ПОВІТРЯМ**

**Вступ.** Застосування сонячної енергії при тепловій обробці гідроізолюваних бетонних та залізобетонних виробів нагрітим в колекторі сонячної енергії повітрям дозволяє заощаджувати відповідні енерговитрати. Техніко-економічне обґрунтування умов, за яких доцільно використання цього процесу, здійснюється з урахуванням результатів експериментально-розрахункових досліджень.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Одним із розповсюджених методів використання сонячної енергії при виробництві бетонних виробів є їх нагрівання під світлопрозорим покриттям ([1, 2] та ін.). У книзі [1] зазначено, що прогрівання радіаційним потоком в геліоформах під СВІТАП бетонних зразків і виробів товщиною до 300 – 400 мм здійснюється при м'яких режимах, а саме: швидкість підйому температури бетону складає

5–7°С/год; тривалість ізотермічного витримування при максимальній температурі 60 – 70°С відбувається впродовж 5 – 7 год; остигання до температури 35 – 50°С здійснюється зі швидкістю 1,5 – 2,5°С/год (залежно від масивності виробів, марки бетону температури навколишнього середовища і т. ін.). Структура і властивості цих бетонів кращі, ніж у пропарених по традиційним режимам, і наближаються до бетонів нормального твердіння [1]. У статті [3] відображено спосіб прискорення твердіння бетонних і залізобетонних виробів у сонячному колекторі (в якому розміщено виріб). У темний період доби колектор закрито теплоізоляційною конструкцією.

У патенті [4] показано установку для цілорічної комбінованої теплової обробки конструкцій і виробів із різних видів бе-