

Леснов В. В., канд. техн. наук, доц.,  
Ерофеев В. Т., д-р техн. наук, проф.  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ С ОРГАНИЗОВАННОЙ МАКРОСТРУКТУРОЙ

vv1377mgu@rambler.ru

В статье приводятся результаты исследования свойств дисперсно-армированных каркасных композитов на наполненных цементных матрицах. Получены математические модели физико-механических свойств, отмечено их улучшение при введении дисперсной арматуры и различных наполнителей.

**Ключевые слова:** каркасные композиты, наполнитель, дисперсная металлическая арматура, математические модели прочностных свойств.

Снижение материалоемкости и улучшение физико-механических свойств композиционных материалов может достигаться применением нетрадиционных технологий их приготовления. К таковым можно отнести материалы получаемые методом пофазного формования, бетоны с фиксированным щебеночным каркасом, каркасные композиты и т. д. [1, 2].

Общим для данных технологий является то, что они изготавливаются путем получения на первом этапе оптимальных смесей заполнителей, их укладки и фиксации по форме будущего изделия, и заполнением пустот матричной составляющей, созданного таким образом каркаса, на втором этапе. При этом изготовление щебеночного каркаса может осуществляться склеиванием между собой зерен крупного заполнителя или их уплотнением.

Введение в состав бетона дисперсной металлической арматуры (ДМА) позволяет получать композиты с повышенной трещиностойкостью, истираемостью, морозостойкостью, долговечностью, улучшенными прочностными характеристиками [3], поэтому исследование свойств каркасных композитов, армированных дисперсной арматурой является актуальной задачей.

Целью работы являлось исследование влияния дисперсного армирования, вида и содержания наполнителя на структурные и прочностные свойства каркасных дисперсно-армированных (ДА) композитов.

При выполнении исследований использовали математическое планирование эксперимента на двухфакторном плане. В качестве факторов были выбраны:  $X_1$  – содержание дисперсной металлической арматуры в % по объему,  $X_2$  – размер фракции крупного заполнителя. В качестве крупного заполнителя применяли амфиболитовый щебень фракций 2,5-5 мм и 5-10 мм Новокиевского месторождения (п. Новорудный, Орембургская обл.), вяжущего – портландцемент марки ЦЕМ I 52,5 ГОСТ 31108-2003 (ОАО «Мордовцемент»), ДМА – «Драмикс 50/1» длиной 50 мм и диаметром 1 мм, наполнителей –

$$R_i^{kn} = 13,07 + 1,08X_1 - 0,64X_2 + 0,33X_4 - 0,16X_1X_2 + 0,17X_1X_4 - 0,21X_1^2,$$

порошки амфиболита и шлака (ОАО Липецкий металлургический комбинат) с удельной поверхностью 350 см<sup>2</sup>/г.

Значения факторов на относительных и фактических уровнях приведены в табл. 1.

Таблица 1

Фактор	Уровни факторов	
	относительные	фактические
$X_1$	-1	0
	-0,5	0,375 %
	0	0,75 %
	+0,5	1,125 %
	+1	1,5 %
$X_2$	-1	Фр. 2,5-5 мм
	+1	Фр. 5-10 мм
$X_3$	-1	0
	+1	0,3

Технология изготовления композитов была следующей: получали каркас, перемешивая всухую крупный заполнитель с ДМА в течение 2 мин, вводя арматуру тремя равными порциями, смесь укладывали в формы и уплотняли. После чего готовили в течение 2 мин матричные композиции следующего состава: портландцемент – 100 мас. ч., наполнитель (амфиболит, шлак) – 0 и 30 мас. ч., суперпластификатор марки «Melflux 1641F» – 0,5 % от массы вяжущего, В/Ц = 0,4. Далее получали каркасный ДА композит, производя пропитку каркаса матричным составом при подаче смеси в пустоты сверху вниз. Каркасы и каркасные ДА композиты уплотняли на встряхивающем столике 30 ударами с частотой 1 удар/с. Образцы после суточного твердения подвергали тепловлажностной обработке при 95<sup>0</sup>С в течение 8 ч. Испытания по определению прочности на изгиб, сжатие, начальный модуль упругости, средней плотности, удельной ударной вязкости и истираемости производили на образцах-балочках размером 4×4×16 см.

После обработки результатов были получены математические модели физико-механических свойств каркасных ДА композитов на наполненных матрицах, приведенные ниже:

$$R_b^{kn} = 59,07 + 2,64X_1 + 4,26X_2 + 3,04X_4 - 1,36X_1^2,$$

$$\rho^{kn} = 2328,4 + 68,5X_1 + 11,4X_2 + 8,1X_4,$$

$$I^{kn} = 1,95 - 0,18X_1 + 0,22X_2 - 0,07X_3 + 0,05X_4 + 0,05X_1X_2,$$

$$A_y^{kn} = 11,08 + 6,69X_1 - 1,25X_2 + 0,66X_3 - 0,48X_4 - 0,89X_1X_2 + 0,41X_1X_3 - 0,32X_1X_4,$$

$$E_o^{kn} = 23421,4 + 792,9X_1 + 640,2X_2 + 505,5X_4 + 160,5X_2X_4 + 162,6X_1^2,$$

где  $R_i^{kn}$ ,  $R_b^{kn}$  – предел прочности при сжатии и изгибе (МПа),  $\rho^{kn}$  – средняя плотность (кг/м<sup>3</sup>),  $I^{kn}$  – истираемость (г/м<sup>2</sup>),  $A_y^{kn}$  – удельная ударная вязкость (кДж/м<sup>2</sup>) и  $E_o^{kn}$  – начальный модуль упругости (МПа) каркасных дисперсно-армированных композитов на пластифициро-

ванных матрицах наполненных шлаком и амфиболитом.

Графики физико-прочностных показателей каркасных ДА цементных композитов на наполненных матрицах, построенные по математическим моделям, приведены на рис. 1–6.

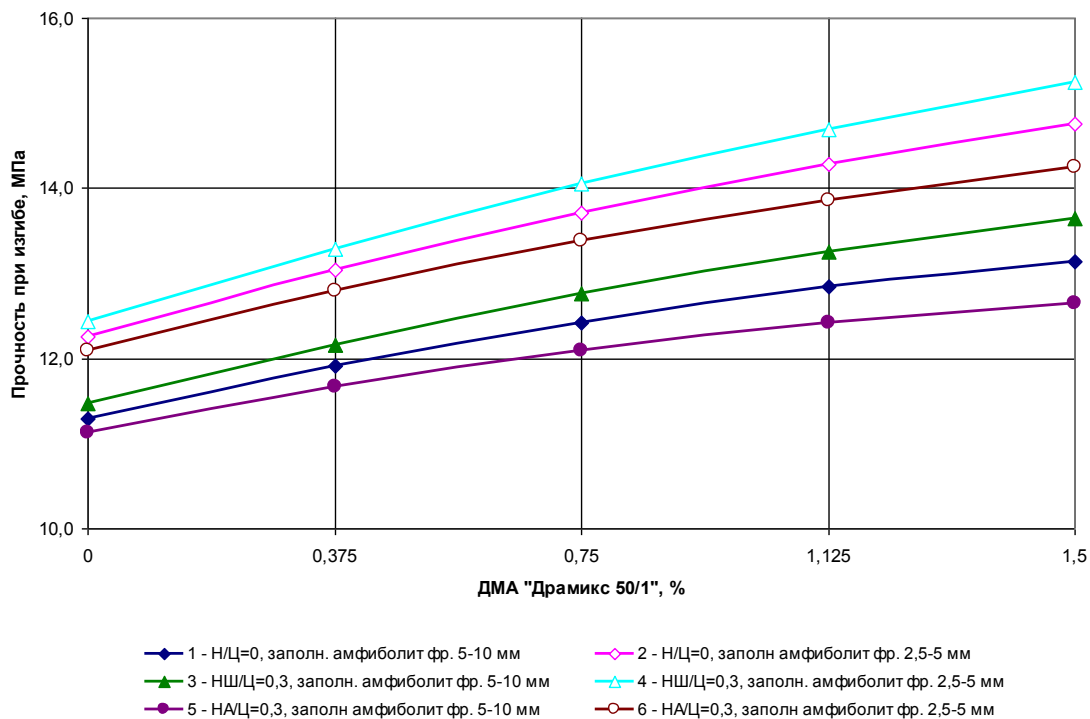


Рис. 1. Предел прочности при изгибе каркасных ДА композитов

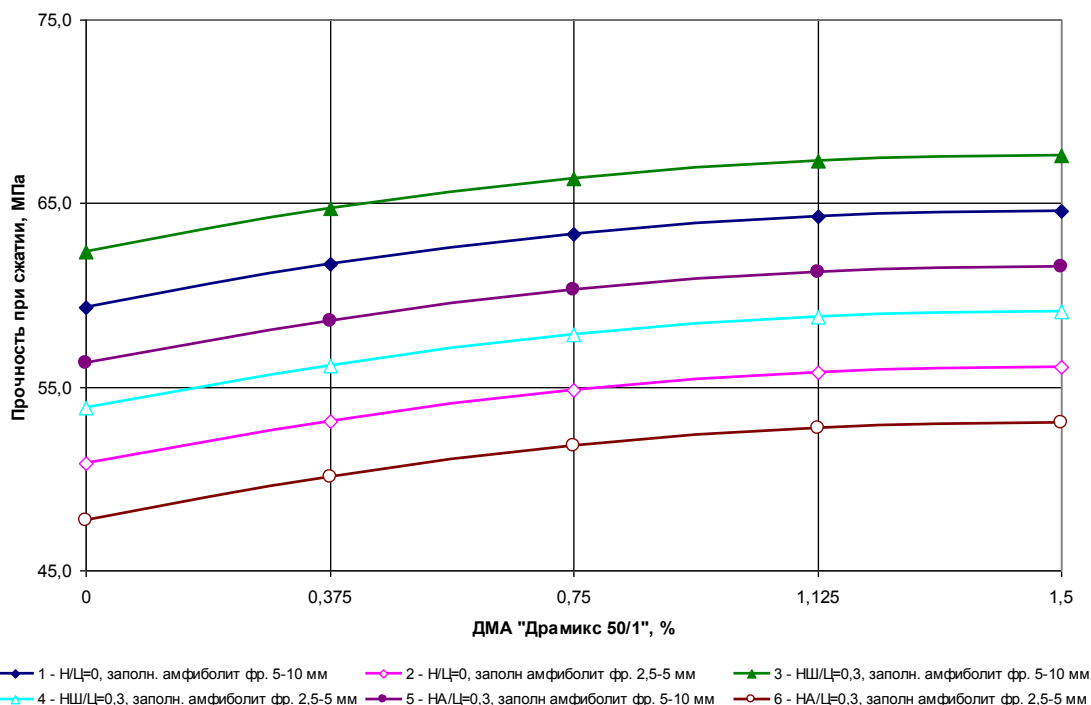


Рис. 2. Предел прочности при сжатии каркасных ДА композитов

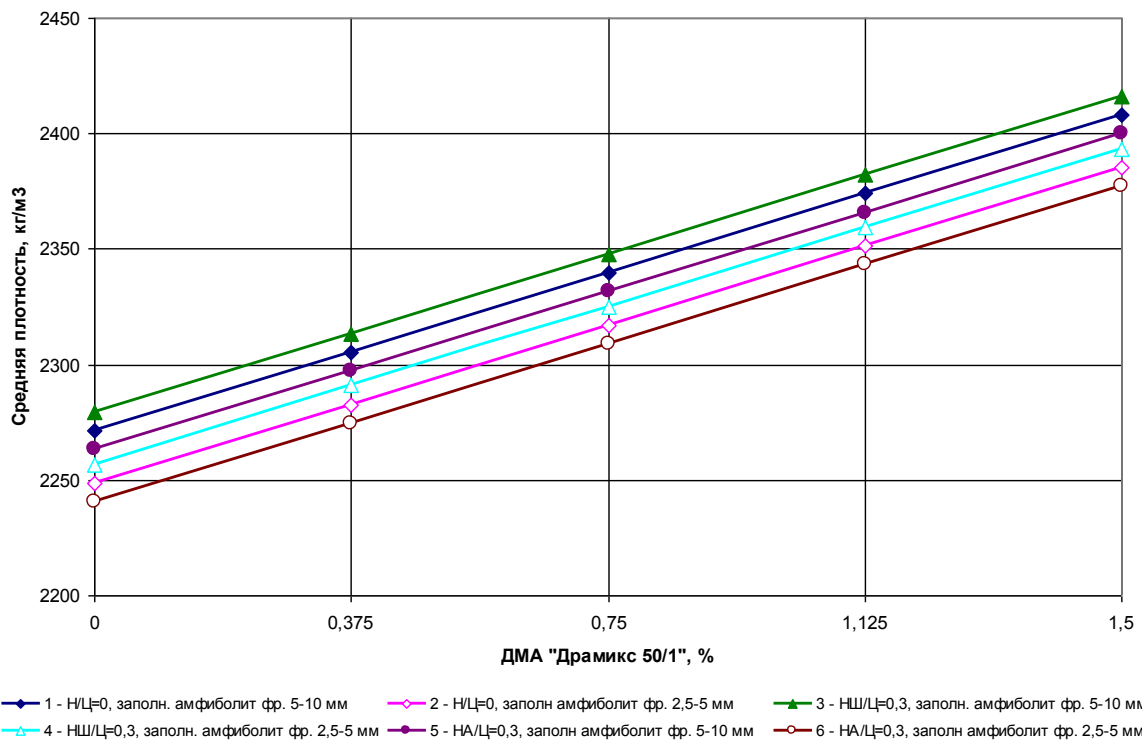


Рис. 3. Средняя плотность каркасных ДА композитов

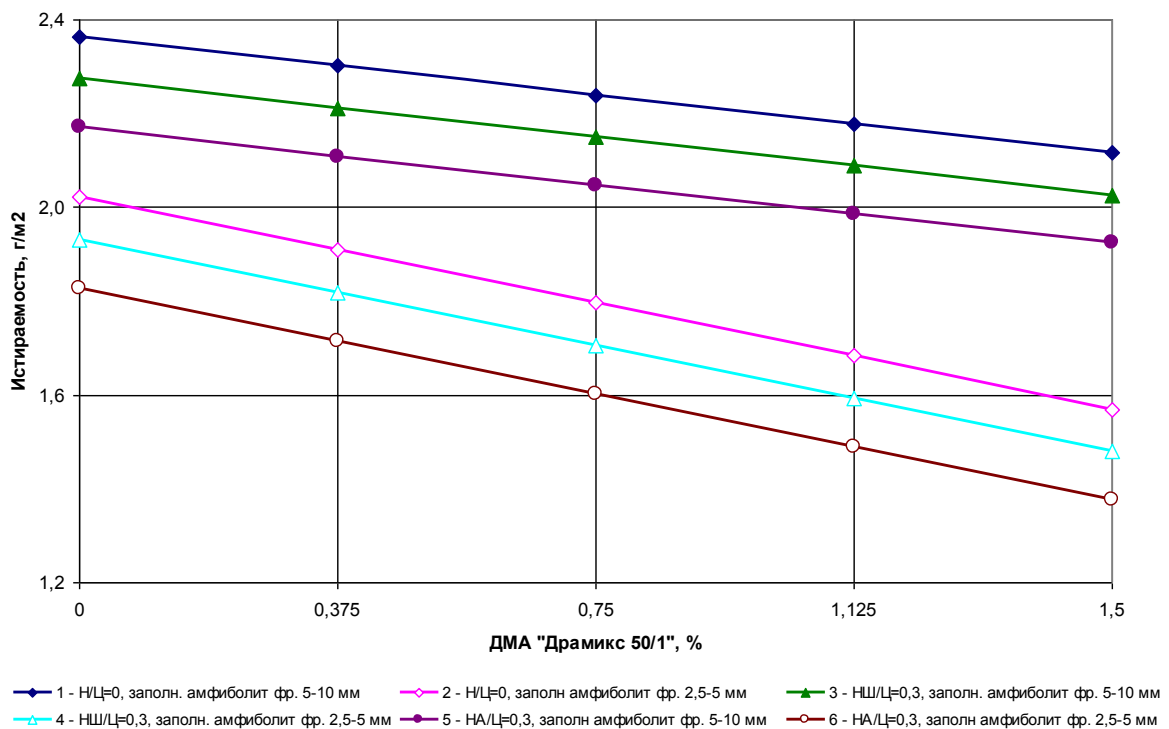


Рис. 4. Истираемость каркасных ДА композитов

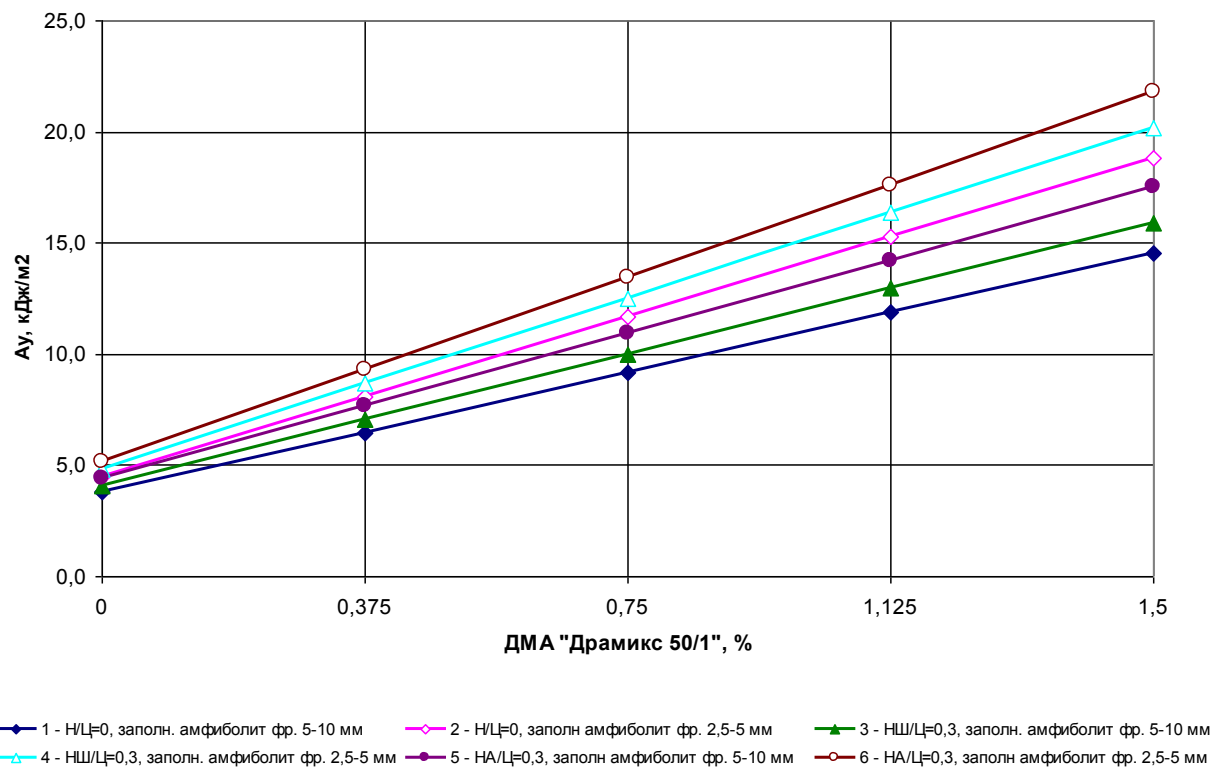


Рис. 5. Удельная ударная вязкость каркасных ДА композитов

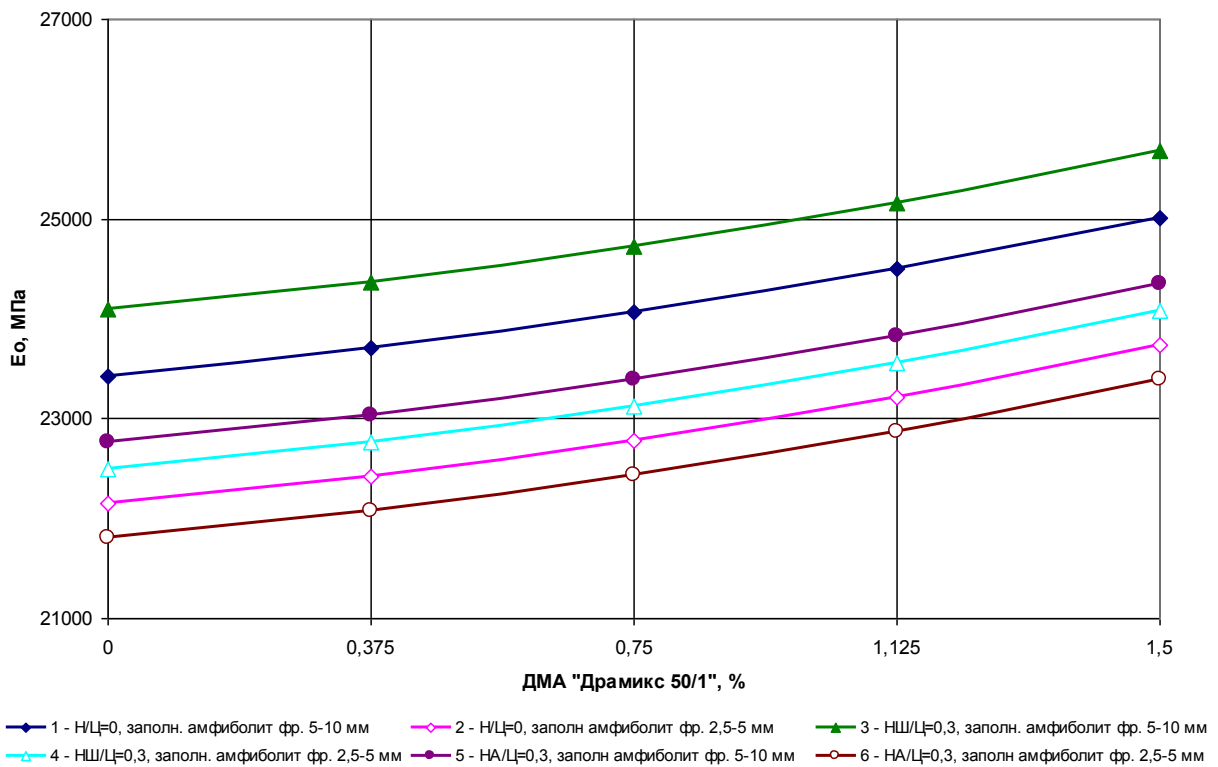


Рис. 6. Начальный модуль упругости каркасных ДА композитов

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

■ введение в каркасные композиты ДМА «Драмикс 50/1» и наполнителей позволяет получать композиты с пределом прочности при изгибе 11,1...15,3 МПа, при сжатии 47,8...67,6 МПа, средней плотностью 2240...2420 кг/м<sup>3</sup>, истираемостью 1,4...2,4 г/м<sup>2</sup>, удельной ударной вязкостью 3,8...21,8 кДж/м<sup>2</sup>, начальным модулем упругости 21800...25680 МПа;

■ при содержании дисперсной металлической арматуры 1,5 % по объему прочность при изгибе и сжатии увеличивается соответственно на 14...23 % и 8...11 %, средняя плотность и начальный модуль упругости – на 6 % и 7 %, удельная ударная вязкость в 3,85...4,23 раза, истираемость снижается на 10...25 %, по сравнению с составами без ДМА;

■ использование в качестве крупного заполнителя амфиболитового щебня фракции 5–10 мм увеличивает прочность композитов при сжатии, среднюю плотность, начальный модуль упругости, а уменьшение крупности фракции до 2,5–5 мм повышает прочность композитов при изгибе, удельную ударную вязкость, понижает истираемость;

■ наполнение матричной композиции амфиболитом незначительно снижает прочность каркасных композитов при изгибе и сжатии, среднюю плотность, истираемость, начальный модуль упругости и повышает удельную ударную вязкость по сравнению композитами на ненаполненных матрицах;

■ наполнение матриц шлаком улучшает все количественные характеристики композиций по сравнению с каркасными композитами на ненаполненных матрицах;

■ применение наполненных цементных матриц позволяет создавать эффективные композиты с экономией вяжущего до 30 %, полученные физико-механические характеристики каркасных композитов армированных ДМА «Драмикс 50/1» позволяют использовать их в конструкциях дорожных покрытий и полов, подвергающихся интенсивным истирающим, ударным и силовым воздействиям.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каркасные строительные композиты: В 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / В. Т. Ерофеев, Н. И. Мищенко, В. П. Селяев, В. И. Соломатов; Под ред. Акад. РААСН В. И. Соломатова // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. – 200 с.

2. Лихолетов О. Д., Мощанский Н. А., Путляев И. Е. Пофазное формирование структуры полимербетонов // Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. – Вильнюс, 1971. – С. 113-115.

3. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 559 с.