

УДК 691

## ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ MASTERPOLYHEED НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО И МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

*Л. И. Касторных, В. В. Хартанович, Д. Р. Шершень*

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Установлено, что суперпластифицирующая добавка MasterPolyHeed 3545 на основе эфиров полиарила и поликарбоксилата направленно регулирует реологические свойства высокоподвижных и самоуплотняющихся смесей. При оптимальной дозировке добавка обеспечивает сильный водоредуцирующий эффект, повышающий плотность и прочность бетона. Добавка эффективна для производства высокоподвижных смесей с низкой вязкостью и самоуплотняющихся смесей с микронаполнителями.

**Ключевые слова:** суперпластификатор, эфиры полиарила, эфиры поликарбоксилата, отсеvy камнедробления, мелкозернистый самоуплотняющийся бетон.

## THE INFLUENCE OF MASTERPOLYHEED SUPERPLASTICIZING ADDITIVE ON THE MAIN PROPERTIES OF HEAVY AND FINE-GRAINED CONCRETE

*L. I. Kastornykh, V. V. Hartanovich, D. R. Shershen*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

It was found that MasterPolyHeed 3545 superplasticizing additive based on polyarylic and polycarboxylate esters directionally regulates the rheological properties of highly mobile and self-compacting mixtures. At the optimal dosage of the additive, a high water-reducing effect is provided, what increases the density and strength of concrete. The additive is effective for the production of highly mobile mixtures with low viscosity and self-compacting mixtures with microfillers.

**Keywords:** superplasticizer, polyarylic esters, polycarboxylate esters, rock crushing screenings, fine-grained self-compacting concrete.

**Введение.** Бетон является самым востребованным строительным материалом. Основное направление развития бетоноведения — создание «умных» саморегулируемых бетонов [1]. Для их производства требуются новые материалы — наноцементы, нанокристаллизаторы, гиперпластификаторы на основе поликарбоксилатов и другие. Инновационные технологии бетона и железобетона базируются на достижениях фундаментальных наук — физики, химии, механики.

В полной мере к саморегулируемым относятся самоуплотняющиеся бетоны (СУБ). В России их стали интенсивно использовать при возведении уникальных сооружений в Москве. В настоящее время такие составы применяют при монолитном строительстве объектов любой сложности и этажности различного назначения (в т. ч. для цементобетонных монолитных покрытий дорог и аэродромов). Наиболее эффективно их использование при возведении высотных зданий с помощью бетононасосной технологии [2]. Есть положительный пример использования самоуплотняющихся бетонных смесей в производстве сборных железобетонных изделий в заводских условиях [3].

Самоуплотняющиеся смеси и бетоны на их основе заняли особое положение за счет хорошо регулируемых, длительно сохраняемых реологических и технологических функций на стадиях перемешивания, транспортирования, формования и твердения. Однако в строительной практике широкое внедрение СУБ сдерживается рядом факторов:

— сложностью организации производства (многокомпонентность состава в сочетании с недостаточной стабильностью свойств исходных компонентов, невысокая эффективность всего дозировочно-смесительного комплекса, низкая культура производства, отсутствие специально подготовленных кадров и т. д.);

— недостаточной изученностью зависимостей свойств самоуплотняющихся смесей и бетонов на их основе от производственных факторов;

— высокой стоимостью смесей;

— отсутствием полноценной нормативной базы, в том числе правил подбора состава самоуплотняющихся смесей.

Самоуплотняющиеся бетонные смеси невозможно приготовить без высокоэффективных добавок — гиперпластификаторов. Наибольшей эффективностью среди добавок последнего поколения отличаются гиперпластификаторы на основе эфира полиарила — полимера, специально синтезированного под потребности производителей бетона. У них нет недостатков, присущих добавкам другой химической природы: высокой чувствительности к качеству минеральных составляющих, высокой вязкости бетонной смеси, несовместимости с другими добавками, высокой стоимости и др.

Для производства товарного бетона, в том числе высокопрочного и самоуплотняющегося, компания BASF разработала серию новых перспективных полимеров с применением полиариловых эфиров — MasterPolyHeed [4]. Добавка MasterPolyHeed 3545, относящаяся по классификации ГОСТ 24211 к группе суперпластифицирующих и высоководоредуцирующих, изготовлена на основе эфиров полиарила (PAE) и поликарбоксилата (PCE).

Использованию гиперпластификаторов в производстве должны предшествовать многочисленные исследования, так как новые добавки весьма чувствительны к содержанию трехвалентного алюмината, сульфатов, щелочей, а также удельной поверхности и вещественному составу цемента [5–11]. Поэтому цель настоящей работы — исследовать влияние суперпластифицирующей добавки MasterPolyHeed 3545 на основные свойства тяжелого и мелкозернистого бетона.

**Основная часть.** В работе для приготовления тяжелых и мелкозернистых бетонных смесей использованы описанные ниже материалы.

Вяжущее — цемент общестроительный бездобавочный класса СЕМІ 52,5N, изготовленный на основе портландцементного клинкера производства турецкого завода ADOGIM.

Выбор цемента турецкого производства продиктован тем, что последние два десятилетия этот материал широко используется в строительном комплексе Ростовской области. Рассматриваемые проблемы исследовались на кафедре «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики» Донского государственного технического университета. В результате установлено, например, что цемент класса СЕМІ 42,5 R имеет ограничения по применению в бетоне надземных частей зданий и сооружений с требованиями по морозостойкости выше F<sub>100</sub> и по водонепроницаемости выше W<sub>6</sub> [12]. Поэтому использование новых вяжущих для производства бетонных смесей должно быть обосновано не только экономически, но и технически [13].

Основные характеристики цемента представлены в табл. 1, минералогический состав — в табл. 2.

Таблица 1

## Основные характеристики цемента

Показатели	Значение
Прочность на сжатие в возрасте 28 сут, МПа	59,7
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	3,19
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1010
Нормальная густота цементного теста, %	29,0
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	4054
Сроки схватывания, мин: начало / конец	138 / 200
Коэффициент эффективности при тепловой обработке	0,68

Таблица 2

## Минералогический состав цемента

Класс цемента	Состав, %						
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	SO <sub>3</sub>	MgO	R <sub>2</sub> O
CEM I 52,5N	59,17	12,79	6,99	10,07	2,4	1,45	0,57

В качестве заполнителей для приготовления бетонов использовались: песок кварцевый карьера «Цыганский», щебень из известняка и отсев дробления известняка ООО «Жирновский щебеночный завод». Основные характеристики заполнителей представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Основные характеристики заполнителей

Показатели	Песок	Щебень	Отсев дробления известняка
Нормативный документ	ГОСТ 8736	ГОСТ 8267	ГОСТ 31424
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,65	2,66	2,65
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1413	1330	1420
Модуль крупности	1,61	—	3,26
Наибольшая крупность, мм	—	20	5
Пустотность, %	46,7	50,0	46,4
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	1,1	0,8	1,2
Марка по дробимости при сжатии в цилиндре	—	1000	1000

Использование в качестве мелкого заполнителя материалов из отсева дробления горных пород по ГОСТ 31424 возможно и экономически целесообразно [14]. В отсевах камнедробления сосредоточены самые высокопрочные фракции щебня (до 10 мм), т. к. при дроблении материал разрушается по наиболее слабым зонам, что приводит к его обогащению по прочности.

Зерновой состав песка и отсева камнедробления представлен в табл. 4, а кривые просеивания — на рис. 1.

## Зерновой состав мелких заполнителей

Наименование заполнителя	Наименование остатка	Остатки, % по массе, на					Проход через сито с сеткой № 016, % по массе
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Песок (кварц)	Частный	0,2	1,9	3,1	51,6	40,7	2,5
	Полный	0,2	2,1	5,2	56,8	97,5	100
Отсев камнедробления	Частный	36,5	16,7	15,6	10,7	8,9	11,6
	Полный	36,5	53,2	68,8	79,5	88,4	100

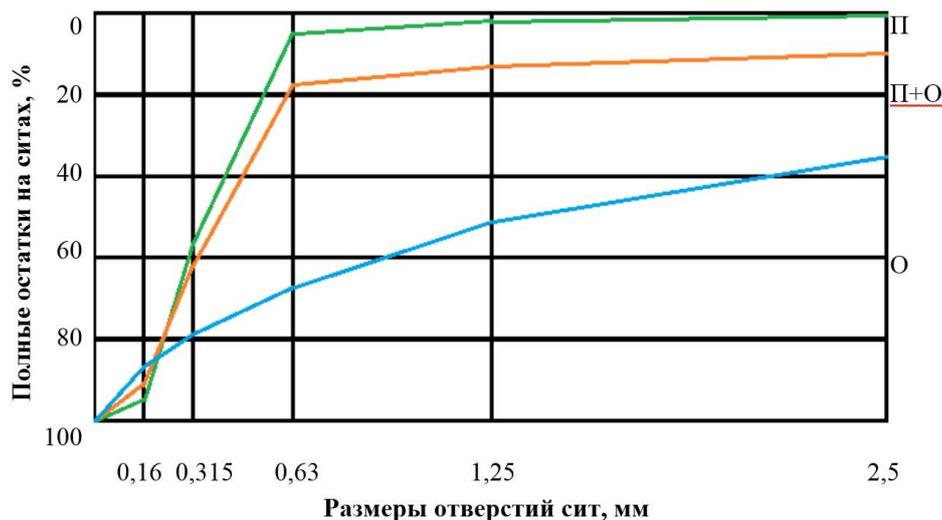


Рис. 1. Кривые просеивания мелких заполнителей: П, О, П + О — кривые просеивания песка, отсева и смеси песка с отсевом соответственно

Определение удобоукладываемости тяжелых бетонных смесей (осадки конуса *OK*) и средней плотности смеси проведено по методике ГОСТ 10181. Изготовление, хранение и испытание образцов-кубов тяжелого и мелкозернистого бетона с номинальным размером ребра 100 мм выполнено по методике ГОСТ 10180.

Растекаемость мелкозернистых самоуплотняющихся смесей установлена по ГОСТ Р 58002-2017/EN 12350-8:2010 по диаметру расплыва бетонной смеси.

Распływ конуса бетонной смеси *SF*, см, определен измерением диаметра расплывшейся лепешки  $d_1$  и  $d_2$  рулеткой в двух взаимно перпендикулярных направлениях:

$$SF = \frac{d_1 + d_2}{2}. \quad (1)$$

Одновременно с определением растекаемости установлены:

— реологическая характеристика — условная вязкость бетонной смеси  $T_{500}$  как время достижения смесью расплыва диаметром 500 мм;

— способность смеси к преодолению препятствий с помощью блокировочного кольца, имитирующего арматурные стержни (рис. 2).



Рис. 2. Определение растекаемости и реологических характеристик самоуплотняющихся смесей

На первом этапе исследований установлена оптимальная дозировка добавки MasterPolyHeed 3545 и ее влияние на показатели высокоподвижных бетонных смесей и физико-механические характеристики тяжелого бетона [15].

Для оценки влияния суперпластифицирующей добавки на водопотребность смесей и прочность бетона были приготовлены равноподвижные смеси марки П5 по удобоукладываемости ( $OK = 21 - 25$  см).

Расход добавки, принятый по рекомендации производителя [4], варьировался в пределах 1–1,6 % массы цемента. Показатели конструктивности и технологические свойства бетонных смесей приведены в табл. 5, а физико-механические характеристики бетонов — в табл. 6.

Таблица 5

Основные характеристики бетонных смесей с добавкой MasterPolyHeed 3545

Состав	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> смеси, кг					Осадка конуса, см	Ц/В	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
	Цемент	Вода	Песок	Щебень	MasterPolyHeed 3545			
1Г	355	225	710	1106	3,6	23,0	1,58	2400
2Г	363	214	727	1132	4,3	21,0	1,70	2440
3Г	369	190	738	1149	5,1	21,5	1,94	2450
4Г	371	182	742	1155	5,9	21,0	2,04	2455

Таблица 6

## Физико-механические свойства тяжелых бетонов с добавкой MasterPolyHeed 3545

Состав	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут.			Удельный расход цемента $K_{Ц}$
		После тепловой обработки		Нормального твердения	
		1	28		
1Г	2340	17,3	34,0	35,5	10,0
2Г	2360	22,6	38,0	38,3	9,5
3Г	2400	32,3	45,9	46,2	8,0
4Г	2420	40,2	53,6	53,8	7,0

Для оценки влияния добавки MasterPolyHeed 3545 на формирование структуры бетона при повышенных температурах часть образцов подвергалась тепловой обработке в условиях лабораторной пропарочной камеры.

Режим ускоренного твердения бетона с суперпластификатором на основе эфиров полиарила и поликарбоксилата был согласован с рекомендациями, установленными авторами [16, 17]. Для формирования бездефектной структуры бетона перед подачей теплоносителя предусматривалось предварительное выдерживание, скорость подъема температуры ограничивалась 10 °С/ч, а максимальная температура обогрева — 60 °С. Продолжительность тепловой обработки тяжелого и мелкозернистого бетона: 5 ч — выдерживание, 4 ч — подъем температуры до максимальной, 8 ч — обогрев, 3 ч — остывание в камере.

Для оптимизации состава бетона и оценки технической эффективности использования цемента определен удельный расход вяжущего на единицу прочности бетона  $K_{Ц}$ :

$$K_{Ц} = Ц/R_{28}, \quad (2)$$

где  $Ц$  — расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;  $R_{28}$  — прочность бетона нормального твердения в проектном возрасте, МПа.

В ходе исследований установлена оптимальная дозировка добавки MasterPolyHeed 3545 для тяжелых бетонных смесей — 1,6 % массы цемента. При таком расходе высокий водоредуцирующий эффект добавки снижает водопотребность смеси на 20 % и обеспечивает прирост прочности бетона на 51 %. Прочность пропаренного бетона, практически не отличающаяся от прочности нормально твердеющего бетона, свидетельствует о формировании малодефектной структуры при использовании «мягких» режимов тепловой обработки.

Высокий потенциал добавки реализован благодаря уникальной структуре полимеров на основе эфиров полиарила и поликарбоксилата. Жесткое линейное взаимодействие основной цепи РСЕ с поверхностью цемента компенсируется гибким объемным действием РАЕ, обеспечивая требуемое регулирование реологических свойств бетонной смеси (рис. 3) [4].

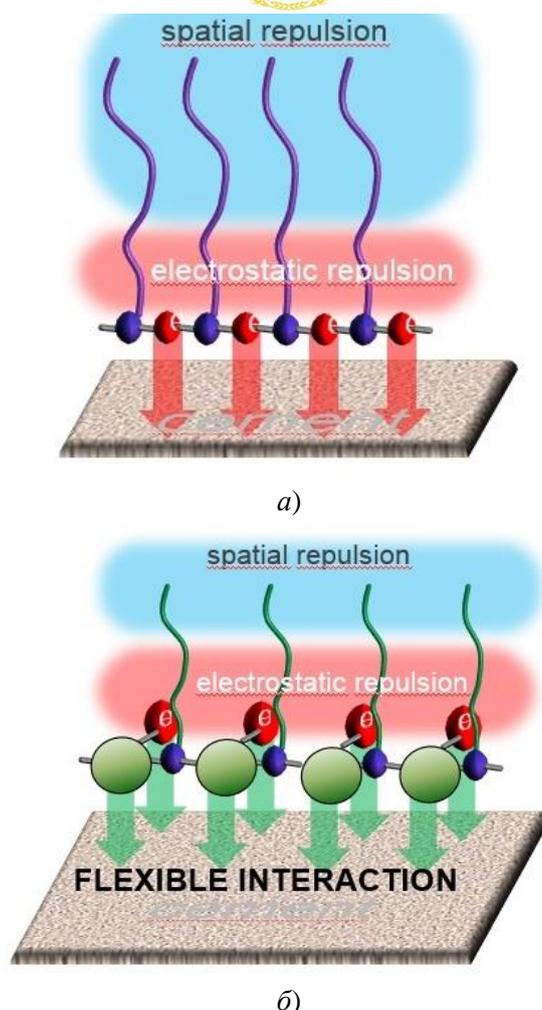


Рис. 3. Схема взаимодействия молекул с поверхностью частиц цемента: полимер на основе эфира поликарбоксилата — PCE (а) и полимер на основе эфира полиарила — PAE (б). Spatial repulsion — пространственное отталкивание, electrostatic repulsion — электростатическое отталкивание

Обладая водоудерживающим эффектом, добавка MasterPolyHeed 3545 снижает риск водоотделения и расслоения при производстве высокоподвижных смесей.

На втором этапе исследований установлено влияние добавки MasterPolyHeed 3545 на показатели мелкозернистых самоуплотняющихся смесей и физико-механические характеристики бетона. Равноподвижные смеси марки по растекаемости SF-1 (диаметр расплыва 55–65 см) приготовлены с номинальным расходом цемента  $390 \text{ кг/м}^3$  при дозировке добавки 1,6 % массы цемента. Часть (20–30 %) природного кварцевого песка заменили отсевом камнедробления. Доля пылевидной составляющей отсева (минерального наполнителя) 9–13 % массы цемента. Показатели конструктивности и технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей приведены в табл. 7, а физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов — в табл. 8.

Таблица 7

Характеристики мелкозернистых смесей с добавкой MasterPolyHeed 3545

Состав	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> смеси, кг					Диаметр распыла, см	Условная вязкость, $T_{500}$ , с	Ц/В	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
	Цемент	Вода	Песок	Отсев	MasterPolyHeed 3545				
1М	380	342	1426	—	6,0	55,0	2	1,11	2155
2М	397	264	1230	308	6,4	56,0	7	1,50	2205
3М	388	303	1127	376	6,2	55,0	6	1,28	2200
4М	385	321	1045	448	6,2	57,0	4	1,20	2205

Таблица 8

Основные свойства мелкозернистых бетонов с добавкой MasterPolyHeed 3545

Состав	Доля отсева в заполнителе, %	Расход заполнителя, %	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут			Удельный расход цемента $K_{Ц}$
				После тепловой обработки		Нормальног о твердения	
				1	28		
1М	—	—	2125	11,2	20,4	21,2	17,9
2М	20	9	2155	22,1	34,0	34,1	11,6
3М	25	11	2142	14,5	26,4	27,0	14,4
4М	30	13	2134	11,8	23,5	24,9	15,5

Исследования показали, что при замене 20 % природного песка отсевом камнедробления, содержащим в основном фракции от 0,63 до 5,0 мм и пылевидную часть в объеме 9 % массы цемента, водопотребность смеси снижается на 23 %, а прочность мелкозернистого бетона увеличивается на 61 %. Повышение доли отсева в смеси заполнителей до 30 % за счет наличия большого количества частиц с развитой обломочной и шероховатой поверхностью неизбежно приводит к увеличению водопотребности смеси и снижению прочности бетона.

Использование в оптимальном количестве заполнителя в мелкозернистой бетонной смеси обеспечивает значительное повышение реологического воздействия добавки MasterPolyHeed 3545 на смесь и получение сверхтекучей матрицы (вследствие эффекта соразжижения, т. к. суперпластификаторы действуют значительно лучше на дисперсиях оксидов, минеральных порошков или их смесях с цементом, чем на дисперсиях чистого цемента).

Оптимальное наполнение бетонной смеси тонкодисперсным минеральным материалом приводит к уплотнению и, как следствие, упрочнению структуры бетона за счет изначального присутствия в смеси большого количества искусственных зародышей, являющихся подложкой для гидратных новообразований.

Высокая текучесть мелкозернистой бетонной смеси с суперпластификатором и микрозаполнителем сочетается с низкой седиментацией, отсутствием водоотделения и расслоения, самопроизвольным удалением воздуха. За счет этого повышается плотность и прочность бетона, уменьшаются тепловыделение и усадочные явления при твердении.

**Заключение.** Проведенные исследования позволили установить, что суперпластифицирующая и высоководоредуцирующая добавка MasterPolyHeed 3545 на основе эфиров полиарила и поликарбоксилата, благодаря уникальной структуре полимеров, направленно регулирует реологические свойства высокоподвижных и самоуплотняющихся смесей. При оптимальной дозировке добавки обеспечивается высокий водоредуцирующий эффект, приводящий к повышению плотности и прочности бетона. Повышается также потенциал вяжущего при минимальном расходе. Добавка MasterPolyHeed 3545 эффективна для производства высокоподвижных смесей с низкой вязкостью и самоуплотняющихся мелкозернистых смесей с применением микронаполнителей.

### Библиографический список

1. Ушеров-Маршак, А. В. Взгляд в будущее бетона / А. В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. — 2014. — № 3. — С. 4–5.
2. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии / Л. И. Касторных, А. В. Каклюгин, М. А. Гикало, И. В. Трищенко // Строительные материалы. — 2020. — № 3. — С. 4–11. DOI : <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>.
3. Оценка эффективности инвестиционного проекта реконструкции предприятий крупнопанельного домостроения / И. В. Трищенко, Л. И. Касторных, Ю. С. Фоминых, М. А. Гикало // Жилищное строительство. — 2018. — № 10. — С. 39–44.
4. MasterPolyheed — суперпластифицирующие добавки на основе эфиров полиарила для железобетонных изделий и конструкций / BASF Group // [master-builders-solutions.com](http://master-builders-solutions.com) : [сайт]. — URL: <https://www.master-builders-solutions.basf.ru/ru-cis/products/masterpolyheed> (дата обращения: 13.08.2020).
5. Каприелов, С. С. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, В. Г. Дондуков // Строительные материалы. — 2017. — № 11. — С. 4–10.
6. Сивков, С. П. Удельная поверхность цементов и их свойства / С. П. Сивков // Сухие строительные смеси. — 2011. — № 3. — С. 39–41.
7. Касторных, Л. И. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть I. Реологические характеристики цементных композиций / Л. И. Касторных, А. В. Рауткин, А. С. Раев // Строительные материалы. — 2017. — № 7. — С. 34–38.
8. Касторных, Л. И. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть 2. Реологические характеристики бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов / Л. И. Касторных, И. А. Деточенко, Е. С. Арина // Строительные материалы. — 2017. — № 11. — С. 22–27.
9. Рауткин, А. В. Выбор химических модификаторов для обеспечения растекаемости самоуплотняющихся бетонных смесей / А. В. Рауткин, Л. И. Касторных // Молодой исследователь Дона : [сайт]. — 2017. — № 4 (7). — С. 118–126. — URL: [mid-journal.ru/upload/iblock/5a8/20-rautkin-118\\_126.pdf](http://mid-journal.ru/upload/iblock/5a8/20-rautkin-118_126.pdf) (дата обращения: 13.08.2020).
10. Касторных, Л. И. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах / Л. И. Касторных, В. П. Скиба, А. Е. Елсуфьев // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2017. — № 3. — URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/) (дата обращения: 13.08.2020).

11. Раев, А. С. Влияние вида цемента на сохраняемость свойств самоуплотняющихся бетонов / А. С. Раев, Л. И. Касторных // Молодой исследователь Дона : [сайт]. — 2017. — № 4 (7). — С. 9–16. — URL: [mid-journal.ru/upload/iblock/bf5/2-raev-9\\_16.pdf](http://mid-journal.ru/upload/iblock/bf5/2-raev-9_16.pdf) (дата обращения: 13.08.2020).

12. Ткаченко, Г. А. Об использовании турецкого цемента в строительном комплексе Ростовской области / Г. А. Ткаченко, Л. И. Касторных // Строительство-2013. Строительные технологии, материалы и качество в строительстве : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону : Изд-во РГСУ, 2013. — С. 99–101.

13. Трищенко, И. В. Об оценке эффективности инвестиций на стадии внедрения результатов научно-исследовательских работ / И. В. Трищенко, А. В. Каклюгин, Л. И. Касторных // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2019. № 2. — URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5745](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5745) (дата обращения: 13.08.2020).

14. Касторных, Л. И. Влияние отсева камнедробления и минерального наполнителя на характеристики мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов / Л. И. Касторных, А. Г. Тароян, Л. М. Усепян // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2017. — № 3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4340/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4340/) (дата обращения: 13.08.2020).

15. Богданов, Р. Р. Влияние пластифицирующих добавок на основе эфира поликарбоксилата и полиарила на физико-технические свойства цементных композиций / Р. Р. Богданов, А. В. Пашаев, М. В. Журавлев // Вестник технологического университета. — 2018. — Т. 21, № 11. — С. 45–49.

16. Kastornykh, L.I, Trischenko, I.V., Kakljugin, A.V., Shershen, D.R. Heat Curing Efficiency Estimation of Concrete with Superplasticators on Polycarboxylates Basis / L.I. Kastornykh, I.V. Trischenko, A.V. Kakljugin, D.R. Shershen // Materials and Technologies in Construction and Architecture : materials science forum. — 2019. — P. II, vol. 974. — 231–236 P.

17. Эффективность тепловой обработки бетона с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе / Л. И. Касторных, И. В. Трищенко, А. В. Каклюгин, Д. Р. Шершень // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2019. № 2. — URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5744](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5744) (дата обращения: 13.08.2020).

*Об авторах:*

**Касторных Любовь Ивановна**, доцент кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии», Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, [likas9@mail.ru](mailto:likas9@mail.ru)

**Хартанович Владимир Владимирович**, студент Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [vhartanovich@mail.ru](mailto:vhartanovich@mail.ru)

**Шершень Дмитрий Русланович**, магистрант Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [dimsh97@mail.ru](mailto:dimsh97@mail.ru)

*Authors:*

**Kastornikh, Lubov' I.**, associate Professor, Department of Technological engineering and expertise in the construction industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [likas9@mail.ru](mailto:likas9@mail.ru)

**Khartanovich, Vladimir V.**, student, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [vhartanovich@mail.ru](mailto:vhartanovich@mail.ru)

**Shershen', Dmitriy R.**, master's degree student, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [dimsh97@mail.ru](mailto:dimsh97@mail.ru)