

О влиянии ретиспергируемых полимерных порошков на модуль упругости и прочность сцепления строительных растворов

Г.В. Несветаев, В.В. Осипов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Представлены результаты исследований влияния вида и дозировки некоторых ретиспергируемых полимерных порошков отечественного и импортного производства на модуль упругости и прочность сцепления с бетонным основанием строительных растворов и мелкозернистых бетонов. В результате обработки экспериментальных данных авторов и других исследователей получена зависимость между прочностью сцепления $A_{сц}$ с бетонным основанием и пределом прочности на осевое растяжение R_t растворов без РПП $A_{сц} = 0,23 \cdot R_t$ при $R^2=0,996$. Выявлена тенденция к росту прочности сцепления до 30% при увеличении дозировки РПП до 2% и до 130% при дозировке РПП 3%, при этом установлено существенное влияние на прочность сцепления вида цемента и РПП. Приведены данные о роли возраста бетонного основания и его обработки перед нанесением ремонтной (восстанавливающей) растворной или бетонной смеси на прочность сцепления. Получена инвариантная к рецептурным факторам зависимость модуля упругости строительного раствора или мелкозернистого бетона от предела прочности на осевое растяжение. Отмечено несоответствие некоторых стандартов в части требований к основанию при испытаниях на прочность сцепления.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, прочность сцепления, модуль упругости, ретиспергируемые полимерные порошки, ремонтные смеси.

При производстве общестроительных, специальных и ремонтных работ широко применяются сухие строительные смеси (ССС) на цементной основе [1,2]. Применение специальных вяжущих и химических добавок позволяет получать СССР с уникальными свойствами [3-5]. Обоснованный выбор химических добавок оказывает существенное влияние на свойства строительных растворов, полученных из СССР [6,7]. При восстановлении железобетонных конструкций применяемые так называемые «ремонтные» СССР по ГОСТ 31189-2015 классифицируются как поверхностно-восстановительные, объемно-восстановительные, конструкционные, инъекционные. Требования к ремонтным смесям при восстановлении конструкций регламентированы ГОСТ Р 56378-2015, причем требования по показателям предела прочности на растяжение или изгиб не установлены.

Представленная в табл. 1 информация о декларируемых свойствах ремонтных ССС (как отечественных, так и импортных) некоторых производителей, продукция которых достаточно распространена в РФ, свидетельствует о тенденции производителей к производству ремонтных ССС с довольно высокими показателями предела прочности на сжатие. ГОСТ Р 56378-2015 регламентирует 4 класса ремонтной смеси по прочности на сжатие – от R1 с показателем не менее 10 МПа до R4 с показателем не менее 45 МПа. Все представленные в табл.1 ССС соответствуют классу R4.

Таблица №1

Декларируемые свойства ремонтных смесей некоторых производителей

Показатели	Марка смеси					
	Sika Mono Top		KT-TRON-3		Master Emaco	
	412N	336N	T500	L600	S488	S488 PG
1	2	3	4	5	6	7
Прочность на сжатие в 28 сут., МПа	70,0	45,0	Не менее 55,0	Не менее 60,0	Не менее 60,0	Не менее 60,0
Прочность на изгиб в 28 сут., МПа	9,0	7,0	Не менее 8,0	Не менее 9,0	Не менее 8,0	Не менее 8,0
Сцепление (адгезия) с бетоном, МПа	Не менее 2,0	Не менее 1,5	Не менее 2,0	Не менее 2,0	Не менее 2,5	Не менее 2,5

Согласно [8], повышение несущей способности сечения восстанавливаемой железобетонной конструкции не прямо пропорционально повышению класса бетона усиления. Например, при повышении класса ремонтного бетона от В30 до В50 обеспечивается повышение несущей способности в пределах от 14 до 21% в зависимости от модуля упругости бетона. При повышении модуля упругости ремонтного бетона в 1,5 раза повышение несущей способности сечения составляет, в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона от 19 до 50%. Авторы отмечают, что «при выборе бетона усиления целесообразно делать акцент не на повышение класса бетона, а на повышение модуля

упругости бетона усиления, что важно и с точки зрения создания эффекта «обоймы» для «старого» бетона». В связи с этим актуальной является задача обеспечения соответствующих значений модуля упругости ремонтных составов, значения которого должны составлять не менее 20 и 15 ГПа, соответственно, для смесей классов R4 и R3 согласно ГОСТ Р 56378-2015.

Одним из основных нормируемых показателей для ремонтных ССС является прочность сцепления с основанием, значения которого установлены для смесей классов R1...R4 от не менее 0,8 МПа до не менее 2 МПа. Помимо ремонтных ССС, нормирование прочности сцепления с основанием установлено:

- для клеевых ССС не менее 0,5 МПа для классов С0, С1 и не менее 1,0 МПа для класса С2;
- для штукатурных ССС не менее 0,2 для теплоизоляционных и не менее 0,3 МПа для остальных;
- для напольных ССС в зависимости от вида и назначения от не менее 0,3 МПа до не менее 0,75 МПа.

В связи с этим выявление общих закономерностей, устанавливающих связь между нормируемыми показателями качества мелкозернистых бетонов и растворов, полученных из ССС, от рецептурных факторов представляет актуальную задачу. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния вида и дозировки некоторых водорастворимых порошков (далее - ретиспергируемые полимерные порошки (РПП), применяемых, в т.ч. для повышения прочности сцепления цементных материалов с основанием, на модуль упругости и прочность сцепления с бетонным основанием. В исследованиях в качестве базового принят состав П:Ц = 1,5:1 при соотношении В/ССС = 0,18. В качестве водоудерживающей добавки (ВУД) использована «Mecellose 23701» в дозировке 0,3% от массы ССС. Некоторые составы содержали воздухововлекающую добавку (ВВД)

Esapon 1850 в количестве 0,015% от массы ССС. Портландцементы (исследования выполнялись в 2020 г.):

- ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016 «Новоросцемент», завод «Первомайский»; активность 51,3 МПа, НС/КС 145/215 мин, НГ 28,5%;
- ПЦ 500 Д0 по ГОСТ 10178-85 «Новоросцемент», завод «Пролетарий»; активность 52,6 МПа, НС/КС 165/220 мин, НГ 24,5%;
- ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016 «Осколцемент»; активность 48,4 МПа, НС/КС 155/230 мин, НГ 26,5%;

Информация о РПП представлена в табл. 2.

Таблица №2

Информация о РПП в исследованных ССС

ПЦ	РПП ¹	Примечания
«Первомайский»	Полипласт РП 2030	-
	Полипласт РП 3001	-
	Полипласт РП 3011	-
	Vinnapas 4042Н	В т.ч. с ВВД
«Старооскольский»	Vinavil E06РА	
«Пролетарий»	Vinavil 5603	

Примечание: 1 – дозировка РПП составляла 0,1,2,3 % от массы ССС;

Предел прочности при сжатии, на растяжение при изгибе и прочность сцепления с основанием определялись по ГОСТ Р 58277-2018. Поскольку методика определения прочности сцепления с основанием по ГОСТ 56378-2015 и ГОСТ Р 58277-2018 имеет некоторые различия, в частности, в качестве плиты основания, а исследования выполнены по более новому стандарту 2018 года, который распространяется на все смеси, применяемые при строительстве, реконструкции и ремонте зданий и сооружений, следует иметь в виду, что проводить прямое сопоставление результатов испытаний, полученных по различным методикам, не следует.

Поскольку ГОСТ Р 56378-2015 не предусматривает нормирования предела прочности на осевое растяжение R_t или на растяжение при изгибе,

при обработке результатов величина R_t определялась в зависимости от предела прочности на сжатие по ф.(1) [9]:

$$R_t = 0,29 \cdot R^{0,6}. \quad (1)$$

Начальный модуль упругости E определялся по ф.(2) через динамический модуль упругости в соответствии с методикой выполнения измерений МИ 11-87:

$$E = k \cdot \rho \cdot V^2 \quad (2)$$

ρ – средняя плотность раствора (мелкозернистого бетона); V – скорость ультразвука при сквозном прозвучивании.

На рис. 1 представлена зависимость прочности сцепления с бетонным основанием по ГОСТ Р 58277-2018 от предела прочности на осевое растяжение по ф.(1).

В табл. 3 представлены уравнения регрессии, описывающие связь между прочностью сцепления с основанием и пределом прочности на осевое растяжение наносимого состава.

Таблица №3

Уравнения регрессии, описывающие связь между прочностью сцепления с основанием и пределом прочности на осевое растяжение

№	Данные	Содержание РПП, %	Уравнение	R^2
1	Авторов ¹	0	$A_{\text{сц}} = 0,228 \cdot R_t$	0,995
2		1	$A_{\text{сц}} = 0,299 \cdot R_t$	0,898
3		2	$A_{\text{сц}} = 0,30 \cdot R_t$	0,934
4		3	$A_{\text{сц}} = 0,523 \cdot R_t$	0,924
5	[10] ²	0	$A_{\text{сц}} = 0,237 \cdot R_t$	0,999
6	[11] ³	0	$A_{\text{сц}} = 0,43 \cdot R_t$	0,998
7	[13]	?	$A_{\text{сц}} = 0,22 \cdot R_t$	0,998

Примечания: 1 - возраст бетона основания 1 месяц; 2 – возраст бетона основания более 3 месяцев, основание перед нанесением не обрабатывалось; 3 – возраст бетона основания 3 сут, основание перед нанесением обрабатывалось; методика испытаний в [2,3] одинаковая, но отличается от ГОСТ 56378-2015 и ГОСТ Р 58277-2018

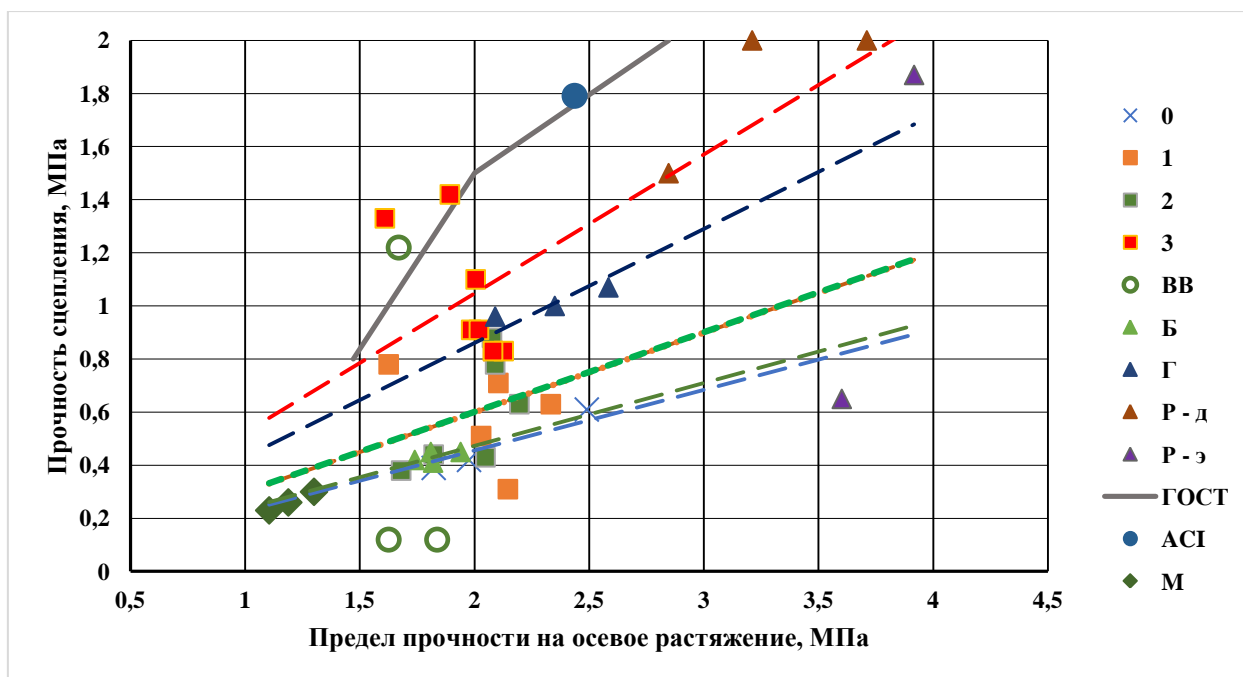


Рис. 1. - Зависимость прочности сцепления с бетонным основанием от предела прочности на осевое растяжение

0-3 – соответственно содержание РПП, %; BB – составы, содержащие BB и РПП 2%; Б, Г – по данным соответственно [9], возраст «старого» бетона 3 мес., [10], возраст «старого» бетона 3 сут.; P – д, P – э – ремонтные составы по табл. 1, д – декларированные показатели, э – измеренные значения в параллельных испытаниях; ГОСТ – справочные данные по ГОСТ Р 56378-2015 (R_t определены по ф.(1); АСИ – по данным [11]; М – по данным [12]

Из представленных на рис. 1 и в табл. 3 данных очевидно:

- существует тесная корреляция между пределом прочности на осевое растяжение наносимого состава без РПП и прочностью сцепления с бетонным основанием ($R^2 \geq 0,995$), при этом результаты, полученные в настоящем исследовании, хорошо согласуются с данными [10,13] (ф.1,5,7 в табл.3);

- при наличии в наносимом составе РПП корреляция между пределом прочности на растяжение и прочностью сцепления с бетонным основанием остается достаточно высокой ($R^2 \geq 0,898$);
 - в содержащих РПП составах при увеличении дозировки до 2% отмечается общая тенденция к росту прочности сцепления до $0,3/0,228 = 1,3$ раза, а при содержании РПП 3% - до $0,523/0,228 = 2,29$ раза, хотя конкретные значения, как следует из данных на рис. 2, существенно зависят от вида цемента и РПП;
 - на величину прочности сцепления существенное влияние оказывает возраст основания и его обработка перед нанесением: при возрасте месяц и более получены практически одинаковые зависимости ($0,237/0,228 = 1,04$), а при возрасте основания 3 сут и обработке перед нанесением отмечено значительное повышение прочности сцепления ($0,43/0,237 = 1,81$), при этом необходимо отметить, что по данным [13] при использовании в качестве клеевого состава эпоксидных композиций различные варианты обработки поверхности не оказывают значительного влияния на прочность сцепления, в связи, с чем можно сделать заключение о влиянии на прочность сцепления в т.ч. природы клеевого состава;
 - декларированные и некоторые экспериментально определенные значения прочности сцепления ССС, представленных в табл. 1, достаточно хорошо согласуются с данными авторов при содержании РПП 3%;
 - справочные данные по ГОСТ Р 56378-2015 при определении величины R_t по ф.(1), несколько превышают декларированные значения известных производителей по табл.1 и экспериментальные данные, хотя подобные значения при модифицировании бетонов некоторыми полимерами в принципе возможны [11];
 - на прочность сцепления с основанием оказывает влияние как дозировка РПП, так и вид РПП и портландцемента, что иллюстрируют представленные
-

на рис. 2 данные о прочности сцепления строительного раствора с бетонным основанием от вида цемента, вида и дозировки РПП, которые хорошо согласуются с результатами [14].

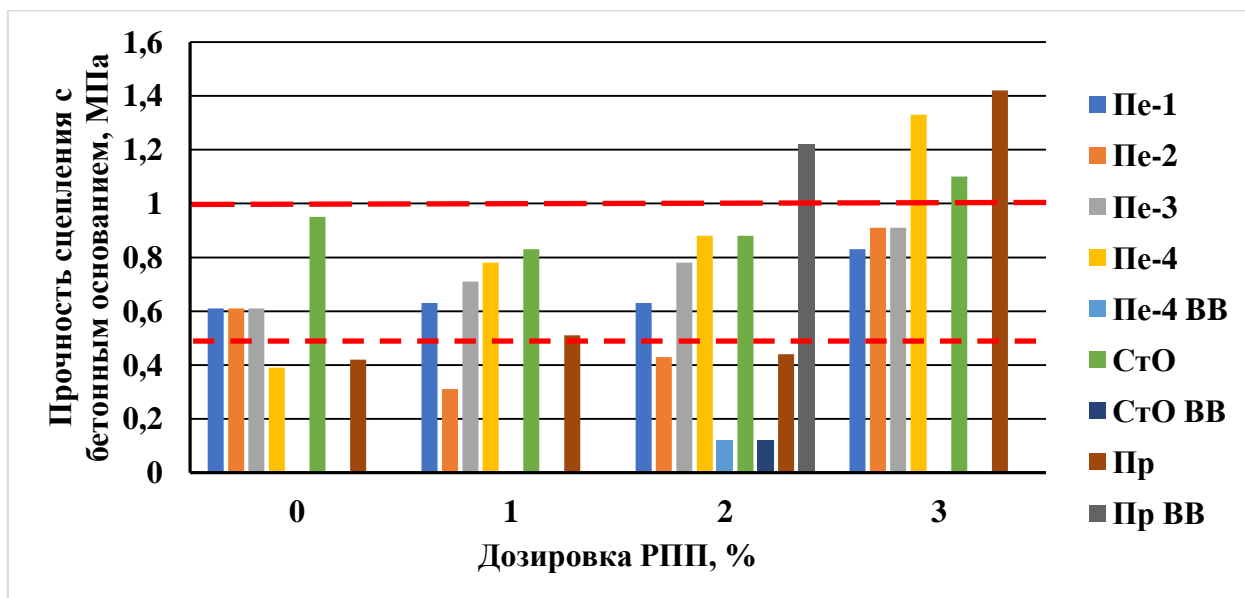


Рис. 2. - Прочность сцепления строительного раствора с бетонным основанием в зависимости от вида цемента, вида и дозировки РПП

Пе-1 – Пе-4, Пе-4 ВВ (СтО, СтО ВВ, Пр, Пр ВВ) – соответственно ПЦ «Первомайский» («Старооскольский», «Пролетарий») с различными РПП по табл.2, ВВ – с ВВД

На рис. 3 представлена зависимость модуля упругости строительных растворов (мелкозернистых бетонов – при средней плотности более 2000 кг/м³ – ССС по табл.1), полученных из ССС, от предела прочности на осевое растяжение по ф.(1). Из представленных на рис. 3 данных очевидно:

- зависимость модуля упругости E раствора (мелкозернистого бетона) от предела прочности на осевое растяжение R_t практически инвариантно ($R^2 = 0,985$) описывается ф.(3), при получении которой использованы в т.ч. результаты испытаний представленных в табл. 1 ССС;

- декларированное значение модуля упругости смеси Master Emaco S488 хорошо соответствует зависимости ϕ .(3):

$$E = 4185 \cdot R_t^{1,5}; \quad (3)$$

- справочные данные по ГОСТ Р 56378-2015 при значениях предела прочности на осевое растяжение порядка 2 МПа (класс смеси R3) несколько завышены, а для смеси класса R4 совпадают с результатом по ϕ .(3);

- значения начального модуля упругости модифицированных полимерами исследованных мелкозернистых бетонов ниже нормируемых СП 63.13330.2018 значений на 10...20%, для строительных растворов применять данные СП не следует, различие достигает 1,5...2 раза.

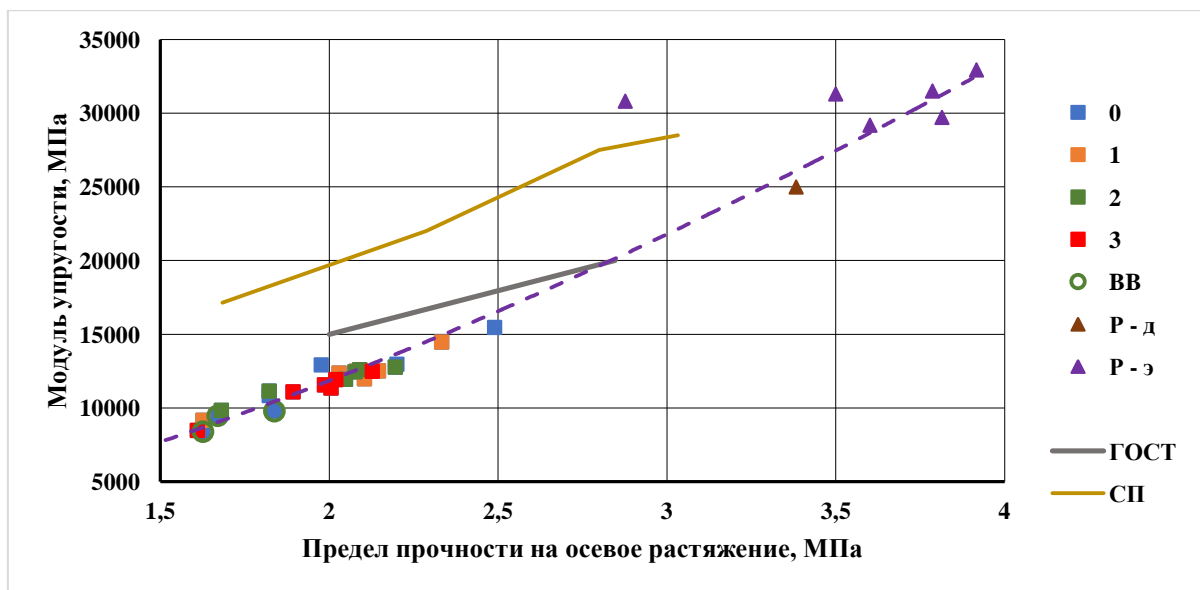


Рис. 3. Зависимость модуля упругости бетона от предела прочности на осевое растяжение

0 – 3 – дозировка РПП, % от массы ССС, ВВ – составы с ВВД, Р – л, Р – э – Р – л, Р – э – ремонтные составы по табл. 1, д – декларированные показатели, э – измеренные значения в параллельных испытаниях; ГОСТ – справочные данные по ГОСТ Р 56378-2015; СП – по СП 63.13330 для мелкозернистых бетонов

Заключение

В результате обработки экспериментальных данных авторов и других исследователей получена зависимость между прочностью сцепления $A_{сц}$ с бетонным основанием и пределом прочности на осевое растяжение R_t растворов без РПП $A_{сц} = 0,23 \cdot R_t$ при $R^2=0,996$. Выявлена тенденция к росту прочности сцепления до 30% при увеличении дозировки РПП до 2% и до 130% при дозировке РПП 3%, при этом установлено существенное влияние на прочность сцепления вида цемента и РПП. Приведены данные о роли возраста бетонного основания и его обработки перед нанесением ремонтной (восстанавливающей) растворной или бетонной смеси на прочность сцепления. Получена инвариантная к рецептурным факторам зависимость модуля упругости строительного раствора или мелкозернистого бетона от предела прочности на осевое растяжение.

Литература

1. Кузьмина В.П. Защита и ремонт железобетонных сооружений // Сухие строительные смеси. 2017. №2. С. 23-25.
2. 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
3. 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.
4. 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.

5. 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.
 6. Удодов С.А., Бычкова О.А. К вопросу о долговечности сцепления цементных растворов с легкобетонным основанием / INTERNATIONAL INNOVATION RESERCH: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. 2017. С. 42-45.
 7. Манушина А.С., Урбанов А.В., Ахметжанов А.М., Зырянов М.С., Потапова Е.Н., Захаров С.А., Влияние минеральных и полимерных добавок на свойства плиточного клея // Сухие строительные смеси. 2016. №2. С. 17-20.
 8. Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. К расчету сечений, усиленных ремонтными составами // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. Т.44, №3. С. 165-173.
 9. Беляев А.В., Несветаев Г.В. О сцеплении конструкционного керамзитобетона и тяжелого бетона в монолитных слоистых перекрытиях // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т.8. №4. URL: naukovedenie.ru/PDF/24TVN416.pdf
 10. Головнев С.Г., Коваль С.Б., Молодцов М.В. Сцепление бетона в зоне технологического шва. Вестник ЮУрГУ. 2005. №13. С.71-74.
 11. Polymer-Modified Concrete: Reported by ACI Committee 548. URL: 548.3R-03.5483r_03.PDF-Yandex.Documents.
 12. 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.
-

13. Микульский В.Г., Козлов В.В. Склеивание бетона. М.: Стройиздат. 1975. 236 с.
14. Долгова А.В. Исследование свойств мелкозернистого бетона с добавками редиспергируемых порошков и низкомолекулярных включений // Сборник научных трудов «Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры». Ростовский Государственный Университет путей сообщения. Ростов н/Д. – 2019. – т.1. – С. 49-54.

References

1. Kuz`mina V.P. Suxie stroitel`ny`e smesi». 2017. №2. Pp. 23-25.
2. Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina N.A. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii. 2020. № 5 (30). pp. 122-128.
3. By`chkova O.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103.
4. Lesovik V.S., Zagorodnyuk K.X., Belikov D.A. Vestnik RAASN. 2014. № 18. P. 112-119.
5. By`chkova O.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5102.
6. Udodov S.A., By`chkova O.A. K voprosu o dolgovechnosti scepleniya cementny`x rastvorov s legkobetonny`m osnovaniem. International innovation research: sbornik statej VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. pp. 42-45.
7. Manushina A.S., Urbanov A.V., Axmetzhanov A.M., Zy`ryanov M.S., Potapova E.N., Zaxarov S.A. Suxie stroitel`ny`e smesi. 2016. №2. pp. 17-20.

8. Kolleganov A.V., Kolleganov N.A., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki. 2017. T.44, №3. pp. 165-173.
9. Belyaev A.V., Nesvetaev G.V. Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2016. T.8. №4. URL: naukovedenie.ru/PDF/24TVN416.pdf
10. Golovnev S.G., Koval` S.B., Molodczov M.V. Vestnik YuUrGU. 2005. №13. pp. 71-74.
11. Polymer-Modified Concrete: Reported by ACI Committee 548. URL: 548.3R-03.5483r_03.PDF-Yandex.Documents.
12. 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.
13. Mikul`skij V.G., Kozlov V.V. Skleivanie betona. [Bonding of concrete] M.: Strojizdat. 1975. 236 p.
14. Dolgova A.V. Issledovanie svojstv melkozernistogo betona s dobavkami redispergiruemy`x poroshkov i nizkomodul`ny`x vklyuchenij. Sbornik nauchny`x trudov «Innovacionny`e texnologii v stroitel`stve i upravlenie texnicheskim sostoyaniem infrastruktury`». Rostovskij Gosudarstvenny`j Universitet putej soobshheniya. Rostov n/D. 2019. t.1. pp. 49-54.