

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 666. 914.5:663.543:002.68

ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ – СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙДЕРЕВЯНКО В. Н.¹, д. т. н., проф.,ШАПОВАЛОВА О. В.^{2*}, к. т. н., доц.,КОНДРАТЬЕВА Н. В.³, к. т. н., доц.,МАКСИМЕНКО А. А.⁴, к. т. н., с. н. с.

¹ Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: derv@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3601-2594

^{2*} Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: ov.shapovalova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2709-9945

³ Кафедра химической технологии вяжущих материалов, Государственное высшее учебное заведение "Украинский государственный химико-технологический университет", пр. Гагарина, 8, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

⁴ Кафедра технологии строительных материалов изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

Аннотация. Постановка проблемы. Для достижения высокой прочности композиций, изготавливаемых на основе цементов различной активности, строительных песков и армирующих компонентов в составе сухих строительных смесей, возникает вопрос оптимального выбора вида, длины и количественного содержания волокон. **Анализ публикаций.** Согласно многочисленным исследованиям, результаты которых обобщены в работах А. Е. Десова, И. Н. Ахвердова, В. П. Соломатова, В. Н. Вырвогого и др. роль волокон заключается в том, что они воспринимают часть нагрузки, препятствуют развитию трещин и смещению блоков. Разрушение композиции осуществляется, согласно существующим теориям, за счет разрыва и вытягивания волокон. Существуют различные виды моделей и теорий разрушений материалов на основе минеральных вяжущих. По мнению исследователей, материал не представляет собой изотропную среду, а деформация и разрушение бетона происходят под действием внешних сил. В случае введения дискретных волокон механизм напряжения можно представить следующим: часть волокон работает на растяжение, а часть препятствует смещению частичек, усиливая связность системы. Минеральные и металлические волокна, расположенные параллельно действующей внешней нагрузке, усиливают жесткость системы. Так как, органические волокна имеют низкий модуль упругости, то вероятней всего они препятствуют смещению частичек и снижают возникающие вторичные напряжения. Следовательно, эффект армирования зависит от структуры, прочности матрицы, а также от параметров волокон и их свойств. **Цель статьи.** Разработка метода определения минимальной длины и содержания компонентов в цементно-волокнистой композиции. **Выводы.** Таким образом, проведенный анализ результатов исследований показывает, что наиболее эффективная длина полипропиленовых волокон диаметром до 15 – 17 мкм в композициях цементно-песчаных растворов находится в пределах 5 – 7 мм. Содержание волокон в растворах, при котором прочность при сжатии повышается на 15 – 30 %, а при изгибе на 40-70 %, не превышает 0,2 % от массы вяжущего. Характерно то, что армирование является более эффективным для композиций, в которых применялось низкомарочное вяжущее. Это свидетельствует, что дисперсным армированием можно частично устранить снижение активности цементных вяжущих в результате их хранения. Так, прирост прочности за счет армирования растворов с активностью вяжущего 20 МПа составляет 50 – 60 %, тогда как прочность растворов, в которых применялся портландцемент с активностью 49 МПа возросла всего лишь на 25 – 30%.

Ключевые слова: армирование, волокна, композиции, прочность, матрица.

ДИСПЕРСНЕ АРМУВАННЯ – СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ВИРОБІВ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.¹, д. т. н., проф.,
ШАПОВАЛОВА О. В.^{2*}, к. т. н., доц.,
КОНДРАТЬЄВА Н. В.³, к. т. н., доц.,
МАКСИМЕНКО А. А.⁴, к. т. н., с. н. с.

¹ Кафедра технології будівельних матеріалів виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: derv@mail.pgasa.dp.ua, ORCI ID: 0000-0002-3601-2594

^{2*} Кафедра технології будівельних матеріалів виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: ov.shapovalova@mail.ru, ORCI ID: 0000-0002-2709-9945

³ Кафедра хімічної технології в'язучих матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Український державний хіміко-технологічний університет", пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

⁴ Кафедра технології будівельних матеріалів виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCI ID: 0000-0001-5002-6266

Анотація. Постановка проблеми. Для досягнення високої міцності композицій, що виготовляються на основі цементів різної активності, будівельних пісків і армувальних компонентів у складі сухих будівельних сумішей, виникає питання оптимального вибору виду, довжини та кількісного вмісту волокон. **Аналіз публікацій.** Відповідно до численних досліджень, результати яких узагальнені у працях А. Е. Десова, І. Н. Ахвердова, В. П. Соломатова, В. Н. Вирового та ін., роль волокон полягає в тому, що вони сприймають частину навантаження, перешкоджають розвитку тріщин і зсуву блоків. Руйнування композиції здійснюється, згідно з існуючими теоріями, за рахунок розриву та витягування волокон. Існують різні види моделей і теорій руйнувань матеріалів на основі мінеральних в'язучих. На думку дослідників, матеріал не являє собою ізотропне середовище, а деформація та руйнування бетону відбуваються за дії зовнішніх сил. У випадку введення дискретних волокон механізм напруги можна представити так: частина волокон працює на розтягання, а частина перешкоджає зсуву часточок, підсилюючи зв'язність системи. Мінеральні і металеві волокна, розташовані паралельно діючому зовнішньому навантаженню, підсилюють твердість системи. Тому що органічні волокна мають низький модуль пружності, імовірно за все вони перешкоджають зсуву часточок і знижують виникають вторинні напруги. Отже, ефект армування залежить від структури, міцності матриці, а також від параметрів волокон і їх властивостей. **Мета статті.** Розроблення методу визначення мінімальної довжини і вмісту компонентів у цементно-волокнистій композиції. **Висновки.** Проведений аналіз результатів досліджень показує, що найбільш ефективна довжина поліпропіленових волокон діаметром до 15 – 17 мкм у композиціях цементно-піщаних розчинів перебуває в межах 5 – 7 мм. Вміст волокон у розчинах, за якого міцність при стиску підвищується на 15 – 30 %, а при вигині на 40 – 70 %, не перевищує 0,2 % від маси в'язучого. Характерним є те, що армування є більш ефективним для композицій, у яких застосовувалося низькомарочне в'язуче. Це свідчить що дисперсним армуванням можна частково усунути зниження активності цементних в'язучих у результаті їх зберігання. Так, приріст міцності за рахунок армування розчинів з активністю в'язучого 20 МПа становить 50 – 60 %, тоді як міцність розчинів, у яких застосовувався портландцемент з активністю 49 МПа, зросла всього лише на 25 – 30%.

Ключові слова: армування, волокна, композиції, міцність, матриця.

DISPERSIBLE REINFORCEMENT IS METHOD OF INCREASE OF DURABILITY OF WARES

DEREVYANKO V. N.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
SHAPOVALOVA O. V.^{2*}, Tech. Sc. Cand., Doc.,
KONDRATIEVA N. V.³, Tech. Sc. Cand., Doc.,
MAKSIMENKO A. A.⁴, Tech. Sc. Can., senior researcher.

¹ Department of technology of building materials products and constructions, State higher educational establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. 38 (0562) 46-93-76, e - mail: derv@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID 0000-0002-3601-2594

^{2*} Department of technology of building materials of wares and constructions, State higher educational establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. 38 (0562) 46-93-76, e - mail: ov.shapovalova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-2709-9945

³ Department of chemical technology of binders, State higher educational establishment "Ukrainian state chemical-technological university", 8, Gagarin, etc., Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. 38 (0562) 46-93-76, e - mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID : 0000-0002-2537-4389

⁴ Department of technology of building materials of wares and constructions, State higher educational establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. 38 (0562) 46-93-76, e - mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID : 0000-0001-5002-6266

Problem statement. There is a question of optimum choice of type, length and quantitative content of fibers for achievement of high strength of compositions made on the basis of cement of various activities, construction sand and reinforcing components as a part of dry building mixes. **Analysis of publications.** The role of fibers is that they take a part of load, interfere with development of cracks and displacement of blocks, according to numerous researches which results are generalized in works of Desov A. E., Akhverdov I. N., Solomatov V. P., Vyrovoy V.N., etc. According to existing theories, destruction of composition is carried out due to breaking and stretching of fibers. There are different types of models and theories of destruction of materials on the basis of mineral binders. According to researchers, material is not isotropic environment, and deformation and destruction of concrete is caused by the influence of external forces. In case of introduction of discrete fibers, the mechanism of tension can be presented to the following. One part of fibers works for stretching and the other one interferes with shift of particles, increasing connectivity of the system. Mineral and metal fibers, located parallel to the operating external load, increase rigidity of the system. As organic fibers have low module of elasticity, they most likely interfere with shift of the particles and reduce arising secondary tension. Therefore, the effect of reinforcing depends on structure, matrix strength and also on parameters of fibers and their properties. **The purpose of the article.** Development of a method of determination of the minimum length and content of components in cement and fibrous composition. **Conclusions.** Thus, the made analysis of the research results shows that the most effective length of polypropylene fibers with a diameter up to 15 -17 μm in compositions of cement and sand mortars is in limits of 5 - 7 mm. The fibers content in mortars, at which compression strength increases by 15-30%, and bending strength – by 40-70%, does not exceed 0.2% of the binder mass. It is typical that reinforcing is more effective for compositions in which a low-branded binder is applied. It testifies that it is possible with disperse reinforcing to eliminate partially decreasing of cement binder activity that is a result of its storage. So, strength gain due to reinforcing of mortars with binder activity 20 MPa is 50 - 60% whereas strength of mortars, in which Portland cement with activity of 49 MPa is applied increased, only for 25 - 30%.

Keywords: *reinforcement, fibers, composition, strength, reinforcement, matrix.*

Постановка проблеми. Для достижения высокой прочности композиций, изготавливаемых на основе цементов различной активности, строительных песков и армирующих компонентов в составе сухих строительных смесей возникает вопрос оптимального выбора вида, длины и количественного содержания волокон.

Анализ публикаций. Согласно многочисленным исследованиям, результаты которых обобщены в работах А. Е. Десова, И. Н. Ахвердова, В. П. Соломатова, В. Н. Вырового и др., роль волокон заключается в том, что они воспринимают часть нагрузки, препятствуют развитию трещин и смещению блоков.

Разрушение композиции осуществляется, согласно существующим теориям, за счет разрыва и вытягивания волокон. Существуют различные виды моделей и теорий разрушений материалов на основе

минеральных вяжущих. По мнению исследователей, материал не представляет собой изотропную среду, а деформация и разрушение бетона происходят под действием внешних сил.

В случае введения дискретных волокон механизм разрушения можно представить следующим. Часть волокон работает на растяжение, а часть препятствует смещению частичек, усиливая связность системы. Минеральные и металлические волокна, расположенные параллельно действующей внешней нагрузке, усиливают жесткость системы.

Так как органические волокна имеют низкий модуль упругости, то, вероятней всего, они препятствуют смещению частичек и снижают возникающие вторичные напряжения.

Следовательно, эффект армирования зависит от структуры, прочности матрицы, а также от параметров волокон и их свойств.

Цель статьи. Разработка метода определения минимальной длины и содержания компонентов в цементно-волоконистой композиции.

Изложение материала. Для определения влияния активности цемента на параметры армирующего компонента проведены

предварительные исследования, где установлены уровни варьирования факторов. В матрице полнофакторного эксперимента [1] ПФЭ-2 в качестве переменных приняты: x_1 – длина волокон, мм; x_2 – содержание вяжущего в % по массе; x_3 – активность цемента, МПа

Интервалы варьирования и матрица планирования эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Интервалы варьирования компонентов

Уровни варьирования	X_1	X_2	X_3
Верхний	5,00	0,00	24,00
Нулевой	7,50	0,15	27,00
Нижний	10,00	0,30	30,00

Для проведения экспериментов были изготовлены образцы с соотношением компонентов, представленным в таблице 3.

Технология изготовления образцов. Вначале часть песка от общей его навески, равной 1 500 г, подают совместно с полипропиленовым волокном в миксер, где в течение 1 мин. происходит распушка волокна.

Затем добавляют 50 мл от расчетной воды затворения и перемешивают еще 3 – 4 мин. Эту смесь направляют в смеситель, куда засыпают цемент и остальной песок и перемешивают 1 мин. После этого добавляют остальную воду с последующим перемешиванием в течение 5 мин.

Таблица 2

Матрица планирования

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_4$	$X_2 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_4$	$X_2 \cdot X_5$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_4$	$X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$
1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
3	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
4	+1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
9	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
10	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
11	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
12	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1
13	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1
14	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
15	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
16	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Определяем подвижность растворной смеси и по достижении необходимой осадки конуса заполняем смесь форму балочек $4 \times 4 \times 16$ см с последующим виброуплотнением (2,5 мин.). Устанавливаем формы с

образцами в емкость с водяным затвором на 1 сутки, а через 24 часа производим распалубку и помещаем образцы на остальные 27 суток в воду. По истечении времени твердения извлекаем образцы, обтираем и

определяем пределы прочности при изгибе и сжатии [2]. Результаты исследований пред- ставлены в таблице 4.

Таблица 3

Состав компонентов

№ опыта	Расход материалов						
	Цемент		Песок, (%) г	В/Ц	Вода, мл	Волокно	
	$X_3, R_{сж}, \text{МПа}$	(%) г				$X_1, \ell, \text{мм}$	$X_2, (\%) \text{ г}$
1	49	(33,3)750	(66,7)1500	0,37	280	-	-
2	49	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	5	0,1(2,25)
3	49	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	5	0,3(6,75)
4	49	(33,3)750	(66,7)1500	0,37	280	10	0,1(2,25)
5	49	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	10	0,3(6,75)
6	20	(33,3)750	(66,7)1500	0,37	280	-	-
7	20	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	5	0,1(2,25)
8	20	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	5	0,3(6,75)
9	20	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	10	0,1(2,25)
10	20	(33,3)750	(66,7)1500	0,40	300	10	0,3(6,75)

Таблица 4

Физико-механические испытания образцов

Время твердл., сут.	Размер образ-ца, см	Средний результат						
		$R_{сж}, \text{МПа}$	$R_{изг}, \text{МПа}$	$R_{сж}^*, \text{МПа}$	$R_{сж}^{**}, \text{МПа}$	$\rho_0, \text{кг/м}^3$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\Pi_0, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
28	4×4×16	490	7,98	2,3	0,6	2010	2430	17,2
28	4×4×16	506	8,94	3,9	0,93	2020	2430	16,8
28	4×4×16	361	7,98	5,3	1,31	2040	2430	16
28	4×4×16	452	8,54	3,9	0,93	2030	2430	16,4
28	4×4×16	500	7,37	7,3	2,05	2070	2430	14,8
28	4×4×16	200	5,88	2,1	0,53	2020	2430	16,8
28	4×4×16	332	6,26	3,9	0,93	2050	2430	15,6
28	4×4×16	265	4,23	4,4	1,25	2020	2430	16,8
28	4×4×16	240	5,39	2,5	0,64	2060	2430	15,2
28	4×4×16	248	5,89	2,6	0,67	2030	2430	16,4

- $R_{изг}$ – предел прочности при изгибе балочек;
- $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии половинок балочек;
- $R_{сж}^*$ – адгезионная прочность, определенная по методике скалывания покрытия с поверхности бетона;
- $R_{сж}^{**}$ – адгезионная прочность, определенная методом отрыва;
- ρ_0 – средняя плотность;
- ρ – истинная плотность;
- Π_0 – ориентировочная пористость затвердевшего раствора.

По результатам исследований для каждого из свойств определены коэффициенты влияния и составлены уравнения регрессии. С помощью статических методов проведена оценка значимости коэффициентов и определена адекватность уравнений.

С помощью программы “Матлаб” построены диаграммы взаимовлияния входных факторов на основные свойства композиций (рис. 1 – 3).

Анализ диаграмм (рис. 1) показывает, что для достижения предела прочности раствора при сжатии $R_{сж(28)} = 40 – 50 \text{ МПа}$ не-

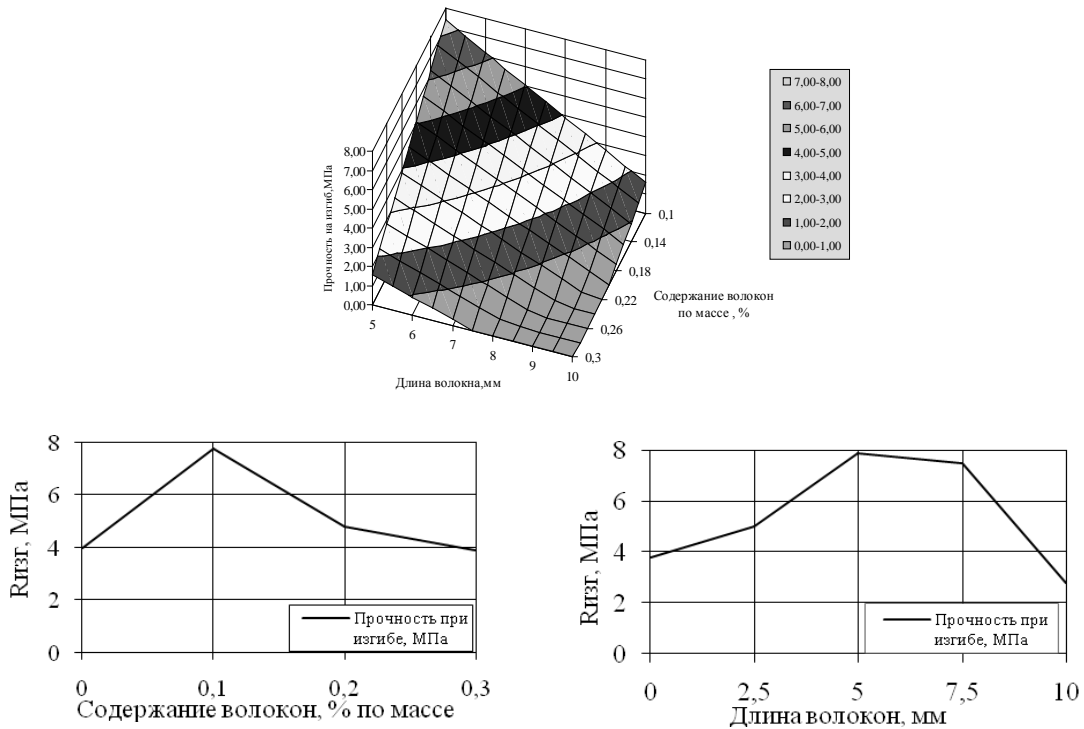
обходимо увеличить расход волокон до 0,1 – 0,14 %, при этом длина волокон должна составлять $l = 4 – 6 \text{ мм}$. Дальнейшее увеличение содержания волокон и их длины приводит к снижению прочностных показателей растворов.

Аналогичная зависимость наблюдается и при исследовании прочности при изгибе волокон. То есть эффективность армирования растворов, изготавливаемых из цементно-песчаных смесей с использованием полипропиленовых волокон, достигается при параметрах длина волокон $l = 4 – 6 \text{ мм}$; расход волокон по массе $m = 0,1 – 0,14 \%$.

При рассмотрении влияния активности цемента и длины волокон на те же прочностные характеристики оказывается, что

композиции с более низкой активностью требуют введения волокон большей длины (рис. 2).

а



б

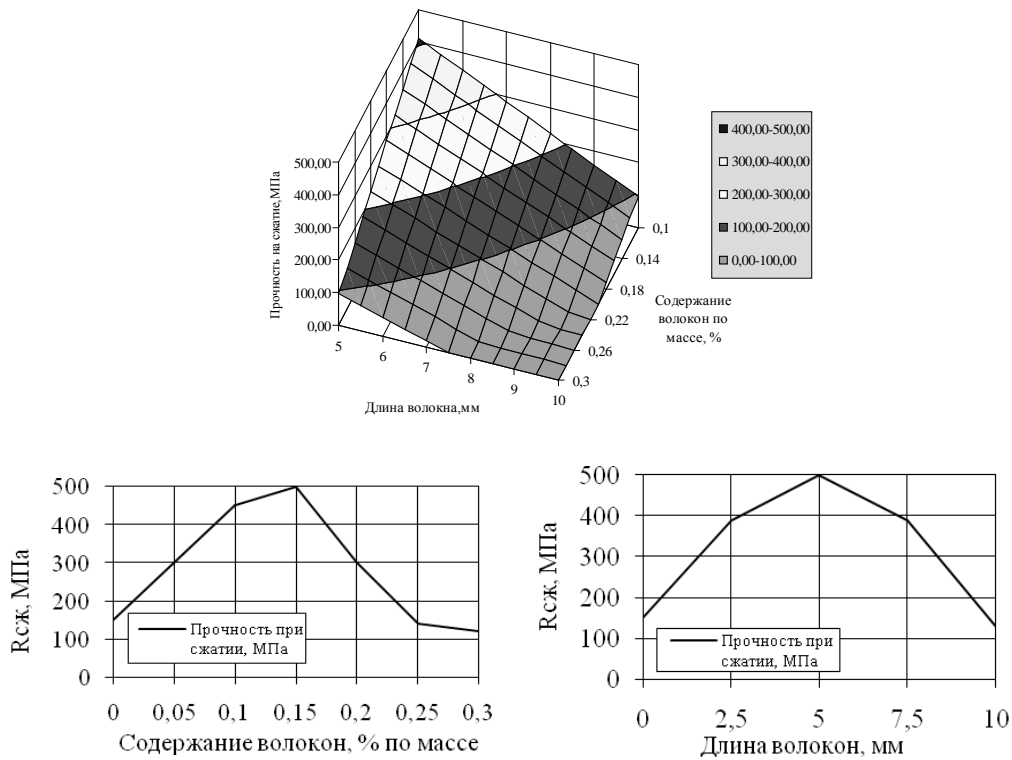
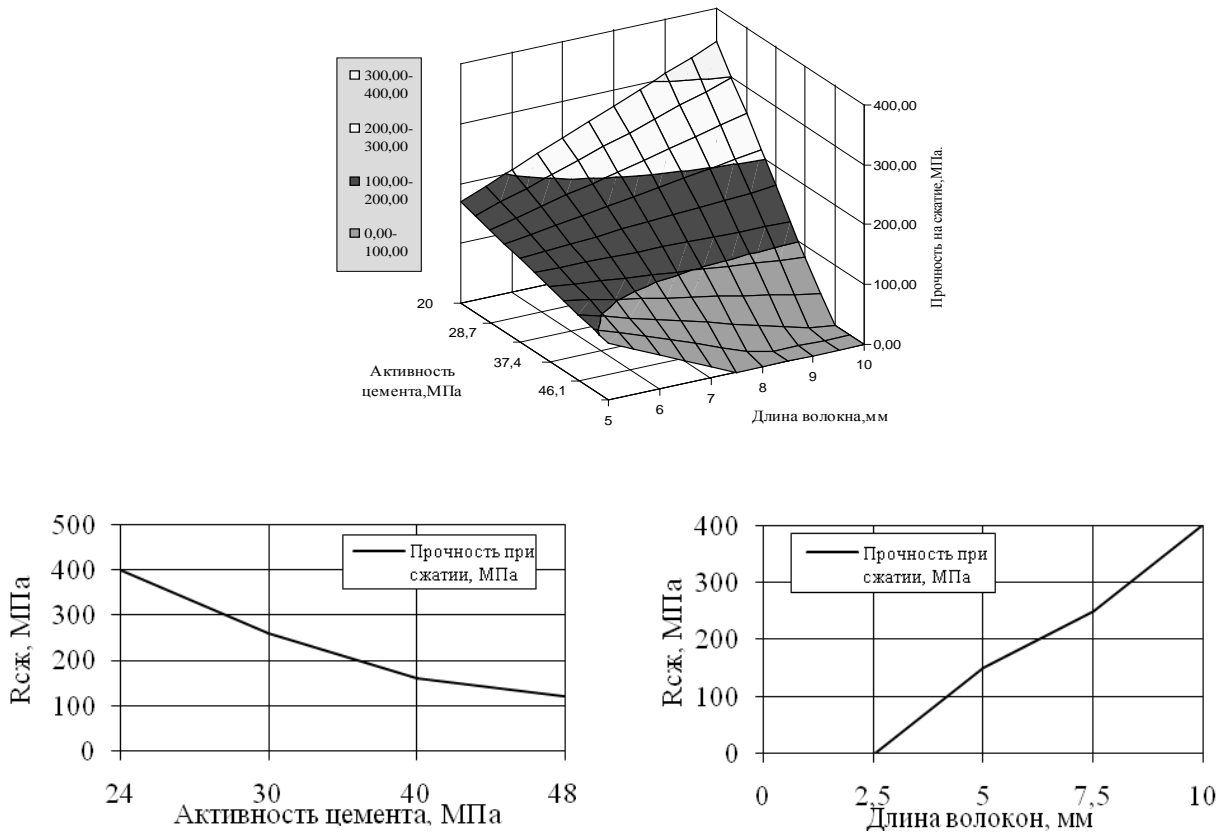


Рис. 1. Влияние % содержания волокон и их длины на прочность:
а – при изгибе; б – при сжатии

а



б

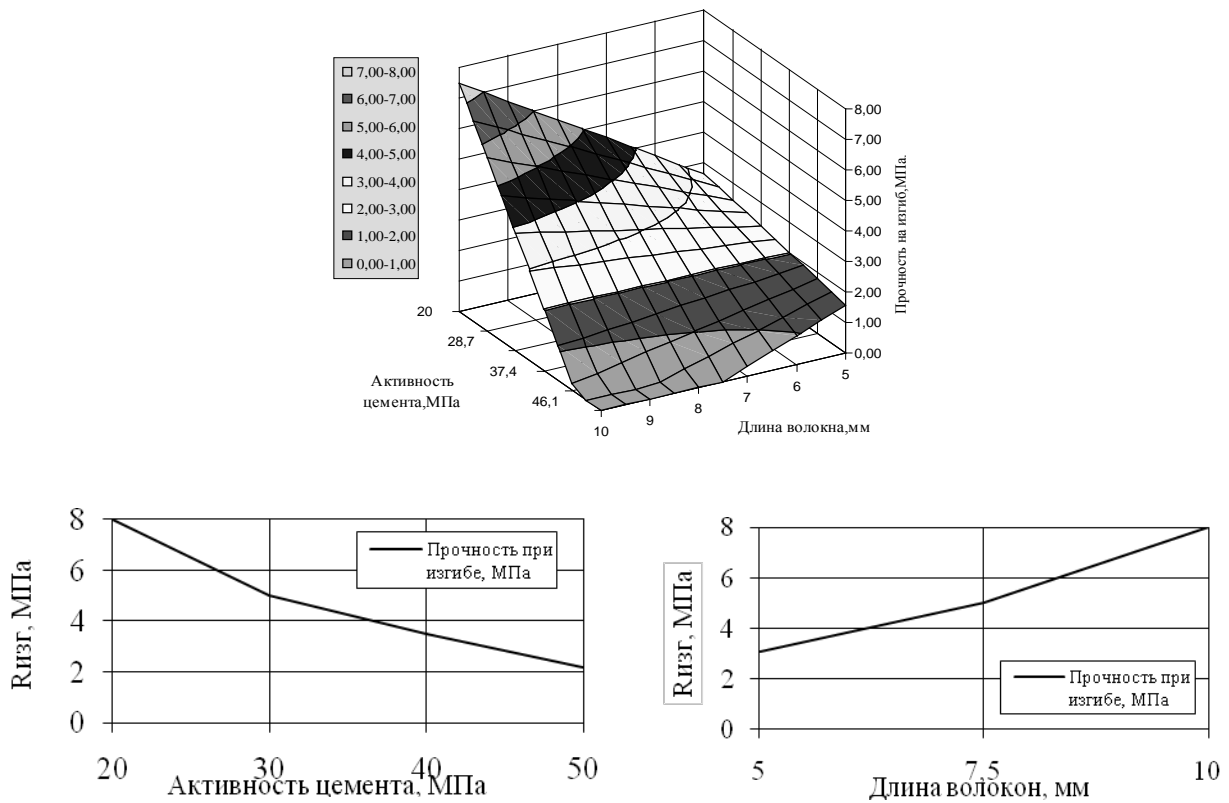


Рис. 2. Зависимость предела прочности раствора при сжатии (а) и при изгибе (б) от активности цемента и длины волокон

Так, цементы, имеющие активность, 20 МПа, армированные волокнами 10 мм имеют прочность при сжатии 30 – 40 МПа и при изгибе 7 – 8 МПа.

Композиции с активностью цементов более высокой, 40 – 50 МПа, при той же

длине волокон имеют прочность в 1,5 – 2 раза ниже. Вероятно, это связано с прочностью пограничного слоя волокно – матрицы (табл. 5).

Таблица 5

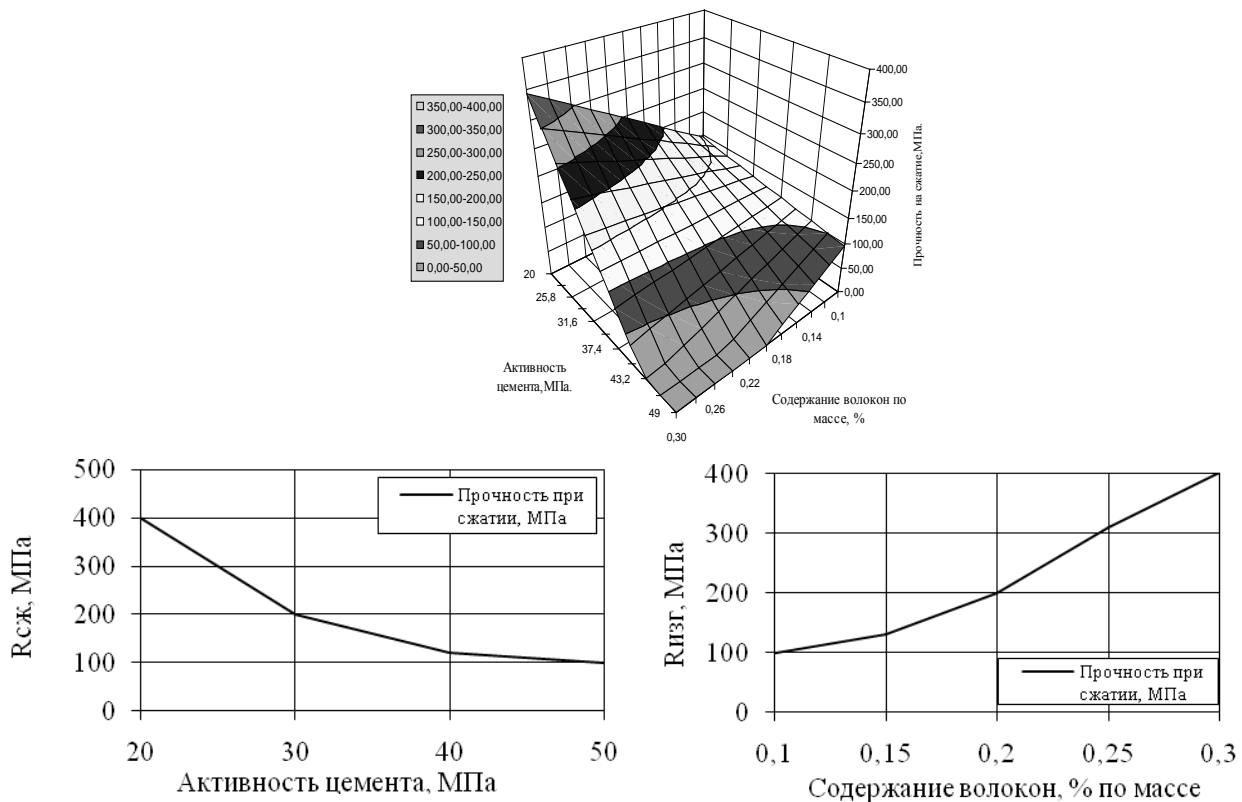
Результаты исследований на вырыв волокон из цементной матрицы

№ матрицы	Активность цемента, МПа	Длина волокон, мм	Разрыв волокон, %	Выдернутые волокна, %	Усилие (нагрузка) P _{д2} , Н	Прочность R _{сж} контактного слоя, Н/м ² (МПа)
1	24	3	0	100	0,22	-
		5	28	72	0,26	0,019
		7	61	89	0,35	0,018
2	30	3	0	100	0,22	-
		5	43	54	0,28	0,02
		7	71	29	0,38	0,19

Рассмотрим зависимость прочности раствора от активности цемента и длины волокон (расчетная) и зависимость прочности раствора от

активности цемента и его процентного содержания в композиции (рис. 3).

а



б

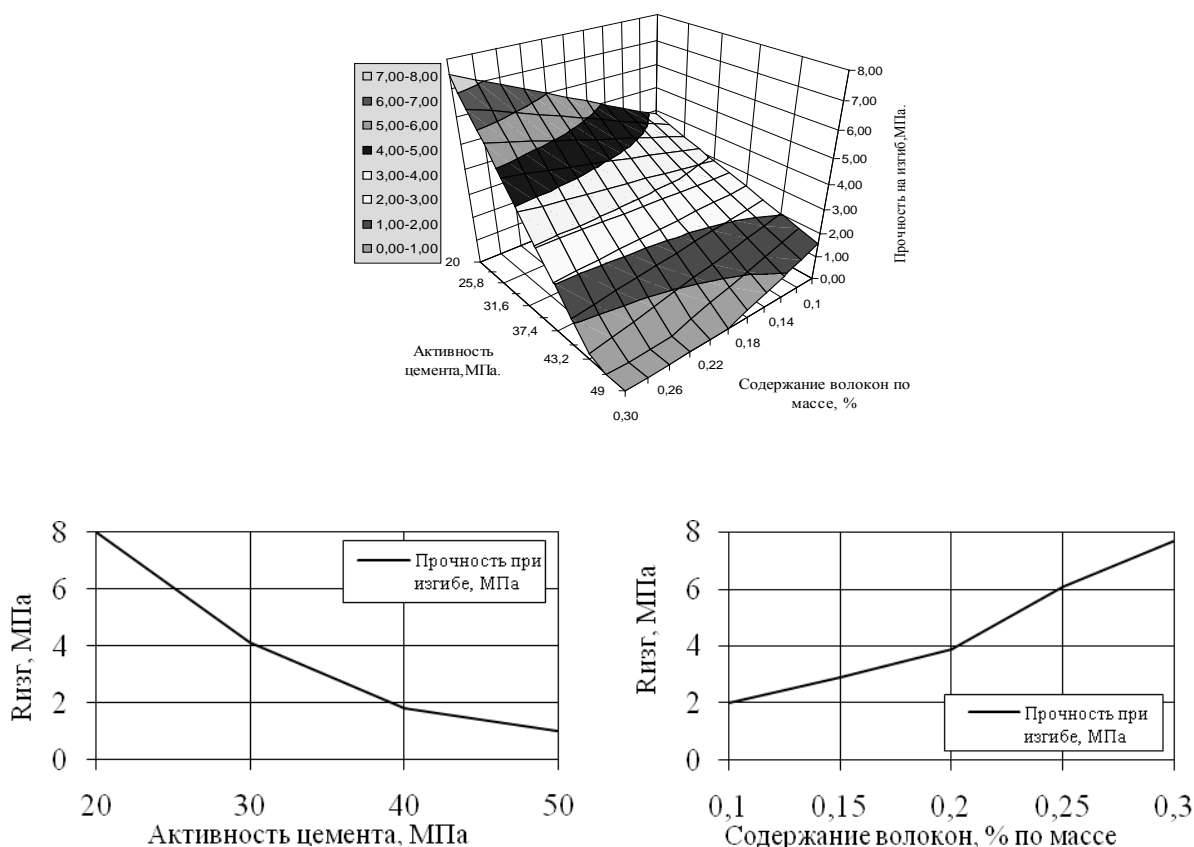


Рис. 3. Зависимость предела прочности раствора при сжатии (а) и при изгибе (б) от активности цемента и % содержания волокон

И, наконец, влияние активности цемента на количественное содержание волокон (рис. 3.) показывает, что при снижении активности целесообразно увеличение количества волокон.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ результатов исследований показывает, что наиболее эффективная длина полипропиленовых волокон диаметром до 15 – 17 мкм в композициях цементно-песчаных растворов находится в пределах 5 – 7 мм. Содержание волокон в растворах, при котором прочность при сжатии повышается на 15 – 30 %, а при изгибе 40 – 70 %, не превышает 0,2 % от массы вяжущего.

Характерным является то, что армирование является более эффективным для композиций, в которых применялось низкомарочное вяжущее. Это свидетельствует, что дисперсным армированием можно частично устранить снижение активности цементных вяжущих в результате их хранения. Так, прирост прочности за счет армирования растворов с активностью вяжущего 20 МПа составляет 50 – 60 %, тогда как прочность растворов, в которых применялся портландцемент с активностью 49 МПа, возросла всего лишь на 25 – 30%.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ахвердов И. Н. Интенсивность вибрирования, физико-механические и деформативные свойства бетона / И. Н. Ахвердов, Ю. Ю. Делтунова // Бетон и железобетон. – 1967. – № 1. – С. 18 – 21.
2. Выровой В. Н. Системный подход в формировании структуры и свойств пенобетона / В. Н. Выровой, В. И. Мартынов, Е. Б. Мартынова // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць / Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. – Рівне, 2004. – Вип. 11. – С. 17 – 21.

3. Грушко И. М. Повышение прочности и выносливости бетона / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, Э. Д. Чихладзе. – Харьков : Вища шк., 1986. – 150 с.
4. Гордон С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях / С. С. Гордон. – Москва : Стройиздат, 1969. – 151 с.
5. Дворкін Л. І. Проектування складів бетону із заданими властивостями / Л. І. Дворкін, О. Л. Дворкін, Ю. В. Гарніш. – Рівне : Вид-во Рівненського держ. техн. ун-ту, 2000. – 215 с.
6. Деревянко В. Н. Композиционные материалы армированные органическими волокнами / В. Н. Деревянко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 1988. – Вып. 7. – С. 203-204.
7. Десов А. Е. Некоторые вопросы структуры прочности и деформации бетонов / А. Е. Десов. – Москва : Стройиздат, 1966. – 158 с.
8. Мелькин В. И. Прочность хрупких материалов при сложном напряженном состоянии / В. И. Мелькин, Д. М. Жур, В. С. Егоров // Известия вузов. Машиностроение. – 1970. – № 2. – С. 9-14.
9. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами / [А. А. Пашенко, В. П. Сербин, А. П. Паславская, В. В. Глуховский, Ю. Л. Бирюкович, А. Б. Солодовник] ; под ред. А. А. Пашенко. – Москва : Стройиздат, 1988. – 200 с.
10. Рыбьев И. А. Исходные методические позиции при исследовании искусственных строительных конгломератов / И. А. Рыбьев, А. В. Нехорошев // Строительные материалы. – 1980. – № 2 – С. 24-25.
11. Соломатов В. И. Композиционные материалы / В. И. Соломатов, В. П. Беляев. – Москва : Стройиздат, 1993. – 148 с.
12. Шейкин А. Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона / А. Е. Шейкин // Труды Московского института инженеров транспорта. – Москва, 1946. – Вып. 69. – С. 69-71.

REFERENCES

1. Ahverdov I. N. Intensivnost' vibrirovaniya, fiziko-mehaniicheskie i deformativnye svoystva betona [The intensity of vibration, physical, mechanical and deformation properties of concrete]. *Beton i zhelezobeton*- Concrete and reinforced concrete. 1967. no. 1, pp. 18 – 21. (in Russian).
2. Vyrovoy V. N. Sistemnyi podhod v formirovanii struktury i svoystv penobetona [A systematic approach in determining the structure and properties of foam concrete]. *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi* – Resource materials, structures, buildings and facilities. Zbirnyk. nauk. prats -collection of scientific papers. NUVGP, Rivne. 2004., no. 11, pp. 17 – 21. (in Russian).
3. Grushko I. M. *Povyshenie prochnosti i vynoslivosti betona*. [Increasing strength and endurance of the concrete]. Khar'kov, Visha shkola, 1986. 150 p. (in Russian).
4. Gordon S. S. *Struktura i svoystva tzhelyh betonov na razlichnyh zapolniteljah* [Structure and properties of heavy concrete in different aggregates]. Moscow, Stroizdat, 1969. 151 p. (in Russian).
5. Dvorkin L. I. *Proektuvannya skladiv betonu iz zadanimi vlastivostjami*. [Design of concrete with desired properties]. Rivne, Vid-vo Rivnens'kogo derzhavnogo tehnichnogo universitetu, 2000. 215 p.(in Ukrainian).
6. Derevjanko V. N. *Kompozicionnye materialy armirovannye organicheskim voloknami* [Composite materials reinforced with organic fibers]. *Stroitel'stvo materialovedenie, mashinostroenie* - Construction, materials science, mechanical engineering, *Sb. nauchnyh tr.* – Collection of scientific papers, Dnepropetrovsk, PGASA, 1988, no.7, pp. 203 – 204. (in Russian).
7. Desov A. E. *Nekotorye voprosy struktury prochnosti i deformacii betonov* [Some questions of the structure of strength and deformation of concrete]. Moscow, Stroizdat, 1966. 158 p. (in Russian).
8. Mel'kin V. I. *Prochnost' hrupkih materialov pri slozhnom naprjazhennom sostojanii*. [The strength of brittle materials under complex stress state]. *Mashinostroenie* – Mechanical engineering. 1970. no.2, pp.9 . – 14 . (in Russian).
9. Pashenko A. A. *Armirovanie neorganicheskikh vjazhushih veshstv mineral'nymi voloknami* [Reinforcement of inorganic binders in mineral fibers] Moscow, Stroizdat, 1988. 48 p. (in Russian).
10. Ryb'ev I. A. *Ishodnye metodicheskie pozicii pri issledovanii iskusstvennyh stroitel'nyh konglomeratov*. [The initial methodological position in the study of artificial construction conglomerates]. *Stroitel'nye materialy*- Construction materials. 1980, no. 2, pp.24 – 25. (in Russian).
11. Solomatov V. I. *Kompozicionnye materialy*. [Composite Materials], Moscow, Stroizdat, 1993.148 p. (in Russian).
12. Sheikin A. E. *K voprosu prochnosti, uprugosti i plastichnosti betona*. [To a question of strength, elasticity and plasticity of concrete]. МИИТ- МИЕТ Moscow, 1946, pp. 69-71. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации 18.03.2015 г. Рецензент: д. т. н., проф. Седин В. Л.

Поступила в редколлегию 16.03.2015 г. Принята к печати 20.03.2015 г.