

УДК 691.327

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПОДВИЖНЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

*Л. И. Касторных, Н. А. Канюк, И. В. Осипчук*

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

Установлен диапазон дозирования добавки полифункционального действия «Линамикс ПК» для высокоподвижных бетонных смесей, перекачиваемых бетононасосами. Расход химической добавки зависит от удельной поверхности, вещественного и зернового состава цемента, а также от расхода и гранулометрии минерального наполнителя и мелкого заполнителя. Определены эффективные составы перекачиваемых высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей с минимальным удельным расходом цемента. Для обеспечения трещиностойкости монолитного бетона рационально применение модифицированных бетонных смесей с суперпластификатором полифункционального действия «Линамикс ПК» и микрокремнеземом МК-85.

**Ключевые слова:** добавки полифункционального действия, модифицирование бетонных смесей, микрокремнезем, коэффициент использования цемента.

## INFLUENCE OF MINERAL AND CHEMICAL ADDITIVES OF MULTIFUNCTIONAL ACTION ON THE PROPERTIES OF HIGH WORKABILITY CONCRETE MIXES

*L. I. Kastornykh, N. A. Kanyuk, I. V. Osipchuk*

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

The dosage range of the polyfunctional action additive Linamix PC for high workability concrete mixes pumped by concrete pumps has been established. The consumption of the chemical additive depends on the specific surface, the material and grain composition of the cement, as well as on the consumption and granulometry of the mineral filler and fine aggregate. The effective compositions of pumped high workability and self-compacting concrete mixtures with a minimum specific consumption of cement are determined. To ensure the crack resistance of monolithic concrete, it is rational to use modified concrete mixtures with a polyfunctional superplasticizer Linamix PC and microsilica MK-85.

**Keywords:** additives of multifunctional action, modification of concrete mixes, microsilica, cement utilization coefficient.

**Введение.** В монолитном строительстве наиболее прогрессивным способом транспортирования и укладки бетонных смесей является бетононасосная технология. Применение бетононасосов в комплексе с бетонораспределительными системами в зависимости от диаметра бетонопроводов, условий подачи смеси и других производственных факторов требует использования специально подобранных составов бетонных смесей [1]. Смеси для обеспечения перекачиваемости должны быть одновременно высокоподвижными и иметь повышенную связность и нерасслаиваемость. Достижение таких характеристик вполне возможно путем подбора оптимального гранулометрического состава заполнителей и выбора для цемента конкретного вида пластифицирующей добавки, учитывающей её совместимость с минеральными составляющими смеси [2–4]. При этом решающую роль для обеспечения высокой связности и однородности смеси играет наличие достаточного количества тонкодисперсных частиц. Это условие выполняется

модифицированием вяжущего минеральными добавками, а увеличение водопотребности смеси, связанное с повышением количества тонкодисперсной фазы, компенсируется применением суперводоредуцирующих добавок [5–6].

Модифицирование бетонных смесей добавками, являясь эффективным приемом направленного структурообразования бетона, давно и успешно применяется в технологии монолитного и сборного строительства при производстве железобетонных конструкций с высокими требованиями по долговечности [7–9]. Несомненный интерес для практического использования представляют добавки полифункционального действия, позволяющие одновременно регулировать свойства бетонных смесей и затвердевшего бетона. Одной из таких добавок является модификатор «Линамикс ПК», относящийся по потребительским свойствам к группе суперводоредуцирующих и добавок, регулирующих сохраняемость подвижности бетонной смеси. Эта добавка, изготавливаемая на основе смеси полиоксиэтиленовых производных поликарбоновых кислот и полиэтиленгликоля, обладает высоким реологическим потенциалом при формировании свойств бетонных смесей. Как отмечают исследователи в работах [10–12], при использовании добавки «Линамикс ПК» достигаются высокий пластифицирующий эффект и связность бетонных смесей при длительной сохраняемости первоначальных свойств. При оптимальной дозировке эффективность «Линамикса ПК» проявляется не только в бетонных смесях на цементном вяжущем, но и на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем [13].

В донском регионе, для которого характерно отсутствие заполнителей высокого качества, производство бетонных смесей для монолитного строительства требует индивидуального подхода и выбора минеральных материалов, совместимых с химическими добавками. Поэтому целью настоящей работы явилась оценка влияния добавки полифункционального действия «Линамикс ПК» и минеральных наполнителей на характеристики высокоподвижных бетонных смесей, перекачиваемых бетононасосами, а также на физико-механические свойства бетонов на их основе.

**Материалы и методы исследований.** Для регулирования свойств бетонных смесей использовали химическую добавку полифункционального действия «Линамикс ПК» (тип 2), которая соответствует требованиям ГОСТ 24211 для пластифицирующих и водоредуцирующих добавок и добавок, регулирующих сохраняемость подвижности смеси. При проведении исследований добавку «Линамикс ПК» вводили в предварительно перемешанную смесь минеральных компонентов с частью (20%) воды затворения незадолго до окончания перемешивания. Такой способ позволяет получить максимальный пластифицирующий эффект [8].

В качестве вяжущих для приготовления бетонных смесей использовали турецкий быстротвердеющий портландцемент класса СЕМІ 42.5R и российский нормальнотвердеющий портландцемент класса ЦЕМІ 42.5Н. Технические характеристики портландцементов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики портландцементов

Показатель, единица измерения	Значение	
	СЕМІ 42.5R	ЦЕМІ 42.5Н
Прочность на сжатие в возрасте 28 сут., МПа	54,5	51,1
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	3,15	3,1
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1000	1120
Нормальная густота цементного теста, %	29,4	24,75
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	4054	3480
Коэффициент эффективности при тепловой обработке	0,73	0,79

В качестве минеральных кремнезёмсодержащих добавок для приготовления смесей использовали конденсированный микрокремнезём МК-85 по ГОСТ Р 58894 и керамзитовую пыль — тонкодисперсную составляющую отсевов дробления керамзитовой смеси.

Микрокремнезём МК-85 — отход производства ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»: истинная плотность —  $2,1 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $152 \text{ кг/м}^3$ , удельная поверхность —  $19980 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Керамзитовая пыль — тонкодисперсный материал отсевов дробления керамзитовой смеси с размером зерен менее  $0,16 \text{ мм}$ : истинная плотность —  $2,48 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $775 \text{ кг/м}^3$ , удельная поверхность —  $3947 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Гранулометрический состав портландцементов и минеральных наполнителей определяли на лазерном анализаторе частиц Microsizer-201С (рис. 1).

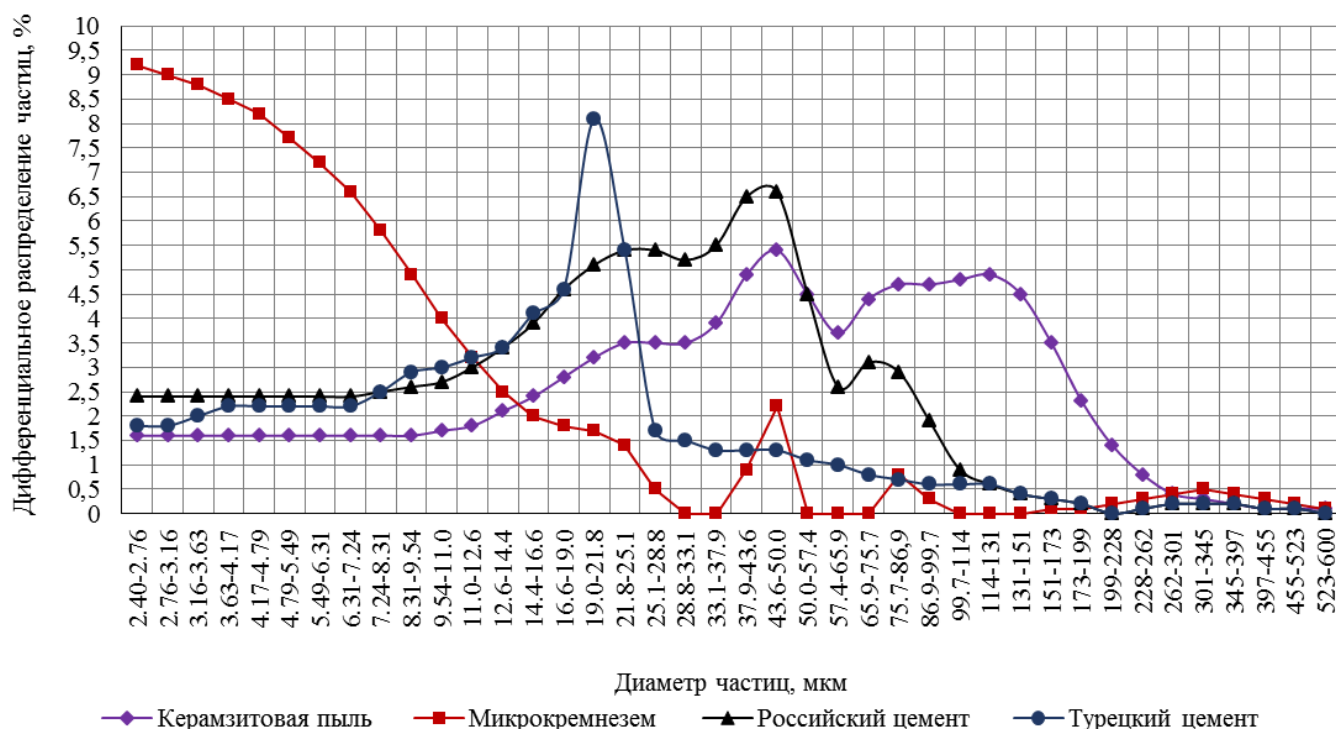


Рис. 1. Гранулометрический состав тонкодисперсных материалов

В качестве мелких заполнителей для приготовления бетонных смесей использовали природные кварцевые пески донского региона:

— песок природный кварцевый (П1): истинная плотность —  $2,65 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $1332 \text{ кг/м}^3$ , модуль крупности —  $1,06$ , пустотность —  $49,7\%$ ;

— песок природный обогащенный (П2): истинная плотность —  $2,65 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $1415 \text{ кг/м}^3$ , модуль крупности —  $1,82$ , пустотность —  $46,6\%$ ;

— песок природный обогащенный, с улучшенным зерновым составом (П3): истинная плотность —  $2,65 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $1445 \text{ кг/м}^3$ , модуль крупности —  $2,12$ , пустотность —  $45,5\%$ .

В качестве крупных заполнителей также использовали местные материалы:

— щебень из песчаника фракции  $5\text{--}10 \text{ мм}$ : истинная плотность —  $2,66 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $1395 \text{ кг/м}^3$ , прочность по дробимости —  $1000$ , пустотность —  $47,5\%$ ;

— щебень из песчаника смеси фракций  $5\text{--}20 \text{ мм}$ : истинная плотность —  $2,66 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность —  $1410 \text{ кг/м}^3$ , прочность по дробимости —  $1000$ , пустотность —  $47,0\%$ .

При проведении исследований удобоукладываемость высокоподвижных бетонных смесей определяли по осадке конуса  $OK$  по методике ГОСТ 10181. Растекаемость самоуплотняющихся смесей устанавливали по диаметру расплыва бетонного конуса  $D_p$  по методике СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011. Изготовление, хранение и испытание на прочность при сжатии образцов-кубов бетона с номинальным размером ребра 100 мм и на прочность при растяжении образцов-призм размерами 100×100×400 мм выполняли по методике ГОСТ 10180.

Оценку водоредуцирующей эффективности химического модификатора «Динамикс ПК» в бетоне выполняли по коэффициенту использования цемента  $K_{Ц}$  — удельному расходу цемента на единицу прочности бетона:

$$K_{Ц} = Ц/R_{28}, \quad (1)$$

где  $Ц$  — расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг,

$R_{28}$  — предел прочности при сжатии бетона в проектном возрасте, МПа.

Коэффициент трещиностойкости  $K_{ТР}$ , отражающий способность модифицированного бетона сопротивляться растягивающим напряжениям, рассчитывали как отношение предела прочности бетона на растяжение при изгибе к пределу прочности при сжатии.

**Влияние добавок полифункционального действия на свойства высокоподвижных бетонных смесей.** Оценку влияния химической добавки полифункционального действия «Динамикс ПК» совместно с минеральным компонентом микрокремнезем МК-85 проводили на бетонных смесях, характеристики которых представлены в табл. 2. Влияние добавки керамзитовой пыли и химического модификатора «Динамикс ПК» на свойства высокоподвижных бетонных смесей исследовали на смесях, характеристики которых представлены в табл. 3.

Таблица 2

Характеристики бетонных смесей с микрокремнеземом

Состав	Дозировка «Динамикс ПК», %	Вид и расход цемента, кг/м <sup>3</sup>		Расход МК-85, кг/м <sup>3</sup>	Вид и расход песка, кг/м <sup>3</sup>			Расход щебня, кг/м <sup>3</sup> , фракции		Осадка конуса $OK$ , см	Диаметр расплыва $D_p$ , см
		Турецкий СЕМІ 42.5R	Российский ЦЕМІ 42.5Н		П1	П2	П3	5–20 мм	5–10 мм		
1	0,25	373	-	-	672	-	-	1095	-	22,0	-
2	0,35	369	-	55	610	-	-	1083	-	25,0	-
3	0,50	364	-	54	671	-	-	1068	-	25,0	-
4	0,65	368	-	55	678	-	-	1079	-	25,0	-
5	0,70	313	-	47	731	-	-	1148	-	23,0	-
6	0,80	315	-	47	736	-	-	1156	-	23,0	-
7	0,20	-	300	30	621	-	-	-	1224	19,5	-
8	0,25	-	336	34	-	836	-	-	912	21,5	-
9	0,55	-	365	33	-	-	755	-	986	-	66,0
10	0,55	-	358	59	782	-	-	942	-	25,0	-
11	0,65	-	400	52	-	780	-	1000	-	25,0	-
12	1,00	-	370	37	-	-	698	1164	-	-	56,0

Таблица 3

## Характеристики бетонных смесей с керамзитовой пылью

Состав	Дозировка «Линамикса ПК», %	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Средняя плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Водоцементное отношение	Осадка конуса ОК, см
		Цемент российский ЦЕМ I 42,5Н	Керамзитовая пыль	Вода	Песок П2	Щебень смеси фракций 5–20 мм			
13	0,10	350	35	235	780	1000	2400	0,67	21,0
14	0,25	357	36	193	795	1019	2400	0,54	21,5
15	0,45	365	36	179	814	1043	2440	0,49	24,5
16	0,60	366	37	187	816	1047	2455	0,51	25,0

С целью определения максимального водоредуцирующего эффекта дозировку «Линамикса ПК» варьировали в широком диапазоне от 0,1 до 1,0% массы цемента. Расход микрокремнезема МК-85 в смесях на турецком портландцементе составлял 15 % массы цемента (составы 1–6), а в смесях на российском цементе изменялся от 10 до 16% в зависимости от расхода мелкого заполнителя (составы 7–12). Расход керамзитовой пыли в смесях принимали в количестве 10% массы цемента (составы 13–16).

В ходе исследований установлено, что повышение дозировки модификатора «Линамикс ПК» от 0,25 до 0,65% в равноподвижных бетонных смесях, удовлетворяющих требованиям перекачиваемости, закономерно приводит к снижению водопотребности на 15–20 % (составы 1–4). При этом замена рядового песка П1 активной минеральной добавкой (микрокремнезем МК-85) в смесях на турецком цементе с номинальным расходом 370 кг/м<sup>3</sup> обеспечивает прирост прочности бетона при сжатии на 30–40 %. При дальнейшем увеличении расхода «Линамикса ПК» и использовании микрокремнезема взамен части цемента (составы 5–6) водопотребность смесей также снижается за счет высоководоредуцирующего действия химического модификатора. При повышении дозировки «Линамикса ПК» и использовании обогащенного песка П2 в высокоподвижных перекачиваемых бетонных смесях на российском цементе (составы 8, 11) также отмечается снижение водопотребности и, как следствие, увеличение прочности бетона.

При использовании мелкого заполнителя с улучшенным зерновым составом (песок П3), оптимальном расходе микрокремнезема в количестве 10 % массы цемента и максимальной дозировке «Линамикса ПК» получены самоуплотняющиеся смеси, удовлетворяющие требованиям перекачиваемости (составы 9, 12). При этом благодаря совместному модифицирующему действию активной минеральной добавки и суперпластификатора «Линамикс ПК» в полной мере реализуется потенциал вяжущего, обеспечивающий высокую прочность бетона (табл. 4).



Физико-механические свойства бетонов с микрокремнеземом

Состав	Цементно-водное отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент трещиностойкости $K_{TR}$	Удельный расход цемента $K_{Ц}$ , кг/МПа
1	1,59	2310	3,96	34,1	0,116	10,9
2	1,43	2340	5,02	48,4	0,104	7,6
3	1,51	2375	5,28	51,6	0,102	7,1
4	1,72	2410	6,34	67,7	0,094	5,4
5	1,56	2390	6,07	57,9	0,105	5,4
6	1,79	2420	6,60	62,6	0,105	5,0
7	1,22	2315	4,31	37,6	0,115	8,0
8	1,39	2330	5,03	50,6	0,099	6,6
9	1,59	2325	5,11	54,9	0,093	6,6
10	1,45	2370	5,12	50,4	0,102	7,1
11	2,04	2415	6,68	71,2	0,094	5,6
12	2,13	2430	6,82	77,9	0,088	4,7

В бетонных смесях на российском цементе с кремнеземсодержащей добавкой керамзитовой пыли (составы 13–16) оптимальный водоредуцирующий эффект модификатора «Динамикс ПК» отмечен при дозировке 0,45 % массы вяжущего. Дальнейшее увеличение расхода суперпластификатора приводит к повышению водопотребности и заметному водоотделению смеси, что связано с размером и характером поверхности частиц тонкодисперсного материала, остеклованная структура которого имеет преимущественно отрицательный заряд. Основные физико-механические свойства бетонов с добавкой керамзитовой пыли представлены в табл. 5.

Таблица 5

Основные свойства бетонов с керамзитовой пылью

Состав	Цементноводное отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Удельный расход цемента $K_{Ц}$ , кг/МПа
13	1,49	2320	37,0	9,5
14	1,85	2385	51,6	6,9
15	2,04	2405	58,2	6,3
16	1,96	2395	54,4	6,7

Анализ прочностных характеристик бетонов на различных цементах свидетельствует о неоднозначном влиянии модифицирующих добавок на структуру затвердевшего композита. При повышении расхода суперпластификатора и снижении водопотребности смесей рост прочности бетона на сжатие опережает увеличение прочности на растяжение при изгибе. Отмечено снижение коэффициента трещиностойкости бетонов на турецком цементе на 10% (составы 2, 4), а бетонов на российском цементе — на 8% (составы 10, 11). Минимальная величина коэффициента трещиностойкости зафиксирована у самоуплотняющихся бетонов составов 9 и 12. На взгляд

авторов, это связано с тем, что увеличение доли теста вяжущего для обеспечения высокой растекаемости смесей и, следовательно, повышение концентрации цементного камня в структуре бетона при возникновении растягивающих напряжений приводит к более хрупкому разрушению.

Оценка основных характеристик бетонных смесей с различными минеральными наполнителями показывает, что смеси с керамзитовой пылью при оптимальной дозировке суперпластификатора «Линамикс ПК», обладая высокой связностью и перекачиваемостью, не обеспечивают бетону достижения высокой прочности. При введении микрокремнезема и модификатора «Линамикс ПК» в оптимальном количестве смеси на турецком цементе (составы 4, 6) и смеси на российском цементе (составы 11, 12) обладают стабильностью и нерасслаиваемостью, а бетоны на их основе достигают высокой прочности. Это происходит благодаря высокому разжижающему эффекту химического модификатора и протеканию вторичных реакций гидратации микрокремнезема и портландита с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, упрочняющих структуру бетона [14–16].

**Заключение.** Добавка полифункционального действия «Линамикс ПК» в количестве 0,55–1,0 % массы цемента является эффективным модификатором бетонных смесей, реологически совместимым с цементами различного вещественного состава. Для получения высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей, перекачиваемых бетононасосами, расход добавки должен определяться в зависимости от удельной поверхности, вещественного и зернового состава цемента, а также от расхода и гранулометрии мелкого заполнителя. Выполненные исследования позволяют рекомендовать для производства монолитных железобетонных конструкций эффективные составы высокоподвижных перекачиваемых бетонных смесей с минимальным удельным расходом цемента  $K_{ц}=4,7-5,6$ . Для бетонирования массивных монолитных конструкций с целью замедления тепловыделения при твердении и обеспечения трещиностойкости бетона рационально применение модифицированных бетонных смесей с суперпластификатором полифункционального действия «Линамикс ПК» и микрокремнеземом МК-85.

### Библиографический список

1. 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.
2. Combined effect of cement characteristics on the performance of superplasticizers. An investigation in real cement plants / K. Yamada, C-B. Kim, K. Ichitsubo, M. Ichikawa // Proceedings of 8-th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Sorrento, Italy. October 29-November 1 ACI SP-239. — 2006. — P. 159–174.
3. 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.
4. 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.
5. Низина, Т. А. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов / Т. А. Низина, А. В. Балбабин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 2 (35). — С. 148–153.

6. 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: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4340/>. (дата обращения: 15.04.2021).
7. Батраков, В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В. Г. Батраков // Строительные материалы. — 2006. — № 10. — С. 1–8.
8. 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: [http://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: 15.04.2021).
9. Касторных, Л. И. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах / Л. И. Касторных, В. П. Скиба, А. Е. Елсуфьев // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 3. — URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/>. (дата обращения: 15.04.2021).
10. Муртазаев, С.-А. Ю. Сравнительный анализ суперпластификаторов для монолитных бетонных смесей / С.-А. Ю. Муртазаев, М. С. Сайдумов, Т. С.-А. Муртазаева // Научные технологии и инновации : электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. — Белгород, 2019. — С. 313–319.
11. Черников, Р. О. Исследование пластифицирующей способности отечественных суперпластификаторов на различных цементах / Р. О. Черников, И. С. Макущенко // Сборник статей Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. — Белгород, 2015. — С. 390–394.
12. Коваль, И. В. Перспективы использования поликарбоксилатных добавок «Полипласт Северо-запад» в технологии бетонов / И. В. Коваль, А. Г. Григорьев // Технологии бетонов. — 2016. — № 11–12 (124–125). — С. 10–13.
13. Gypsum-cement-puzzolan binder with the use of superplasticizer Linamix "Type-2" / L. I. Chumadova, K. N. Gureev, A. A. Aznabaev, A. S. Kurochkin // Modern Science. — 2017. No. 4–1. — P. 6–9.
14. 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.
15. Smirnova, O. M. Compatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions / O. M. Smirnova // Magazine of Civil Engineering. — 2016. No. 6. — P. 12–22. [https://doi: 10.5862/MCE.66](https://doi.org/10.5862/MCE.66)
16. Касторных, Л. И. Влияние суперпластифицирующей добавки MasterPolyHeed на основные свойства тяжелого и мелкозернистого бетона / Л. И. Касторных, В. В. Хартанович, Д. Р. Шершень // Молодой исследователь Дона : [сайт]. — 2020. — № 4 (25). — С. 46–55. — URL: [http://mid-journal.ru/upload/iblock/fcf/9\\_1157-Kastornykh\\_46\\_55.pdf](http://mid-journal.ru/upload/iblock/fcf/9_1157-Kastornykh_46_55.pdf). (дата обращения: 15.04.2021).





*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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8968-2543>, [likas9@mail.ru](mailto:likas9@mail.ru)

**Канюк Никита Александрович**, магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [nikita.kaniuk@yandex.ru](mailto:nikita.kaniuk@yandex.ru)

**Осипчук Игорь Владимирович**, магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [mc\\_4ykar@mail.ru](mailto:mc_4ykar@mail.ru)

*About the Authors:*

**Kastornykh, Lyubov I.**, Associate Professor, Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), Cand.Sci., Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8968-2543>, [likas9@mail.ru](mailto:likas9@mail.ru)

**Kanyuk, Nikita A.**, Master's degree student, Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), [nikita.kaniuk@yandex.ru](mailto:nikita.kaniuk@yandex.ru)

**Osipchuk, Igor V.**, Master's degree student, Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), [mc\\_4ykar@mail.ru](mailto:mc_4ykar@mail.ru)