

Влияние ретиспергируемых порошков и низкомодульных включений на свойства мелкозернистого бетона после многократного замораживания-оттаивания

Г.В. Несветаев¹, А.В. Долгова²

¹Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

²Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

Аннотация: Показано, что низкомодульные включения в виде вовлеченного воздуха или зольных микросфер в составе мелкозернистого бетона практически не влияют на соотношение предела прочности на изгиб и сжатие при твердении бетона в нормальных условиях. После 75 циклов замораживания-оттаивания соотношение предела прочности на изгиб и сжатие мелкозернистого бетона с зольными микросферами не изменилось, а в бетонах с вовлеченным воздухом резко возросло влияние таких факторов, как вид и дозировка ретиспергируемого порошка и тип цемента. Низкомодульные включения практически не влияют на соотношение между начальным модулем упругости и пределом прочности на сжатие мелкозернистого бетона при твердении в нормальных условиях. После 75 циклов замораживания-оттаивания в бетонах с вовлеченным воздухом резко возрастает влияние таких факторов, как вид и дозировка ретиспергируемого порошка и тип цемента на соотношение начального модуля упругости и прочности на сжатие. На соотношения модуля и прочности в бетонах с зольной микросферой циклическое замораживание-оттаивание не влияет. Независимо от наличия низкомодульных включений отсутствует четкая зависимость между сцеплением с бетонным основанием и пределом прочности мелкозернистого бетона на растяжение при изгибе. В бетонах с вовлеченным воздухом увеличение сцепления с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания в зависимости от вида цемента и дозировки ретиспергируемого порошка составило до 82%, а для составов с зольной микросферой до 62%. Независимо от наличия низкомодульных включений после 75 циклов замораживания-оттаивания сцепление с основанием соответствует классу С-1. При увеличении дозировки ретиспергируемого порошка от 0 до 3% в составах с низкомодульными включениями отмечен рост сцепления с основанием до 62%.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, ретиспергируемые полимерные порошки, низкомодульные включения, сцепление с основанием, модуль упругости, предел прочности, циклы замораживания и оттаивания.

Производство сухих строительных смесей (ССС) в настоящее время интенсивно развивается, поскольку обеспечивает рост производительности труда и высокое качество получаемой продукции [1,2]. СССР различного назначения как правило содержат в составе ретиспергируемый полимерный порошок (РПП), который, по декларации производителей, улучшает свойства строительных растворов различного назначения [3-5]. Помимо

РПП для повышения морозостойкости в состав смеси часто вводят низко модульные включения (НМВ) демпфирующего действия – воздухововлекающие добавки ПАВ (ВВ) или зольные микросферы (МС) [7-9]. Ранее показано влияние дозировки РПП на свойства мелкозернистого бетона [6]. Ниже приводятся результаты исследования влияния НМВ и дозировки РПП на свойства строительного раствора (мелкозернистого бетона – МЗБ) после 28 суток твердения в нормальных условиях (НУ) и после 75 циклов замораживания-оттаивания по первому методу ГОСТ 10060 (Приложение Ж СП28.13330). Модифицирование мелкозернистых бетонов и растворов полимерами оказывает значительное влияние на повышение строительно-технических свойств клеев, штукатурок, шпатлевок и ремонтных составов [10-12], но вопросы влияния замораживания-оттаивания на сцепление с основанием требуют продолжения исследований.

Оценка влияния типа цемента и модифицирующих добавок произведена на МЗБ с использованием следующих материалов:

- ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Подгоренский цементник» (ПЦ-1), ЦЕМ I 52,5 Н ЗАО «Осколцемент» (ПЦ-2), ЦЕМ I 42,5 Н СС АО «Подольск-Цемент» (ПЦ-3);
- водоудерживающая добавка – Rutocelle 75 RT 50000 (ВУ);
- РПП Vinavil 06 P (РП-3), Vinavil SL 11 P (РП-4), Vinnapas 4042 Н (РП-5);
- воздухововлекающая добавка Esapon 1214 (ВВ);
- микросфера (зольная микросфера Новочеркасской ГРЭС, МС).

Во всех составах дозировка ВУ составляла 0,25% от массы сухой смеси. Содержание РПП варьировалось от 0 до 3% от массы сухой смеси. Дозировка ВВ составляла 0,015% от массы сухой смеси. Соотношение Ц:П = 35:65. Дозировка МС составляла 1,31% от массы сухой смеси. Соотношение Ц:П принято в составах с ВВ 35:65, в составах с МС - 36,3 (Ц+МС):63,7. Изучено влияние дозировки РПП и типа НМВ на такие свойства МЗБ, как предел прочности на сжатие R по ГОСТ 310.4, предел прочности на изгиб R_f

по ГОСТ 310.4, начальный модуль упругости E_0 посредством измерения динамического модуля упругости ультразвуковым методом с последующим пересчетом [13], сцепление с бетонным основанием $R_{сц}$ по ГОСТ 31356. Исследованы МЗБ после 28 сут твердения в нормальных условиях и после 75 циклов замораживания-оттаивания. Результаты испытаний представлены в табл.1.

Таблица №1

Результаты определения строительно-технических свойств МЗБ

Вид НМВ	Дозировка	Сутки/ Циклы	Строительно-технические свойства МЗБ, МПа																						
			ПЦ-1+ РП-3					ПЦ-2+ РП-4					ПЦ-3+РП-5												
			R	R _f	E ₀	R _{сц}	R ₇₅ /R ₀	R	R _f	E ₀	R _{сц}	R ₇₅ /R ₀	R	R _f	E ₀	R _{сц}	R ₇₅ /R ₀								
В	0	28 с	8,4	3,35	8309	0,66	0,76	15,8	4,12	11303	0,2	5,54	14,3	4,1	11431	0,58									
			75 ц	11,3	3,98	9567		0,51	16,28	4,27			10784	1,13	14,4		4,16	11012	1,26						
		75 ц	10,05	3,49	9149	0,48		2,26	12,6	4,08			9722	1,23	0,89		13,7	4,38	11046	0,89					
			75 ц	13,04	4,0	10521			1,09	13,65			3,66				9793	1,09	12,1		3,67	10079	1,13		
		28 с	9,14	3,63	8919	1,06			1,09	14,6			4,28				10554	1,22	0,92		12,4	3,94	10619	1,3	
			75 ц	12,21	3,98	9656				1,16			12,5				4,3				10492	1,12	12,0		3,99
	28 с	10,8	3,84	9197	0,87	1,37	12,9			4,06	10562	1,31	1,07			11,3	3,92				9491	1,22			
		75 ц	12,1	4,04	9467		1,19			11,1	4,36					10676	1,4				11,9		3,83		9253
	0	0	28 с	14,5	4,14		11128	1,16		0,38	19,4			5,24	13369	0,79	1,63			15,6	3,9		11109		0,92
			75 ц	12,1	4,04		9467	1,19		1,37	11,1			4,36	10676	1,4	1,07			11,9	3,83		9253		1,0
			28 с	10,8	3,84		9197	0,87	1,09	12,9	4,06			10562	1,31	0,92	11,3	3,92	9491	1,22					
			75 ц	12,1	4,04		9467	1,19	1,37	11,1	4,36			10676	1,4	1,07	11,9	3,83	9253	1,0					
28 с			10,8	3,84	9197	0,87	1,09	12,9	4,06	10562	1,31	0,92	11,3	3,92	9491	1,22									
75 ц			12,1	4,04	9467	1,19	1,37	11,1	4,36	10676	1,4	1,07	11,9	3,83	9253	1,0									
С	0	28 с	14,5	4,14	11128	1,16	0,38	19,4	5,24	13369	0,79	1,63	15,6	3,9	11109	0,92									
		75 ц	12,1	4,04	9467	1,19	1,37	11,1	4,36	10676	1,4	1,07	11,9	3,83	9253	1,0									
		28 с	10,8	3,84	9197	0,87	1,09	12,9	4,06	10562	1,31	0,92	11,3	3,92	9491	1,22									
		75 ц	12,1	4,04	9467	1,19	1,37	11,1	4,36	10676	1,4	1,07	11,9	3,83	9253	1,0									
		28 с	10,8	3,84	9197	0,87	1,09	12,9	4,06	10562	1,31	0,92	11,3	3,92	9491	1,22									
		75 ц	12,1	4,04	9467	1,19	1,37	11,1	4,36	10676	1,4	1,07	11,9	3,83	9253	1,0									

	1	75 ц	28 с	75 ц	28 с	75 ц	28 с	75 ц	28 с	75 ц	28 с
		11	9,9	11,21	10,6	13,18	11,6	13,18	11,6	16,3	16,3
		3,74	3,47	3,8	3,53	4,16	3,87	4,16	3,87	4,5	4,5
	2	8460	8375	9005	8499	10169	9061	10169	9061	12394	12394
		1,17	0,44	0,95	0,94	0,9	0,97	0,9	0,97	0,44	0,44
		2,64		1,01		0,92		0,92			
	3	9,2	1,08	12,2	13,5	16,3	13,3	16,3	13,3	21,6	21,6
		4,01	4,02	4,6	4,18	4,69	4,36	4,69	4,36	5,04	5,04
		9999	9542	10014	10296	11080	11724	11080	11724	13299	13299
		1,09	1,37	1,26	0,97	0,99	0,68	0,99	0,68	1,29	1,29
		0,8		1,3		1,45		1,45			
		9,03	9,6	10,7	10,5	13,3	12,3	13,3	12,3	15,0	15,0
	3,42	3,8	3,66	3,78	4,16	4,0	4,16	4,0	4,18	4,18	
	7654	8402	8539	9082	10171	9825	10171	9825	11103	11103	
	0,94	0,96	1,02	0,88	0,96	0,99	0,96	0,99	1,13	1,13	
	0,99		1,15		0,97		0,97				

В табл. 2 представлены уравнения регрессии, описывающие зависимость $R_f = f(R)$ от условий выдерживания и вида НМВ.

Таблица №2

Зависимость $R_f = f(R)$ от условий выдерживания и вида НМВ

Низкомодульные включения	Условия выдерживания	
	Твердение 28 сут в нормальных условиях	Твердение 28 сут в нормальных условиях + 75 циклов замораживания-оттаивания
Нет [6]	$R_f = 1,081 \cdot R^{0,518}$ $R^2 = 0,914$	$R_f = 1,655 \cdot R^{0,369}$ $R^2 = 0,77$
ВВ	$R_f = 1,537 \cdot R^{0,377}$ $R^2 = 0,8286$	$R_f = 3,322 \cdot R^{0,075}$ $R^2 = 0,914$
МС	$R_f = 1,366 \cdot R^{0,428}$ $R^2 = 0,694$	$R_f = 1,563 \cdot R^{0,382}$ $R^2 = 0,737$

На рис. 1 представлена зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от предела прочности на сжатие $R_f = f(R)$.

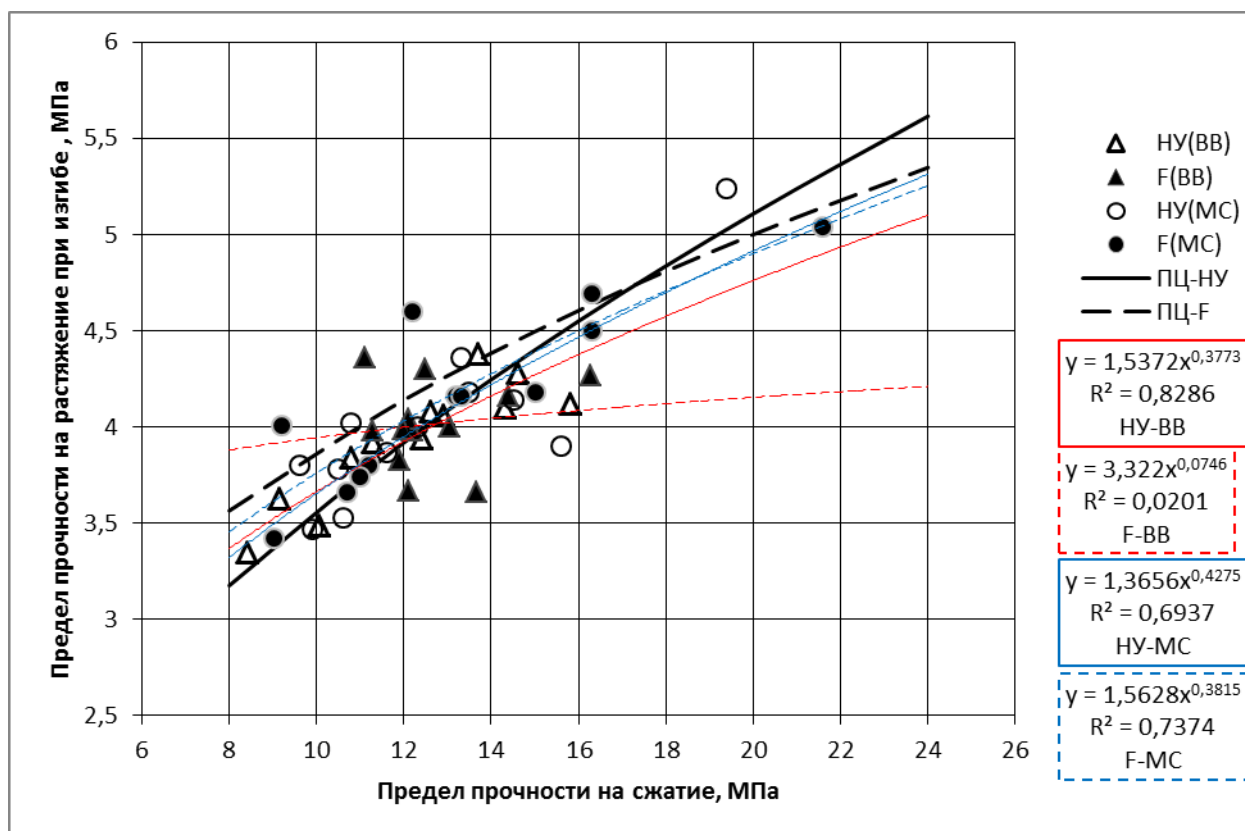


Рис. 1. – Зависимость предела прочности МЗБ на растяжение при изгибе от предела прочности на сжатие НУ - в возрасте 28 сут; F после 75 циклов замораживания-оттаивания; ВВ- с воздухововлекающей добавкой; МС – с добавкой микросферы; ПЦ-НУ – без низкоомодульных включений после 28 сут твердения в нормальных условиях; ПЦ-F - без низкоомодульных включений после 75 циклов замораживания-оттаивания

Из представленных в табл. 2 и на рис. 1 данных очевидно:

- характер зависимости $R_f = f(R)$ в составах с НМВ практически не изменяется в зависимости от условий выдерживания и близок к зависимости $R_f = f(R)$, ранее полученной для МЗБ без НМВ [6], кроме того, хорошо коррелирует с известными для мелкозернистых бетонов различного назначения зависимостями [14-16];
- в составах с ВВ после 75 циклов замораживания-оттаивания отмечается резкое снижение величины R^2 , что свидетельствует о значительном влиянии

на изменение прочности при изгибе после 75 циклов замораживания-оттаивания таких факторов, как вид и дозировка РПП, тип цемента (величина $(1 - R^2)$ характеризует процент дисперсии, который нельзя объяснить регрессией);

- преимущество МС в сравнении с ВВ для повышения морозостойкости.

Следует отметить, что, поскольку применение МС обеспечивает более стабильный объем НМВ в смеси за счет дозировки в сравнении с ВВ, величина которого в бетонной смеси зависит, помимо дозировки, от условий перемешивания и возраста смеси, полученный вывод о преимуществе применения МС в качестве НМВ имеет важное практическое значение.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости изменения предела прочности модифицированных МЗБ после 75 циклов замораживания-оттаивания от дозировки РПП. За относительную прочность принято отношение предела прочности после 75 циклов замораживания-оттаивания к пределу прочности после 28 сут твердения в НУ. Далее в работе для построения зависимостей составов ПЦ-1, ПЦ-2, ПЦ-3 без НМВ от различных факторов использованы данные предыдущих исследований [6].

Из представленных на рис. 2 данных следует, что НМВ в сочетании с РПП способствует повышению стойкости МЗБ по критерию прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания, особенно при дозировке РПП 2%. Также можно отметить некоторое преимущество МС, особенно для ПЦ-2.

Из представленных на рис. 3 данных следует, что НМВ в сочетании с РПП способствуют повышению стойкости по критерию прочности на сжатие после циклического замораживания-оттаивания, но степень влияния сильно зависит от типа цемента и дозировки РПП. Преимущество МС прослеживается для ПЦ-1 и ПЦ-2.

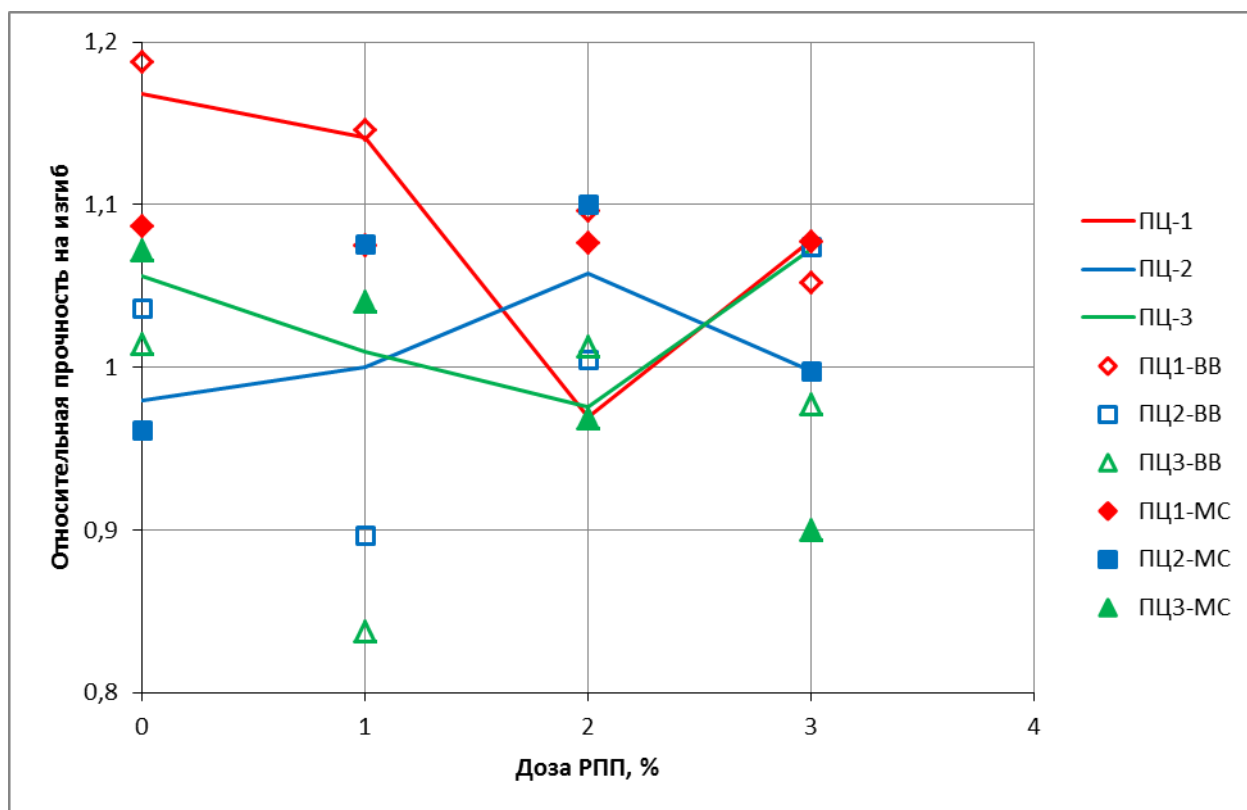


Рис. 2. – Влияние дозировки РПП на изменение предела прочности на изгиб МЗБ после 75 циклов замораживания-оттаивания ПЦ-1; ПЦ-2; ПЦ-3 – без НМВ; ПЦ1-ВВ; ПЦ2-ВВ; ПЦ3-ВВ – составы с воздухововлекающей добавкой; ПЦ1-МС; ПЦ2-МС; ПЦ3-МС – составы с добавкой микросферы

Таблица №3

Зависимость $E_0 = f(R)$ от условий выдерживания и вида НМВ

Низкомодульные включения	Условия выдерживания	
	Твердение 28 сут в нормальных условиях	Твердение 28 сут в нормальных условиях + 75 циклов замораживания-оттаивания
Нет [11]	$E_0 = 2230,9 \cdot R^{0,604}$ $R^2 = 0,877$	$E_0 = 2453,6 \cdot R^{0,574}$ $R^2 = 0,858$
ВВ	$E_0 = 2866,5 \cdot R^{0,503}$ $R^2 = 0,895$	$E_0 = 5040 \cdot R^{0,274}$ $R^2 = 0,27$
МС	$E_0 = 1833,9 \cdot R^{0,672}$ $R^2 = 0,897$	$E_0 = 2411,9 \cdot R^{0,559}$ $R^2 = 0,793$

В табл. 3 приведены зависимости, описывающие изменение начального модуля упругости МЗБ от предела прочности на сжатие, состава МЗБ и условий выдерживания.

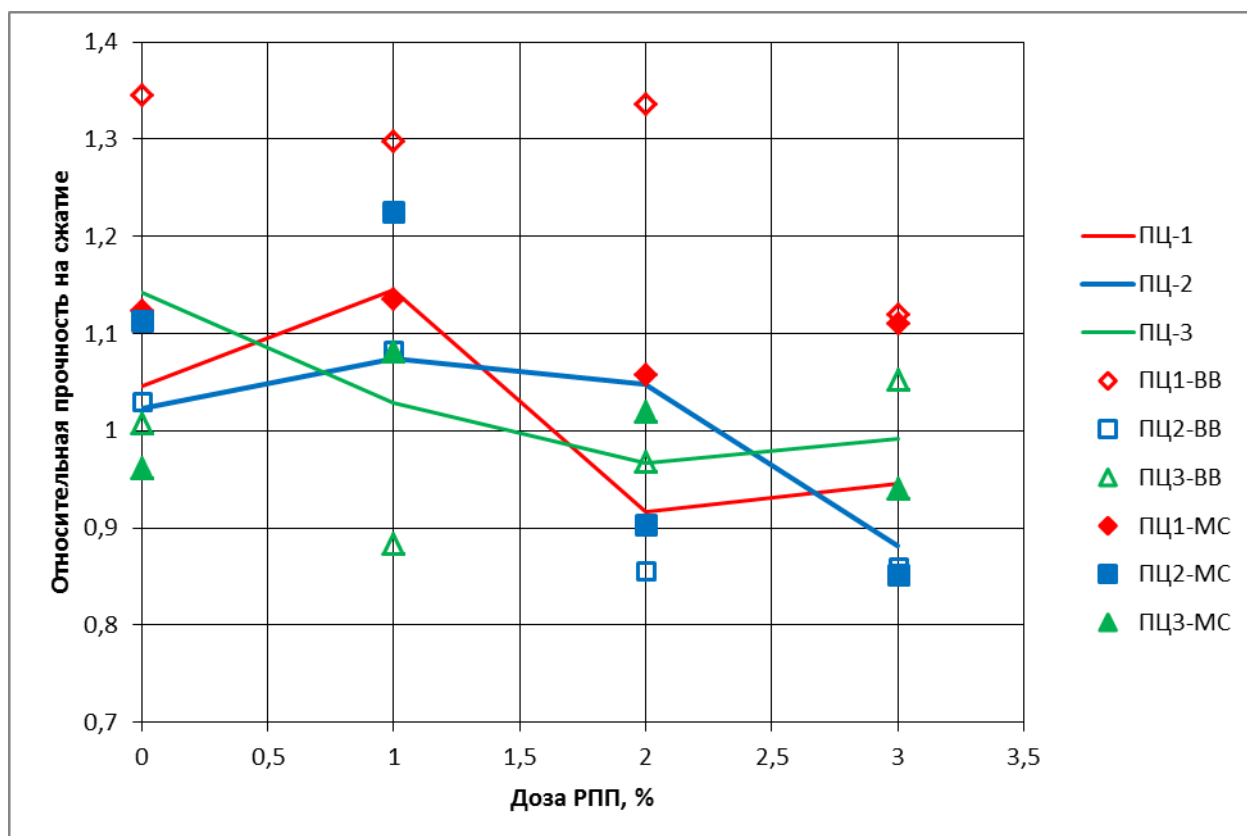


Рис. 3. – Влияние дозировки РПП на изменение предела прочности на сжатие МЗБ после 75 циклов замораживания-оттаивания ПЦ-1; ПЦ-2; ПЦ-3 – без НМВ; ПЦ1-ВВ; ПЦ2-ВВ; ПЦ3-ВВ – составы с воздухововлекающей добавкой; ПЦ1-МС; ПЦ2-МС; ПЦ3-МС – составы с добавкой микросферы

На рис. 4 представлено изменение величины начального модуля упругости МЗБ в зависимости от предела прочности на сжатие после 28 сут твердения в НУ и после 75 циклов замораживания-оттаивания.

Из представленных в табл. 3 и на рис. 4 данных очевидно:

- введение в состав МС в качестве НМВ практически не оказывает влияния на зависимость между начальным модулем упругости и пределом прочности на сжатие, установленную ранее для МЗБ без НМВ, что свидетельствует о том, что 75 циклов замораживания-оттаивания практически не нарушили

структуру исследованных МЗБ. Положительное влияние НМВ на свойства МЗБ и растворов различного назначения установлено, в частности, в [7,8,17];

- введение в состав ВВ в качестве НМВ привело к резкому снижению величины R^2 , что свидетельствует о значительном влиянии на изменение начального модуля упругости после 75 циклов замораживания-оттаивания таких факторов, как вид и дозировка РП, тип цемента;
- преимущество МС в сравнении с ВВ для повышения морозостойкости.

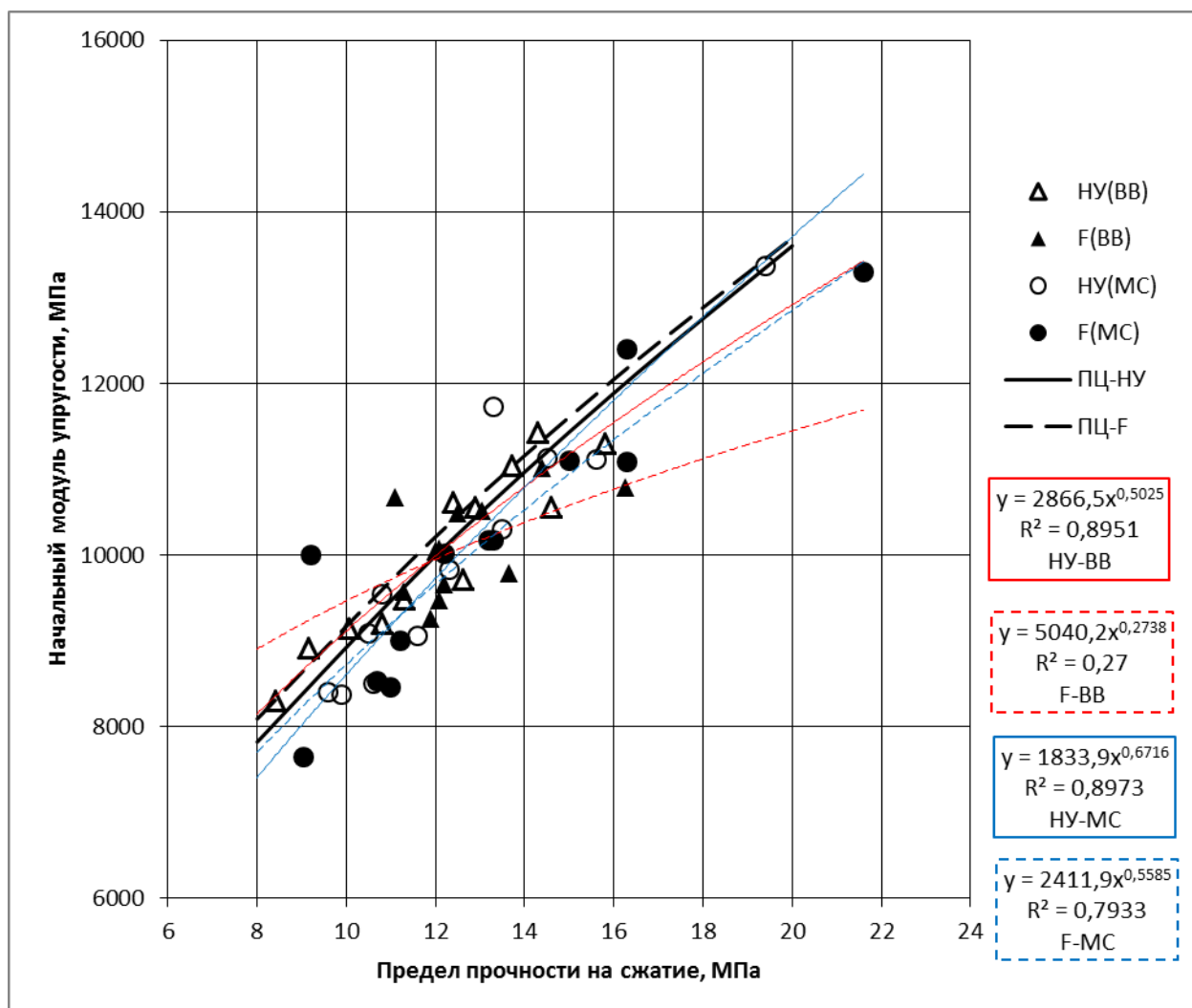


Рис. 4. – Зависимость начального модуля упругости МЗБ от предела прочности на сжатие: НУ – после твердения 28 сут в НУ; F – после 75 циклов замораживания-оттаивания

На рис. 5 представлена зависимость сцепления МЗБ с бетонным основанием от предела прочности МЗБ на растяжение при изгибе.

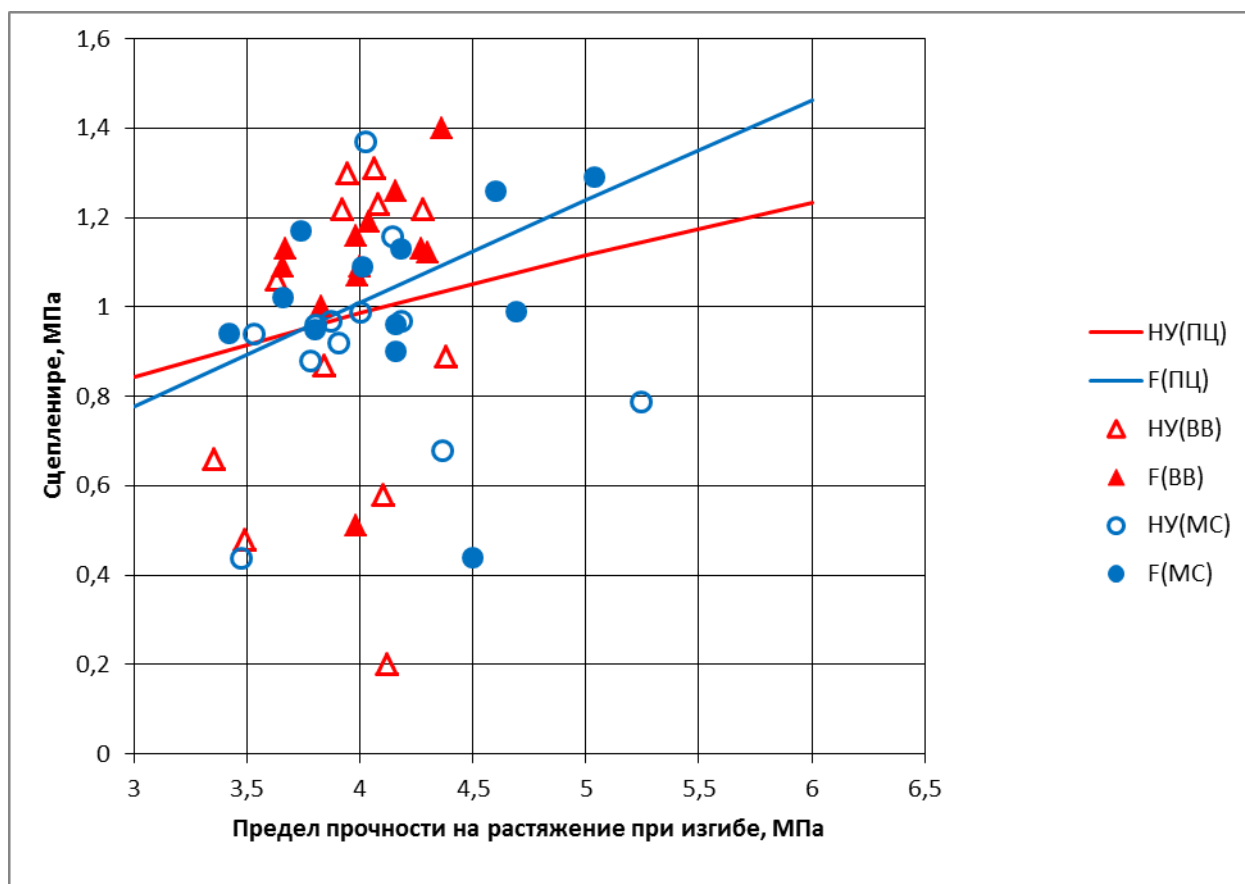


Рис. 5. – Зависимость сцепления МЗБ с бетонным основанием от предела прочности на растяжение при изгибе НУ(ПЦ), F(ПЦ) – для МЗБ без НМВ

Из представленных на рис. 5 данных следует:

- отсутствует четкая зависимость между пределом прочности МЗБ на растяжение при изгибе и сцеплением с бетонным основанием;
- для составов с НМВ в виде ВВ увеличение сцепления с бетонным основанием после 75 циклов по сравнению с НУ в зависимости от вида цемента и дозировки РПП составило от 7 до 82%;
- для составов с добавкой МС в зависимости от вида цемента и дозировки РПП повышение сцепления с основанием составило от 14 до 62%.

На рис. 6 представлена зависимость сцепления МЗБ с бетонным основанием от дозировки РПП.

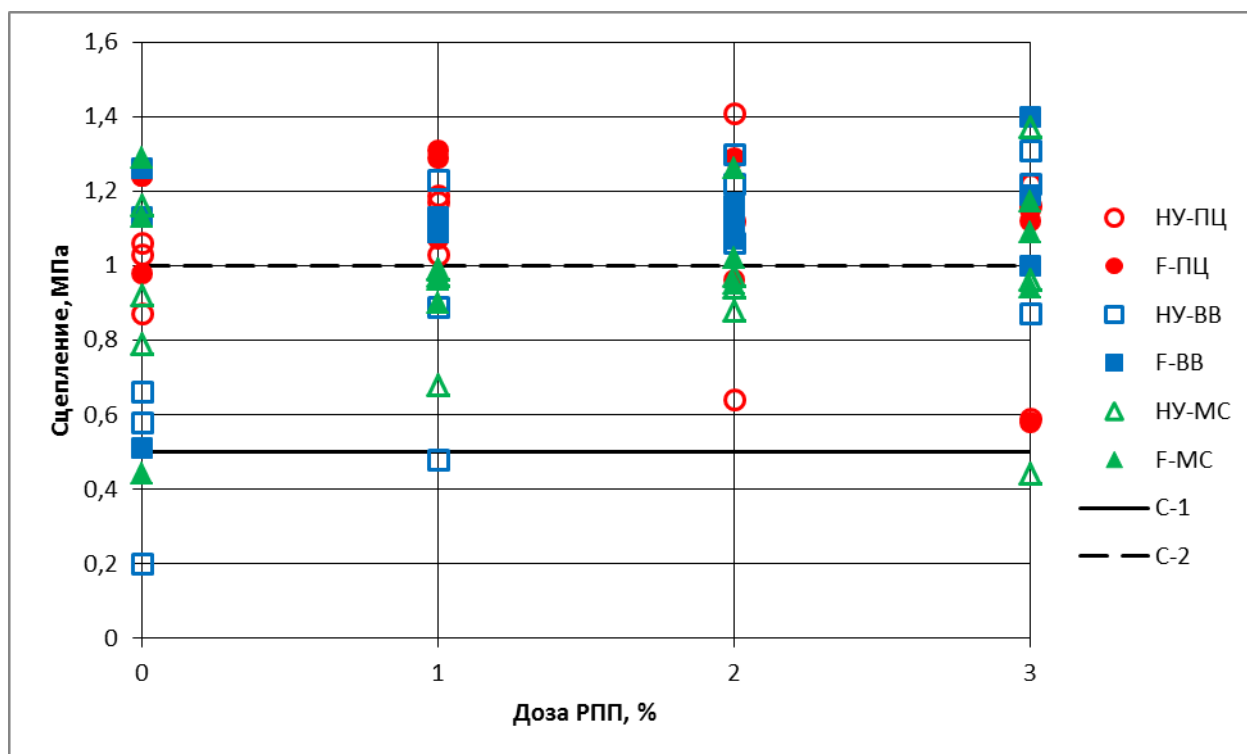


Рис. 6. – Зависимость сцепления МЗБ с бетонным основанием от дозировки РПП
С-1; С-2 – соответственно сцепление с основанием 0,5 и 1 МПа

Очевидно, что практически все исследованные составы, независимо от наличия НМВ, после 75 циклов замораживания-оттаивания обеспечили соответствие классу сцепления С-1. Некоторые составы с НМВ при содержании РПП от 1 до 3% показали соответствие классу сцепления С-2. При вводе в состав НМВ в виде ВВ наблюдается рост сцепления при увеличении дозировки РПП от 0 до 3% в составе с ПЦ-1 до 57%, в составе с ПЦ-2 до 22%;
- при вводе в состав МЗБ добавки МС при увеличении дозировки РПП рост сцепления зафиксирован в составе ПЦ-1 до 62%.

Выводы.

1. НМВ не оказывают влияния на характер зависимости $R_f = f(R)$ при твердении мелкозернистых бетонов в нормальных условиях. После 75 циклов замораживания-оттаивания характер зависимости $R_f = f(R)$ в составах с МС

практически не изменяется, а в составах с ВВ после 75 циклов замораживания-оттаивания отмечается резкое снижение величины R^2 , характеризующей «величину достоверности аппроксимации», что свидетельствует о значительном влиянии на изменение прочности при изгибе таких факторов, как вид и дозировка РПП, тип цемента.

2. НМВ практически не оказывает влияния на зависимость между начальным модулем упругости и пределом прочности МЗБ на сжатие при твердении в нормальных условиях. После 75 циклов замораживания-оттаивания отмечено резкое снижение величины R^2 в составах с ВВ, что свидетельствует о значительном влиянии на изменение начального модуля упругости после 75 циклов замораживания-оттаивания таких факторов, как вид и дозировка РПП, тип цемента. Зависимость между начальным модулем упругости и пределом прочности МЗБ на сжатие в составах с МС практически не изменилась.

3. Независимо от наличия НМВ отсутствует четкая зависимость между сцеплением с бетонным основанием и пределом прочности МЗБ на растяжение при изгибе. Для составов с НМВ в виде ВВ увеличение сцепления с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания по сравнению с НУ твердения в зависимости от вида цемента и дозировки РПП составило до 82%, а для составов с добавкой МС – до 62%.

4. Независимо от наличия НМВ после 75 циклов замораживания-оттаивания обеспечено соответствие классу сцепления С-1. Наличие в составе НМВ в виде ВВ обеспечивает рост сцепления при увеличении дозировки РПП от 0 до 3% в зависимости от типа цемента до 57%, а в составе с МС – до 62%.

Литература

1. Безбородов В.А., Белан В.И., Мешков П.И., Нерадовский Е.Г. Сухие смеси в современном строительстве – Новосибирск, 1998. - 94 с.



2. Корнеев В.И., Зозуля П.В. Сухие строительные смеси (состав, свойства): учеб. пособие – М.: РИФ «Стройматериалы», 2010. - 320 с.
 3. Цюрбригген Р., Дильгер П. Дисперсионные полимерные порошки – особенности поведения в сухих строительных смесях // Строительные материалы. 1999. №3. С. 10-13.
 4. Захезин А.Е., Черных Т.Н., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Влияние редиспергируемых порошков на свойства цементных строительных растворов // Строительные материалы. 2004. №10. С. 6-8.
 5. Голунов С.А. Модификация плиточных клеев редисперсионными полимерными порошками VINNAPAS // Строительные материалы. 2004. №3. С. 47-50.
 6. Несветаев Г.В., Долгова А.В. Влияние дозировки редиспергируемых порошков на свойства мелкозернистого бетона после многократного замораживания-оттаивания // Инженерный вестник Дона, 2019, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5977
 7. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа, ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
 8. Зимакова Г.А. Зольные механоактивированные микросферы – компонент высокоэффективных бетонов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №12(54). С. 90-94.
 9. Баталин Б.С. Исследование эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей // Успехи современного естествознания: Материалы конференции. 2007. №7. – С. 71-73.
 10. Ohama, Y. Handbook of polymer-modified concrete and mortars. Noyes Publications, Japan, 1995. 227 p.
-

11. Rajgelj, S. Cohesion aspects in rheological behavior of fresh cement mortars // Mater. et constr. 1985. №104. P. 109-114.
12. Серова Р.Ф., Кожас А.К. Влияние модифицирования на морозо- и коррозиестойкость цементных материалов // Фундаментальные исследования. 2012. №9. С. 690-693.
13. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб и доп. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.
14. Несветаев Г.В., Базоев О.К. Новая серия добавок в бетон производства НПП «Ирстройпрогресс» // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы 4-й межд. конф. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2006. – С. 319-326.
15. Бычкова О.А. Клей быстрой фиксации на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента и портландцемента // Инженерный вестник Дона, 2018, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5102
16. Бычкова О.А. Быстротвердеющие стяжки на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента и портландцемента // Инженерный вестник Дона, 2018, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103
17. Кудяков А.И., Белых С.А., Даминова А.М. Смеси сухие растворные цементные с микрогранулированной воздухововлекающей добавкой // Строительные материалы. 2010. №1. С. 52-54.

References

1. Bezborodov V.A., Belan V.I., Meshkov P.I., Neradovskij E.G. Suxie smesi v sovremennom stroitel'stve [Dry mixes in modern construction]. Novosibirsk, 1998. 94 p.
-



2. Korneev V.I., Zozulya P.V. Suxie stroitel'ny'e smesi (sostav, svojstva): ucheb. posobie [Dry mixes (composition, properties): studies. benefit]. M.: RIF «Strojmaterialy», 2010. 320 p.
3. Czyurbrigen R., Dil'ger P. Stroitel'ny'e materialy`. 1999. №3. pp. 10-13.
4. Zaxezin A.E., Cherny`x T.N., Trofimov B.Ya., Kramra L.Ya. Stroitel'ny'e materialy`. 2004. №10. pp. 6-8.
5. Golunov S.A. Stroitel'ny'e materialy`. 2004. №3. pp. 47-50.
6. Nesvetaev G.V., Dolgova A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5977
7. Babkov V.V., Moxov V.N., Kapitonov S.M., Komoxov P.G. Strukuroobrazovanie i razrushenie cementny`x betonov. [Structuring and destruction of cement concrete]. Ufa, GUP «Ufimskij poligrafkombinat», 2002. 376 p.
8. Zimakova G.A. Mezhdunarodny`j nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. №12(54). pp. 90-94.
9. Batalin B.S. Uspexi sovremennogo estestvoznaniya: Materialy` konferencii. 2007. №7. pp. 71-73.
10. Ohama, Y. Handbook of polymer-modified concrete and mortars. Noyes Publications, Japan, 1995. 227 p.
11. Rajgelj, S. Mater. et constr. 1985. №104. pp. 109-114.
12. Serova R.F., Kozhas A.K. Fundamental'ny'e issledovaniya. 2012. №9. pp. 690-693.
13. Nesvetaev G.V. Betony`: uchebno-spravochnoe posobie. 2-e izd., pererab i dop. [Concrete: a training and reference manual]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2013. 381 p.



14. Nesvetaev G.V., Bazoev O.K. Beton i zhelezobeton v tret'em ty'syacheletii: Materialy` 4-j mezhd. konf. Rostov-na-Donu: RGSU, 2006. pp. 319-326.

15. By`chkova O.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5102

16. By`chkova O.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103

17. Kudyakov A.I., Bely`x S.A., Daminova A.M. Stroitel`ny`e materialy. 2010. №1. pp. 52-54.