

## Изменение свойств строительных растворов с ретиспергируемыми полимерными порошками после циклического нагрева-остывания

*Г.В. Несветаев, В.В. Осипов*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** исследовано влияние ретиспергируемых полимерных порошков на изменение свойств строительных растворов после 60 циклов нагрева до 60°C и остывания. Выявлено повышение предела прочности на сжатие от 11 до 27% при дозировке РПП от 1 до 3%, причем введение в состав воздухововлекающей добавки не способствует повышению предела прочности на сжатие. Установлено значительное повышение соотношения пределов прочности «растяжение при изгибе/сжатие», при этом предел прочности строительных растворов на растяжение при изгибе с ростом дозировки РПП практически не изменяется, причем повышение прочности на растяжение при изгибе происходит в меньшей степени, чем у строительных растворов без РПП, а наличие воздухововлекающей добавки способствует повышению предела прочности на растяжение при изгибе. Установлено снижение начального модуля упругости практически независимо от дозировки РПП до значений 0,82 – 0,84, а при наличии воздухововлекающей добавки до 0,9 относительно нормальных условий твердения. Выявлено снижение прочности сцепления с бетонным основанием до значений 0,59 – 0,75 относительно нормальных условий твердения. Наличие воздухововлекающей добавки приводит к росту прочности сцепления после циклического нагрева-остывания более чем в 4 раза.

**Ключевые слова:** ретиспергируемые полимерные порошки, прочность сцепления, модуль упругости, предел прочности при сжатии и изгибе, циклическое нагревание-остывание.

Широкое применение сухих строительных смесей (ССС) для получения строительных растворов (СР) различного назначения [1,2] предопределяет актуальность исследований в области совершенствования рецептур СССР в зависимости от особенностей эксплуатации СР (при средней плотности менее 2100 кг/м<sup>3</sup>) или мелкозернистых бетонов (МЗБ при средней плотности более 2000 кг/м<sup>3</sup>) [3-5], при этом закономерно уделяется внимание как

---

совершенствованию рецептур с целью получения требуемых показателей смесей и СР или МЗБ [6], в т.ч. с применением эффективных вяжущих [7.8], так и повышению эффективности применяемых при производстве ССС модифицирующих добавок в связи с высокой долей их себестоимости в составе ССС [9,10], которая в значительной степени зависит от дозировки добавки.

В соответствии с СП 29.13330.2011 монолитные стяжки под полы, в т.ч. в обогреваемые, могут изготавливаться из цементно-песчаных растворов «на основе смесей сухих строительных напольных на цементном вяжущем с прочностью на сжатие не менее 15 МПа». Для напольных ССС, в т.ч. для обогреваемых полов, ГОСТ 31358-2019, нормирует предел прочности на растяжение при изгибе СР от 2,5 МПа до не менее 7 МПа, предел прочности при сжатии от 15 МПа до не менее 30 МПа, прочность сцепления (адгезия) с основанием от 0,6 МПа до не менее 0,75 МПа.

В соответствии с ГОСТ Р 56387-2018, для обогреваемых полов нормируется прочность клеевого соединения после выдерживания при высоких температурах, при этом понижение прочности сцепления не допускается. Поскольку при производстве ССС для регулирования модуля упругости и прочности сцепления с основанием применяются редиспергируемые полимерные порошки (РПП), исследование влияния их дозировки на изменение свойств СР или МЗБ после выдерживания в условиях повышенных по ГОСТ Р 56387-2018 либо циклически изменяющихся, в т.ч. знакопеременных, температур представляет актуальную задачу.

Экспериментальные исследования проведены с использованием материалов и методик, описанных в [11]. Для исследования влияния циклически изменяющейся положительной температуры на свойства исследуемых СР принята методика [12], сущность которой состоит в сопоставлении свойств исследуемых материалов после 60 циклов нагревания до 60°C и остывания с эталонными показателями после выдерживания в

---

нормальных условиях (НУ). По данным [12], указанное воздействие приводит к «расшатыванию» структуры с закономерным изменением показателей свойств, что позволяет использовать указанное воздействие в качестве критерия стойкости бетонов к циклическим температурным воздействиям. Для сопоставления с влиянием знакопеременных циклических температур (замораживание-оттаивание) использованы результаты [13]. Подобные воздействия характерны, например, для штукатурных покрытий [4], ремонтных составов для восстановления железобетонных конструкций [5] и др. Кроме того, исследования свойств и стойкости полимерцементных композиций, в т.ч. при циклических температурных воздействиях, представляют актуальную задачу [14,15].

На рис. 1 представлено соотношение пределов прочности на сжатие исследованных материалов относительно свойств при выдерживании в НУ в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания.

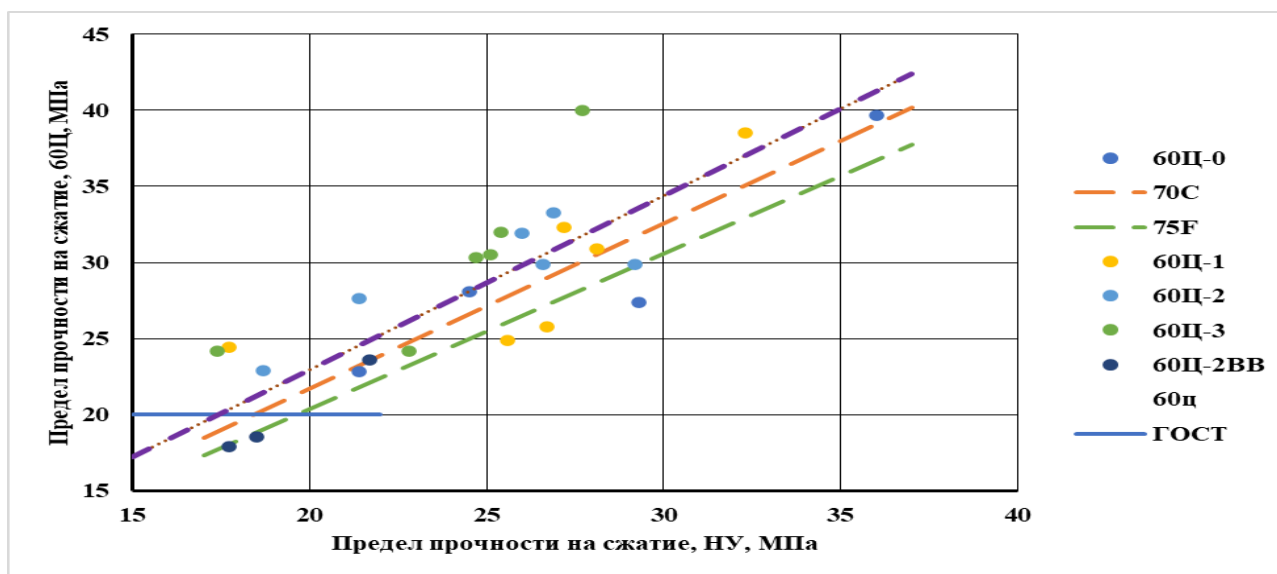


Рис. 1. – Соотношение пределов прочности на сжатие после выдерживания в условиях Т

Условия Т: 60Ц – циклическое нагревание-остывание, 70С – выдерживание 14 сут при 70°C, 75F – 75 циклов замораживания-оттаивания [13]; 0,1,2,3 – соответственно содержание РПП, %; ВВ – составы, содержащие ВВ и РПП 2%;

Зависимость предела прочности на сжатие  $R_T$  после выдерживания в условиях Т (циклическое нагревание до 60°C с последующим остыванием, выдерживание в течение двух недель при 70°C и циклическое замораживание-оттаивание по ГОСТ Р 56387-2018) в сравнении с пределом прочности на сжатие после выдерживания 28 сут в нормальных условиях (НУ)  $R_{НУ}$  описывается уравнением:

$$R_T = k_R \cdot R_{НУ}, \quad (1)$$

в котором значения коэффициента  $k_R$  и показатель степени достоверности аппроксимации  $R^2$ , в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания представлены в табл. 1.

Таблица №1

Коэффициенты уравнений регрессии, описывающих изменение предела прочности на сжатие после выдерживания в условиях Т

№	Содержание РПП, %	ВВД	Условия выдерживания					
			60Ц		70°C <sup>1</sup> [11]		F75 <sup>2</sup> [13]	
			$k_R$	$R^2$	$k_R$	$R^2$	$k_R$	$R^2$
1	0	-	1,06 (1,0)	0,994	1,038 (1,0)	0,998		
2	1	-	1,116 (1,05)	0,989	1,05 (1,01)	0,998		
3	2	-	1,171 (1,10)	0,994	1,116 (1,08)	0,999		
4	3	-	1,268 (1,20)	0,994	1,157 (1,11)	0,998		
5	2	есть	1,04 (0,98)	0,999	1,053 (1,01)	0,994		
6	От 0 до 3		1,146	0,988	1,087	0,996	1,019	0,992

Примечания: 60Ц – циклическое нагревание-остывание (фиолетовый пунктир на рис.1); 70°C - при высоких температурах в соответствии с ГОСТ Р 56387-2018; F75 – 75 циклов замораживания-оттаивания; 1 – по [11]; 2 – по [13];

Из представленных на рис.1 и в табл.1 результатов очевидно, что:

- выдерживание в вышеуказанных условиях Т не привело к снижению предела прочности на сжатие исследованных материалов;
- по степени убывания «жесткости воздействий» условия Т можно расположить в ряд: замораживание-оттаивание, выдерживание в течение 2 недель при 70°C, 60 циклов нагревания до 60°C и остывания;

- с ростом дозировки РПП значения коэффициента  $k_R$  при воздействии положительных температур возрастают;
- наличие ВВД не способствует росту коэффициента  $k_R$ .

На рис. 2 представлено соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе исследованных материалов относительно свойств при выдерживании в НУ в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания.

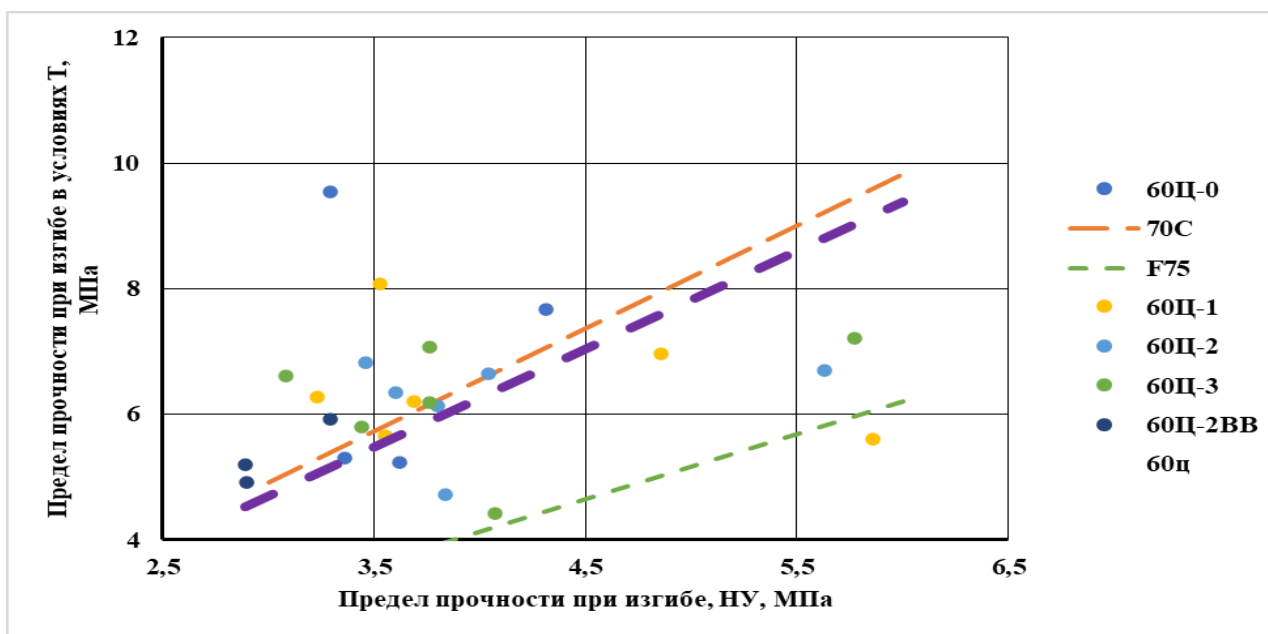


Рис. 2. – Соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе после выдерживания в условиях Т обозначения – см. рис.1

Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе  $R_{f,T}$  после выдерживания в условиях Т в сравнении с пределом прочности на растяжение при изгибе после выдерживания 28 сут в нормальных условиях (НУ)  $R_{f,НУ}$  описывается уравнением:

$$R_{f,T} = k_f \cdot R_{f,НУ}, \quad (2)$$

в котором значения коэффициента  $k_f$  и показатель степени достоверности аппроксимации  $R^2$  в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания представлены в табл. 2.

Таблица №2

Коэффициенты уравнений регрессии, описывающих изменение предела прочности на растяжение при изгибе после выдерживания в условиях Т

№	Содержание РПП, %	ВВД	Условия выдерживания					
			60Ц		70°C <sup>1</sup> [11]		F75 <sup>2</sup> [13]	
			$k_f$	$R^2$	$k_f$	$R^2$	$k_f$	$R^2$
1	0	-	1,881 (1,0)	0,927	1,802 (1,0)	0,94		
2	1	-	1,48 (0,79)	0,918	1,514 (0,84)	0,912		
3	2	-	1,493 (0,79)	0,965	1,597 (0,89)	0,953		
4	3	-	1,504 (0,80)	0,957	1,685 (0,94)	0,947		
5	2	есть	1,766 (0,94)	0,993	1,79 (0,99)	0,992		
6	От 0 до 3		1,565	0,938	1,637	0,939	1,033	0,996

Примечания: см. примечания к табл. 1

Из представленных на рис.2 и в табл.2 результатов очевидно, что:

- выдерживание в вышеуказанных условиях Т не привело к снижению предела прочности на растяжение при изгибе исследованных материалов;
- условия Т по степени убывания «жесткости воздействий» на предел прочности при изгибе можно расположить в ряд: замораживание-оттаивание, 60 циклов нагревания до 60°C и остывания, выдерживание в течение 2 недель при 70°C, т.е. циклические температурные воздействия в большей степени влияют на прочность при изгибе в сравнении с прочностью на сжатие;
- с ростом дозировки РПП значения коэффициента  $k_f$  при воздействии циклических положительных температур практически не изменяется;
- наличие ВВД оказывает положительное влияние на величину коэффициента  $k_f$ ;

- меньшие значения показателя достоверности аппроксимации  $R^2$  в сравнении с прочностью на сжатие свидетельствуют о более высокой чувствительности предела прочности при изгибе, к рецептурным факторам.

На рис. 3 представлено соотношение пределов прочности на сжатие и растяжение при изгибе исследованных материалов в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания.

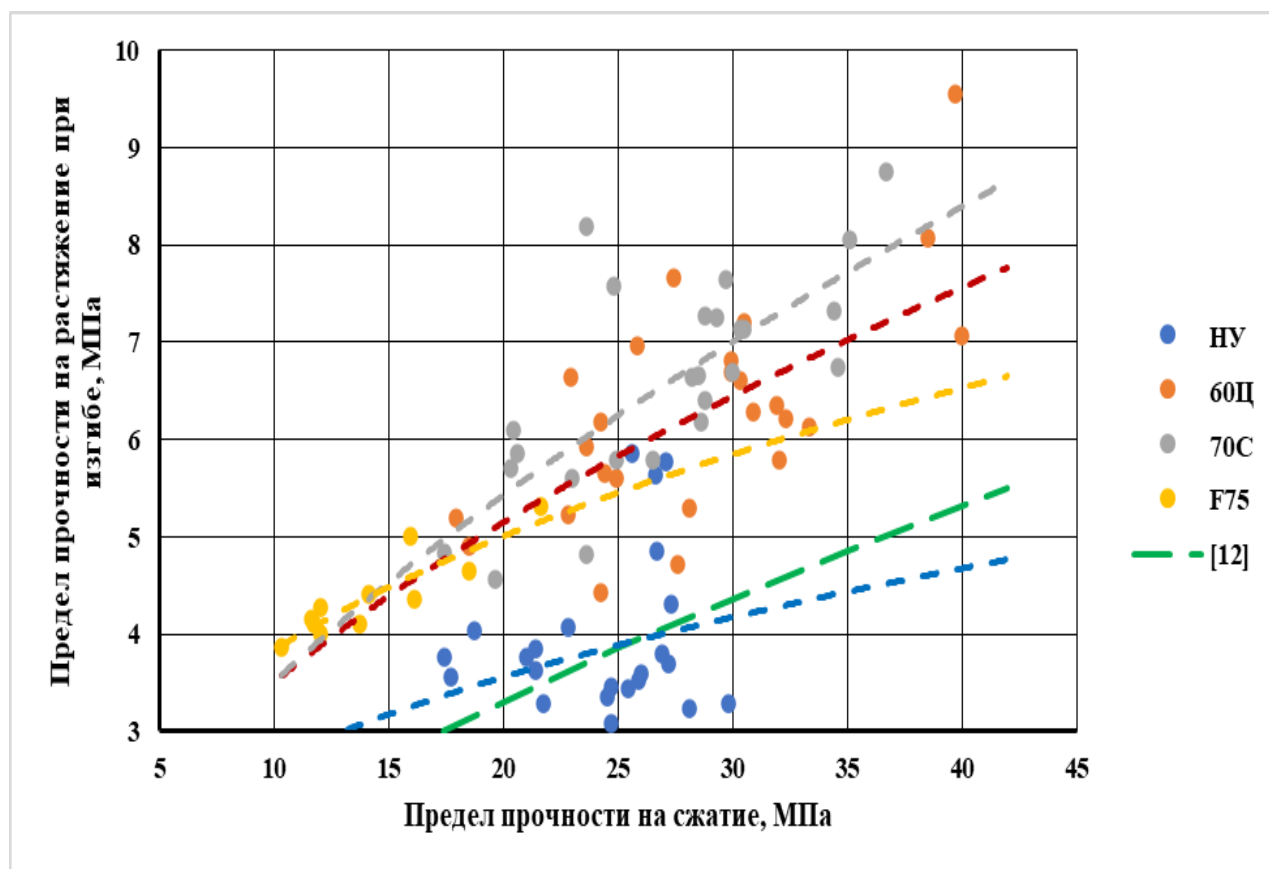


Рис. 3. – Соотношение пределов прочности на сжатие и растяжение при изгибе после выдерживания в условиях Т обозначения – см. рис.1; [15] – обработанные авторами данные табл.5 [15]

Соотношение пределов прочности исследованных материалов на сжатие  $R_T$  и растяжение при изгибе  $R_{f,T}$  после выдерживания в условиях Т описывается уравнением:

$$R_{f,T} = a_f \cdot R_T^x, \quad (3)$$

в котором значения коэффициента  $a_f$ , показателя степени  $x$  и показатель степени достоверности аппроксимации  $R^2$  в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания представлены в табл. 3.

Таблица №3

Коэффициенты уравнений регрессии, описывающих соотношение пределов прочности на сжатие и растяжение при изгибе после выдерживания в условиях Т

Условия выдерживания	Параметры ф.(3)		
	$a_f$	$x$	$R^2$
НУ	1,092	0,394	0,105
60Ц	0,98	0,554	0,45
70С <sup>1</sup> [8]	0,827	0,628	0,53
F75 <sup>2</sup> [10]	1,59	0,39	0,79

Примечания: см. примечания к табл. 1

Из представленных на рис.3 и в табл.3 результатов очевидно, что:

- зависимость ф.(3) характеризуется невысокими значениями показателя достоверности аппроксимации  $R^2$ , что свидетельствует о значительном влиянии свойств цемента и рецептурных факторов;
- результаты авторов хорошо согласуются с данными [15] для модифицированных полимером на основе винилацетата (некоторые, использованные в данной работе РПП, имеют ту же основу) в нормальных условиях;
- условия Т привели к существенному росту соотношения  $R_f/R$ , при этом условия Т по степени убывания «жесткости воздействий» можно расположить в ряд: замораживание-оттаивание, 60 циклов нагревания до 60°C и остывания, выдерживание в течение 2 недель при 70°C.



На рис. 4 представлено соотношение значений начального модуля упругости исследованных материалов относительно свойств при выдерживании в НУ, в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания.

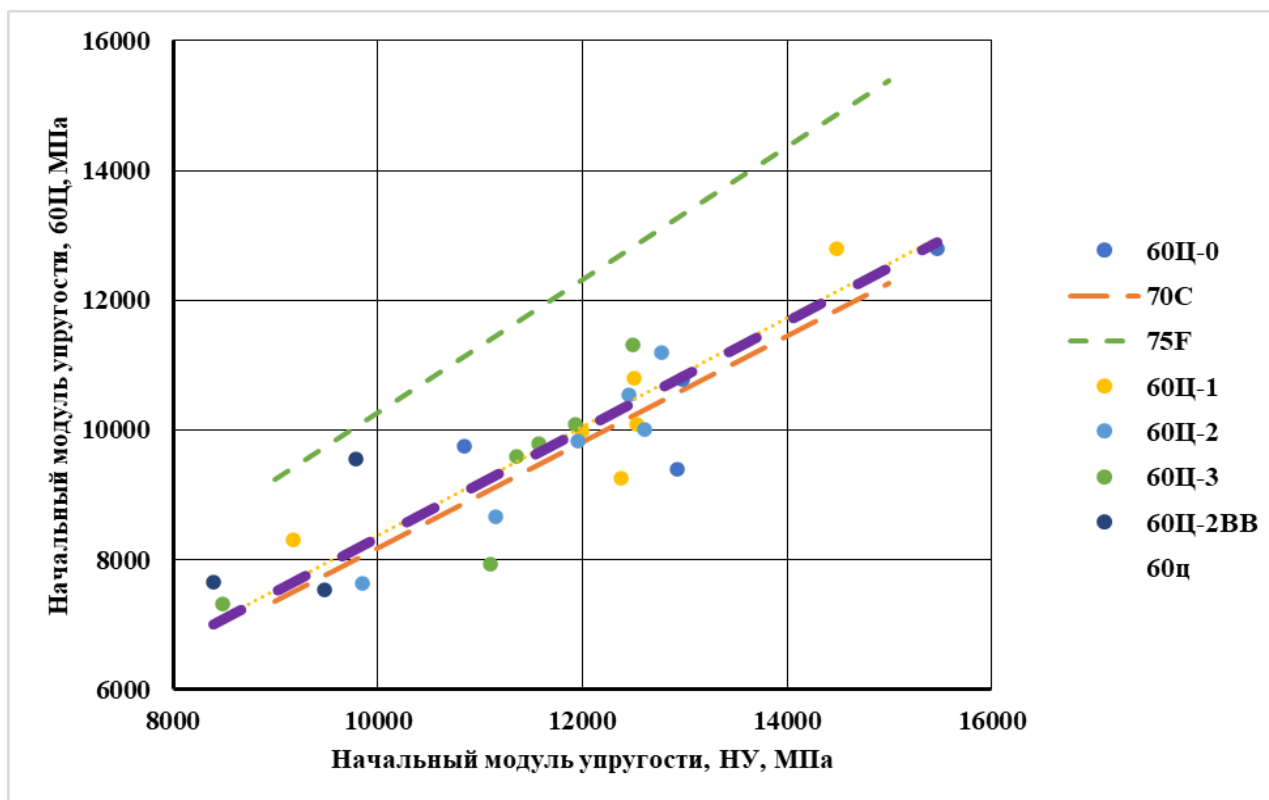


Рис. 4. – Соотношение значений начального модуля упругости после выдерживания в условиях Т обозначения – см. рис.1

Зависимость модуля упругости  $E_{0,T}$  после выдерживания в условиях Т в сравнении с модулем упругости после выдерживания 28 сут в нормальных условиях (НУ)  $E_{0,НУ}$  описывается уравнением:

$$E_{0,T} = k_E \cdot E_{0,НУ}, \quad (4)$$

в котором значения коэффициента  $k_E$  и показатель степени достоверности аппроксимации  $R^2$  в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания представлены в табл. 4.

Таблица №4

Коэффициенты уравнений регрессии, описывающих изменение начального модуля упругости после выдерживания в условиях Т

№	РПП, %	ВВД	Условия выдерживания					
			60Ц		70°C <sup>1</sup> [11]		F75 <sup>2</sup> [13]	
			$k_E$	$R^2$	$k_E$	$R^2$	$k_E$	$R^2$
1	0	-	0,816 (1,0)	0,995	0,817 (0,99)	0,998		
2	1	-	0,838 (1,03)	0,996	0,806 (1,0)	0,999		
3	2	-	0,82 (1,0)	0,998	0,823 (1,03)	0,998		
4	3	-	0,838 (1,03)	0,995	0,842 (0,98)	0,999		
5	2	есть	0,895 (1,10)	0,993	0,803	0,993		
6	От 0 до 3		0,832	0,995	0,817	0,998	1,026	0,998

Примечания: см. примечания к табл. 1

Из представленных на рис.4 и в табл.4 результатов очевидно, что:

- воздействие повышенных температур привело к снижению начального модуля упругости на 16-18%, при циклическом замораживании-оттаивании снижение начального модуля упругости не произошло;
- дозировка РПП практически не влияет на значения коэффициента  $k_E$  при воздействии положительных температур.

На рис. 5 представлено соотношение прочности сцепления с бетонным основанием исследованных материалов относительно свойств при выдерживании в НУ в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания.

Зависимость прочности сцепления с бетонным основанием  $A_{сц,Т}$  после выдерживания в условиях Т в сравнении с прочностью сцепления после выдерживания 28 сут в нормальных условиях (НУ)  $A_{сц,НУ}$  описывается уравнением:

$$A_{сц,Т} = k_{сц} \cdot A_{сц,НУ}, \quad (5)$$

в котором значения коэффициента  $k_{сц}$  и показатель степени достоверности аппроксимации  $R^2$  в зависимости от дозировки РПП и условий выдерживания представлены в табл. 5.

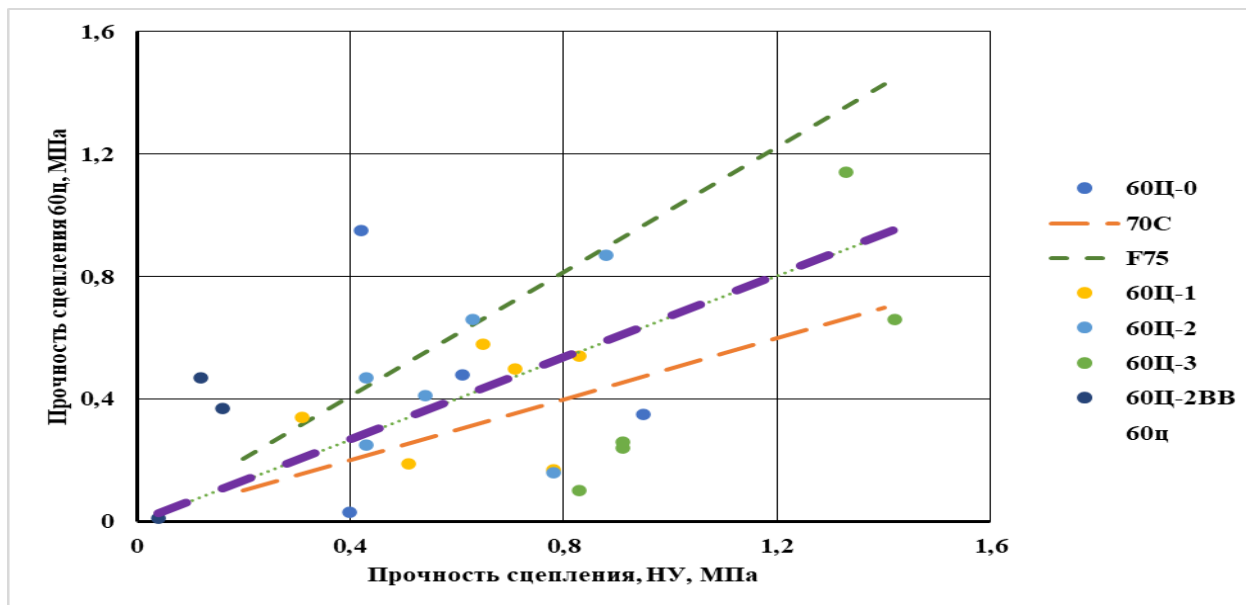


Рис. 5. – Соотношение значений прочности сцепления с бетонным основанием после выдерживания в условиях Т обозначения – см. рис.1

Таблица №5

Коэффициенты уравнений регрессии, описывающих изменение прочности сцепления с основанием после выдерживания в условиях Т

№	РПП, %	ВВД	Условия выдерживания					
			60Ц		70°С <sup>1</sup> [11]		F75 <sup>2</sup> [13]	
			$k_{сц}$	$R^2$	$k_{сц}$	$R^2$	$k_{сц}$	$R^2$
1	0	-	0,643 (1,0)	0,53	0,704 (1,0)	0,417		
2	1	-	0,587 (0,91)	0,84	0,71 (1,0)	0,712		
3	2	-	0,753 (1,17)	0,828	0,387 (0,55)	0,399		
4	3	-	0,668 (1,04)	0,669	0,48 (0,68)	0,656		
5	2	есть	2,789 (4,33)	0,904	0,97 (1,38)	0,911		
6	От 0 до 3		0,672	0,684	0,497	0,508	1,02	0,992

Примечания: см. примечания к табл.1

Из представленных на рис.5 и в табл.5 результатов очевидно, что:

- выдерживание при повышенных температурах привело к снижению прочности сцепления с бетонным основанием, за исключением составов с ВВД;
- циклическое замораживание-оттаивание не привело к снижению прочности сцепления с бетонным основанием;
- с ростом дозировки РПП изменение значений коэффициента  $k_{сц}$  неоднозначно, т.е. существенно зависит от рецептурных факторов (тип цемента, вид и дозировка РПП).

### Заключение

Выдерживание строительных растворов после 60 циклов нагревания до 60°C и остывания приводит:

- к повышению предела прочности на сжатие от 11 до 27% при дозировке РПП от 1 до 3%, при этом введение в состав ВВД не способствует повышению предела прочности на сжатие;
  - значительному повышению соотношения пределов прочности изгиб/сжатие, при этом предел прочности СР на растяжение при изгибе с ростом дозировки РПП практически не изменяется, причем повышение прочности происходит в меньшей степени, чем в СР без РПП, а наличие ВВД способствует повышению предела прочности на растяжение при изгибе;
  - к снижению начального модуля упругости практически независимо от дозировки РПП до значений 0,82 – 0,84, а при наличии ВВД – до 0,9 относительно НУ твердения;
  - к снижению прочности сцепления с бетонным основанием до значений 0,59 – 0,75, а при наличии ВВД – к росту прочности сцепления более чем в 4,33 раза относительно НУ твердения.
-

## Литература

1. Кузьмина В.П. Защита и ремонт железобетонных сооружений // Сухие строительные смеси. 2017. №2. С.23-25.
  2. Пичугин, А.П., Хританков В.Ф., Белан И.В. и др. Разработка составов сухих строительных смесей с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник ВолгГАСУ. 2014. №36 (55). С.68-77.
  3. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур // Вестник РААСН. 2014. № 18. С.112-119.
  4. Муртазаев С-А.Ю, Успанова А.С., Хаджиев М.Р., Хадисов В.Х. Повышение прочности сцепления штукатурного покрытия с основанием // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 6. С. 17-26.
  5. Коровкин М.О., Короткова А.А., Ерошкина Н.А. Ремонтные сухие строительные смеси для восстановления геометрических характеристик железобетонных конструкций // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 5 (30). С. 122-128.
  6. Кашибадзе Н. В., Загороднюк Л.Х., Стрекозова М.А. Разработка и оптимизация свойств сухих строительных смесей для наливных полов с использованием шлаков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 89-94.
  7. Калабина Д. А., Яковлев Г., Кузьмина Н.В. Безусадочные фторангидритовые композиции для устройства полов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. № 1(55). С. 24-38. DOI 10.52409/20731523\_2021\_1\_24.
  8. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103).
-



9. Баталин, Б. С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей // Успехи современного естествознания. 2007. № 7. С. 60-62.
10. Несветаев Г.В., Козлов А.В., Филонов И.А., Осипов В.В. Оценка эффективности добавок для сухих строительных смесей с нормируемыми показателями прочности сцепления с основанием // Инженерный вестник Дона. 2022. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7406](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7406).
11. Несветаев Г.В., Осипов В.В. Изменение свойств строительных растворов с релаксационными полимерными порошками после выдерживания при высоких температурах // Инженерный вестник Дона. 2022. №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2022/7945](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2022/7945).
12. Миронов С.А., Малинский Е.Н. Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата. - М.: Стройиздат, 1985. 317 с.
13. Несветаев Г. В., Долгова А.В. Влияние релаксационных порошков и низкомолекулярных включений на свойства мелкозернистого бетона после многократного замораживания-оттаивания // Инженерный вестник Дона. 2019. № . URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6029](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6029).
14. Polymer-Modified Concrete: Reported by ACI Committee 548. URL: 548.3R-03. 5483r\_03.PDF-Yandex.Documents.
15. Dvorkin, L. I. The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete // Magazine of Civil Engineering. 2020. No 1(93). Pp. 121-133. DOI 10.18720/MCE.93.10.

### References

1. Kuz'mina V.P. "Suxie stroitel'ny'e smesi". 2017. №2. pp. 23-25.
  2. Pichugin A.P., Xritankov V.F., Belan I.V. i dr. Vestnik VolgGASU. 2014. №36 (55). pp. 68-77.
-

3. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.X., Belikov D.A. Vestnik RAASN. 2014. № 18. pp.112-119.
  4. Murtazaev S-A.Yu, Uspanova A.S., Xadzhiev M.R., Xadisov V.X. Stroitel`ny`e materialy` i izdeliya. 2020. T. 3. № 6. pp. 17-26.
  5. Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina N.A. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii. 2020. № 5 (30). pp.122-128.
  6. Kashibadze N. V., Zagorodnyuk L.X., Strekozova M.A. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuxova. 2009. № 3. – pp. 89-94.
  7. Kalabina D. A., Yakovlev G., Kuz`mina N.V. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel`nogo universiteta. 2021. № 1(55). pp. 24-38. DOI 10.52409/20731523\_2021\_1\_24.
  8. By`chkova, Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103).
  9. Batalin B.S. Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. 2007. №7. pp. 71-73.
  10. Nesvetaev G.V., A. V. Kozlov, I. A. Filonov, V. V. Osipov. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7406](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7406).
  11. Nesvetaev G.V., Osipov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2022/7945](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2022/7945).
  12. Mironov S.A., Malinskij E.N. Osnovy` texnologii betona v usloviyax suxogo zharkogo klimata [Fundamentals of concrete technology in dry, hot climates]. M.: Strojizdat, 1985. 317 p.
  13. Nesvetaev G.V., Dolgova A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6029](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6029).
  14. Polymer-Modified Concrete: Reported by ACI Committee 548. URL: [548.3R-03.5483r\\_03.PDF-Yandex.Documents](http://548.3R-03.5483r_03.PDF-Yandex.Documents).
  15. Dvorkin, L. I. Magazine of Civil Engineering. 2020. No 1(93). Pp. 121-133. DOI 10.18720/MCE.93.10.
-

