

## Технологические решения для организации бережливого производства на предприятиях сборного железобетона

*Л.И. Касторных, А.В. Каклюгин, В.Д. Черепанов*

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

**Аннотация:** Проведен поиск технологических решений для организации бережливого производства на предприятиях сборного железобетона. Рассмотрены варианты рационального использования отсевов камнедробления в качестве заполнителя и наполнителя для самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов. Определена оптимальная дозировка отсевов дробления известняка в составе мелкого заполнителя для приготовления самоуплотняющихся смесей. Установлено, что обогащение очень мелких песков крупными фракциями отсева дробления песчаника в оптимальном количестве уменьшает межзерновую пустотность и снижает водопотребность мелкозернистой смеси.

**Ключевые слова:** бережливое производство, отсевы камнедробления, оптимизация зернового состава заполнителя, самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны, суперпластификатор на основе эфиров полиарила и поликарбоната.

Для решения стратегических задач предприятий промышленности строительных материалов приоритетными являются технологические инновации: сырьё новых видов, современное высокопроизводительное оборудование, нанотехнологии, ресурсо- и энергосберегающие технологии, «зеленые» и безотходные технологии, технологии рециклинга строительных отходов и снижение негативного влияния на окружающую среду (Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 10 мая 2016 года № 868-р). Вышеперечисленные технологические решения в полной мере отвечают концепции бережливого производства [1], основные методы и инструменты которой изложены в ГОСТ Р 56407-2015.

Концепция бережливого производства (Lean production), как главное условие развития предприятия, зародилась в 50-е годы прошлого столетия в японской компании Toyota и получила широкое распространение по всему миру [2 - 4]. В условиях глобализации и экономического кризиса задача бережливого производства для предприятий настолько актуальна, что во многих странах для обобщения опыта и учета лучшей мировой практики

проводятся Lean-конференции [5,6]. В Советском Союзе развитием концепции бережливого производства на промышленных предприятиях занимались отделы научной организации труда. На передовых заводах разрабатывались и внедрялись технологии безотходного производства, ресурсо- и энергосберегающие технологии, направленные на снижение потерь и повышение качества продукции. В настоящее время для повышения эффективности предприятий требуется научное сопровождение – проведение фундаментальных, поисковых и прикладных исследований по актуальным направлениям в сфере бережливого производства. Одним из направлений этих исследований является проработка вариантов вовлечения в производство отходов собственного производства [7, 8].

На заводах сборного железобетона источниками образования отходов основного производства являются: транспортирование цемента, дробление крупного заполнителя, приготовление бетонной смеси, лабораторные испытания контрольных образцов бетона, сточные воды от мойки автотранспорта (рис. 1). При транспортировании цемента часть вяжущего осажается в циклонах. Цементную пыль после очистки циклонов целесообразно использовать в качестве минерального наполнителя для приготовления строительных растворов и бетонов невысокой прочности. Остатки бетонной смеси, образующиеся после мойки бетоносмесителей, бетонораздатчиков и миксеров, следует направлять в систему рециклинга для повторного использования заполнителей и воды затворения.

В процессе лабораторных испытаний контрольных образцов с целью оценки фактических значений показателей назначения бетона (прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и др.) методами разрушающего контроля образуется большой объем отходов [9]. После дополнительного дробления и фракционирования их целесообразно

---

использовать в качестве заполнителей по ГОСТ 32495-2013 для бетонов класса по прочности на сжатие В35 и ниже.

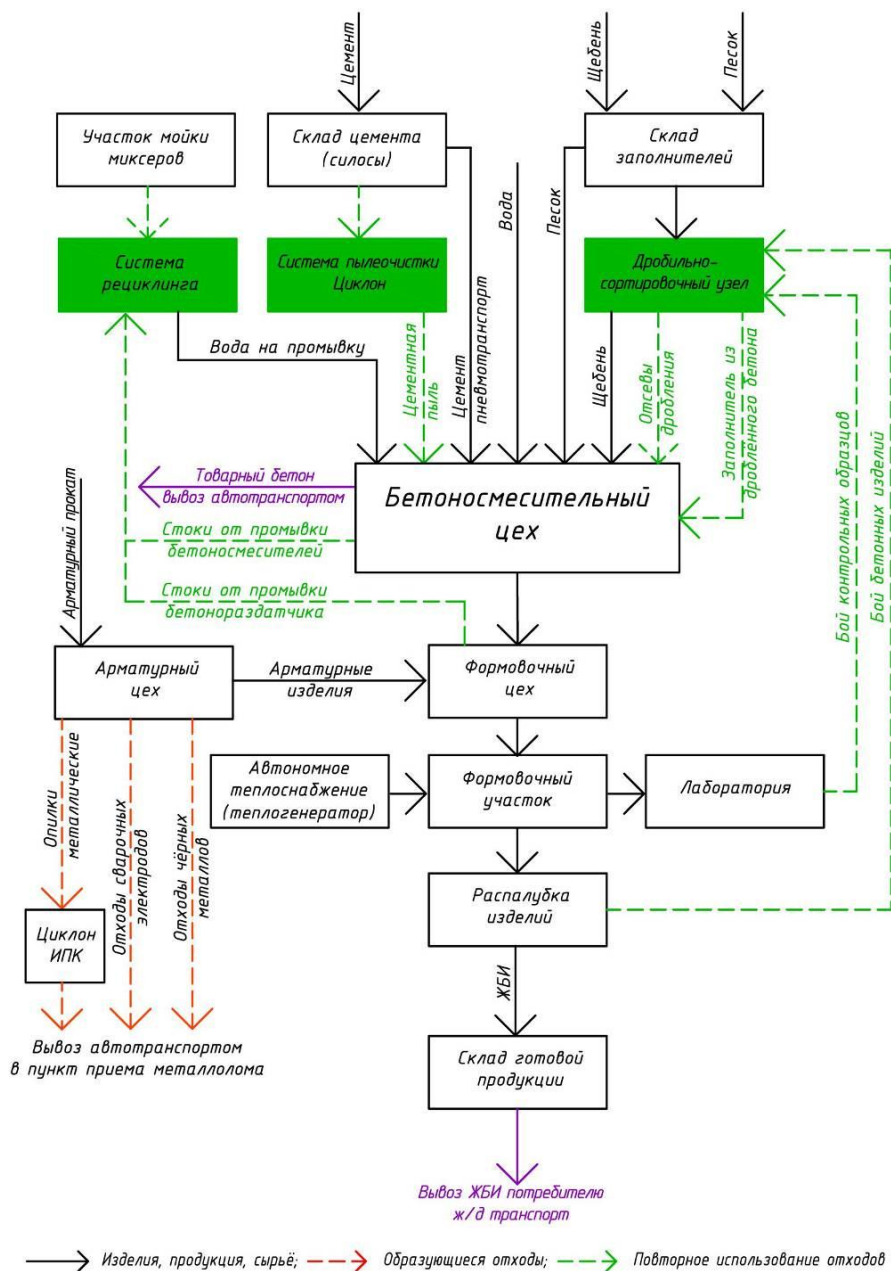


Рис. 1. – Схема образования и использования отходов на предприятии сборного железобетона

В Ростовском регионе крупный заполнитель на заводы сборного железобетона традиционно поступает в виде смеси зерен размерами от 5 до 20 мм. Доля фракции 5-10 мм в такой смеси невелика и в среднем составляет 15-20 %, что не отвечает требованиям ГОСТ 26633-2015 по содержанию

отдельных фракций крупного заполнителя в составе бетона. В этом случае крупные фракции щебня необходимо дробить для оптимизации его зернового состава. После дробления и разделения на фракции образуются отсевы, которые рационально использовать в качестве мелких заполнителей по ГОСТ 31424-2010 для приготовления тяжелых и мелкозернистых бетонов [10 - 12].

Цель настоящих исследований – поиск технологических решений для организации бережливого производства на предприятиях сборного железобетона. Рассмотрены варианты рационального использования отсевов камнедробления в качестве заполнителя и наполнителя для самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов. Предложения авторов настоящей статьи направлены на поиск путей увеличения общего объема утилизации производственных отходов, способствующих снижению техногенной нагрузки и повышению экологической безопасности [13, 14].

Для приготовления бетонных смесей в качестве мелких заполнителей использовались: песок природный кварцевый карьера «Цыганский» (далее П1), песок природный речной АО "Донтрансгидромеханизация" (далее П2), отсев дробления известняка ООО «Жирновский щебеночный завод» (далее О1), отсев дробления песчаника ООО «Донской камень» (далее О2). Для устранения негативного влияния пылевидных и глинистых частиц в исследованиях применялись промытые пески. Основные характеристики заполнителей представлены в таблице 1, а зерновой состав – в таблице 2.

Для самоуплотняющихся бетонных смесей выбор химических добавок, обеспечивающих требуемые характеристики смеси и показатели качества бетона, играет решающую роль [15 - 17]. Поэтому в настоящей работе использована новая перспективная добавка компания BASF – MasterPolyHeed 3545, изготовленная на основе эфиров полиарила и поликарбоксилата и относящаяся по классификации ГОСТ 24211-2008 к группе суперпластифицирующих и высоководоредуцирующих [18].

---

Таблица №1

Основные характеристики мелких заполнителей

Показатель, единица измерения	Песок (П1)	Песок (П2)	Отсев (О1)	Отсев (О2)
Нормативный документ	ГОСТ 8736-2014		ГОСТ 31424-2010	
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,65	2,65	2,65	2,66
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1355	1415	1420	1400
Модуль крупности	1,48	1,22	3,26	2,66
Группа песка	Очень мелкий	Очень мелкий	Повышенной крупности	Крупный
Пустотность, %	48,9	46,6	46,4	47,4
Марка по дробимости при сжатии в цилиндре	-	-	1000	1000

Таблица №2

Зерновой состав мелких заполнителей

Наименование заполнителя	Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах					Проход через сито с сеткой N 016, % по массе	Модуль крупности M <sub>к</sub>
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
Песок Цыганский (П1)	Частный	0,29	0,83	1,88	44,86	47,58	4,56	1,48
	Полный	0,29	1,12	3,00	47,86	95,44	100,0	
Песок ДонТГМ (П2)	Частный	0,22	0,65	1,34	28,93	56,75	12,11	1,22
	Полный	0,22	0,87	2,21	31,14	87,89	100,0	
Отсев дробления известняка (О1)	Частный	36,52	16,68	15,59	10,60	8,77	11,84	3,26
	Полный	36,52	53,20	68,79	79,39	88,16	100,0	
Отсев дробления песчаника (О2)	Частный	24,12	14,38	14,21	13,50	18,53	15,26	2,66
	Полный	24,12	38,50	52,71	66,21	84,74	100,0	

В качестве вяжущего для мелкозернистых бетонных смесей использован портландцемент класса СЕМІ 52,5N производства турецкого завода ADOGIM: прочность на сжатие в возрасте 28 сут. - 59,7 МПа; истинная плотность - 3,19 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность - 1010 кг/м<sup>3</sup>, нормальная густота цементного теста - 29,0 %, удельная поверхность - 4054 см<sup>2</sup>/г.

Удобоукладываемость мелкозернистых самоуплотняющихся смесей установлена по методике СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011. При определении

растекаемости смеси установлена реологическая характеристика – условная вязкость бетонной смеси  $T_{500}$ , как время достижения смесью расплыва диаметром 500 мм. Средняя плотность мелкозернистых самоуплотняющихся смесей определена по методике ГОСТ 10181-2014. Изготовление, хранение и испытание образцов-кубов мелкозернистого бетона с номинальным размером ребра 100 мм выполнено по методике ГОСТ 10180-2012.

На первом этапе работы исследованы основные свойства мелкозернистых самоуплотняющихся смесей и бетонов на их основе с отсевами дробления известняка. Бетонные смеси марки по удобоукладываемости СУ1 приготовлены с номинальным расходом цемента  $390 \text{ кг/м}^3$  при дозировке химической добавки 1,6 % массы цемента с заменой части природного песка П1 отсевом дробления известняка в интервале от 20 до 30 %. При этом доля пылевидной составляющей – каменной муки – в составе отсева изменялась от 9 до 13 % массы цемента. Показатели конструктивности и технологические свойства мелкозернистых самоуплотняющихся смесей с отсевом дробления известняка приведены в таблице 3, а физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов – в таблице 4.

Анализ выполненных экспериментальных исследований показал, что оптимальная дозировка отсевов дробления известняка в составе мелкого заполнителя – 20 % (состав 2И). Замена очень мелкого природного песка отсевом, содержащим в основном фракции от 0,63 до 5,0 мм и пылевидную часть в количестве 9 % массы цемента, снижает водопотребность бетонной смеси на 23 %, что приводит к увеличению прочности мелкозернистого бетона на 61 %. При повышении доли отсева в смеси заполнителей до 30 % увеличивается количество частиц с развитой обломочной и шероховатой поверхностью, что неизбежно повышает водопотребность смеси и снижает прочность бетона (состав 4И).

---

Таблица №3

## Характеристики мелкозернистых смесей с отсевом дробления известняка

Состав	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> смеси, кг					Диаметр расплыва, см	Условная вязкость, $T_{500}$ , с	Ц/В
	Цемент	Вода	Песок П1	Отсев О1	MasterPolyHeed 3545			
1И	380	342	1426	–	6,0	55,0	2	1,11
2И	397	264	1230	308	6,4	56,0	7	1,50
3И	388	303	1127	376	6,2	55,0	6	1,28
4И	385	321	1045	448	6,2	57,0	4	1,20

Таблица №4

## Основные свойства мелкозернистых бетонов с отсевом дробления известняка

Состав	Доля отсева в заполнителе, %	Содержание каменной муки в отсеве, %	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии бетона, МПа, в возрасте, сут.			Удельный расход цемента $K_{Ц}$
				после тепловой обработки		нормального твердения	
				1	28		
1И	-	-	2125	11,2	20,4	21,2	17,9
2И	20	9	2155	22,1	34,0	34,1	11,6
3И	25	11	2142	14,5	26,4	27,0	14,4
4И	30	13	2134	11,8	23,5	24,9	15,5

Существенную роль при формировании основных свойств мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов играет добавка нового поколения – суперпластификатор MasterPolyHeed 3545. Одновременно обладая высоководоредуцирующим и водоудерживающим эффектом, она снижает риск водоотделения и расслоения смесей, гарантируя достижение бетоном требуемых показателей качества. При использовании в мелкозернистой бетонной смеси каменной муки в оптимальном количестве (состав 2И) реализуется эффект соразжижения, т.е. повышения реологического воздействия суперпластификатора на смесь и получение сверхтекучей матрицы. Об эффективности состава 2И свидетельствует и показатель удельного расхода вяжущего на единицу прочности бетона  $K_{Ц}$ :

$$K_{Ц} = Ц/R_{28}, \quad (1)$$

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 установлено, что для самоуплотняющихся мелкозернистых смесей при использовании очень мелких песков, требующих повышенного расхода воды, получение бетонов высокой прочности невозможно. Поэтому на втором этапе работы для обогащения природного песка с применением отсева дробления песчаника использовались только крупные его фракции: 0,63-1,25; 1,25-2,5; 2,5-5,0 мм. Отсев вводился взамен части природного песка в количестве 20 и 30 %. Для оценки влияния зернового состава заполнителя на основные свойства самоуплотняющихся смесей и бетонов на их основе были приготовлены смеси марки по удобоукладываемости СУ1. Характеристики смесей и основные свойства мелкозернистых бетонов с отсевом дробления песчаника представлены в таблицах 5 и 6 соответственно.

Таблица №5

Характеристики мелкозернистых смесей с отсевом дробления песчаника

Состав	Вид песка	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> смеси, кг					Диаметр расплыва, см	Условная вязкость, T <sub>500</sub> , с	Ц/В
		Цемент	Вода	Песок	Отсев О2	MasterPoly Heed 3545			
1П	П1	501	282	1404	–	8,0	55,0	8	1,78
2П	П1	510	268	1159	290	8,2	55,0	6	1,90
3П	П1	519	265	1015	438	8,3	69,0	12	1,96
4П	П2	515	288	1171	293	8,2	53,0	-	1,79
5П	П2	512	280	1016	436	8,2	54,0	-	1,83

Таблица №6

Основные свойства мелкозернистых бетонов с отсевом дробления песчаника

Состав	Доля отсева в заполнителе, %	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии бетона нормального твердения, МПа, в возрасте, сут.			Удельный расход цемента K <sub>Ц</sub>
			1	7	28	
1П	–	2180	8,6	18,2	39,1	12,8
2П	20	2220	10,8	20,0	41,7	12,2
3П	30	2244	13,4	21,8	44,8	11,6
4П	20	2176	9,4	18,8	39,5	13,0
5П	30	2192	10,1	19,4	40,2	12,7



В процессе исследований установлено, что использование речного песка ДонТГМ для приготовления самоуплотняющихся мелкозернистых смесей неэффективно, т.к. требуемая растекаемость смеси не достигается даже при высоком расходе воды (составы 4П, 5П).

При замене 20 % песка карьера «Цыганский» крупными фракциями отсева (состав 2П) водопотребность смеси снижается на 5 %, а прочность бетона при сжатии увеличивается на 6 %. Увеличение доли отсева в составе заполнителя до 30 % (состав 3П) снижает водопотребность смеси на 6 %, при этом растекаемость смеси возрастает до 69 см, а прочность при сжатии увеличивается на 15 %. Это свидетельствует о том, что обогащение очень мелких песков крупными фракциями отсева камнедробления в оптимальном количестве уменьшает межзерновую пустотность и снижает водопотребность бетонной смеси, обеспечивая при этом её высокую текучесть.

Полученные результаты подтверждают вывод о том, что оптимальное содержание крупных зерен отсева в структуре самоуплотняющегося мелкозернистого бетона повышает его прочность [11, 13].

Выполненными исследованиями показана возможность достижения технического эффекта и реализации концепции бережливого производства на предприятии сборного железобетона за счет рационального использования отсевов камнедробления в производстве самоуплотняющегося мелкозернистого бетона. При изменении качества используемых природных песков и отсева дробления заводским лабораториям необходимо корректировать составы бетонных смесей. Характер набора прочности мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов при повышенной температуре свидетельствует, что в заводских условиях для формирования мелкопористой структуры бетона потребуется использование «мягких» режимов тепловой обработки [19, 20].

Для действующих предприятий техническая реализуемость и экономическая целесообразность внедрения рассмотренных решений должна подтверждаться технико-экономическими расчетами и их анализом [8].

### Литература

1. Вялов А.В. Бережливое производство: учебное пособие. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2014. 100 с.
2. Ефимов В.В. Основы бережливого производства: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 160 с.
3. Наугольнова И.А., Бажуткина Л.П. Система индикаторов оценки эффективности развития бережливого производства на предприятии // Наука и бизнес: пути развития. 2015. №2 (44). С. 108-114.
4. Фомичев С.К., Скрябина Н.И., Уразлина О.Ю. Бережливое управление: управление потоками создания ценности // Методы менеджмента качества. 2004. №7. С. 15-21.
5. Moujib A. Lean project management. Paper presented at PMI® Global Congress 2007. EMEA, Budapest, Hungary. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2007.
6. Андреев В.А. История возникновения и актуальность концепции Lean Production // Новая наука: Стратегии и векторы развития. 2016. № 118-2. С. 143-146.
7. Касторных Л.И., Трищенко И.В., Гикало М. А. Эффективность системы рециклинга на заводах товарного бетона и сборного железобетона // Строительные материалы. 2016. № 3. С. 36-39.
8. Трищенко И.В., Касторных Л.И., Фоминых Ю.С., Гикало М.А. Оценка эффективности инвестиционного проекта реконструкции предприятий крупнопанельного домостроения // Жилищное строительство. 2018. № 10. С. 39-43.

9. Касторных Л.И., Трищенко И.В., Гикало М.А. Контроль и оценка прочности бетона на заводах сборного и товарного бетона // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2320/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2320/).

10. Лазуткин А.В., Эйрих В.И., Жуков В.П. Использование отсеков дробления важный фактор экономического роста предприятий нерудной промышленности // Строительные материалы. 2003. №11. С. 6-8.

11. Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г. Применение отсеков дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7. С. 26-31.

12. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Журтов А.В., Семенов Р.Н., Желоков Т.Х., Карданов А.А., Ногеров М.Б. Самоуплотняющиеся мелкозернистые фибробетоны с применением отходов камнедробления // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2017/4018/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2017/4018/).

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

14. Okamura H., Ozava K. Mix design for self-compacting concrete // Concrete Library of the JSCE. 1995. № 25. pp. 107-120.

15. Мозгалев К.М., Головнев С.Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011. № 4. С. 70-74.

16. Рауткин А.В., Касторных Л.И. Выбор химических модификаторов для обеспечения растекаемости самоуплотняющихся бетонных смесей // Молодой исследователь Дона. 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).

17. Касторных Л.И., Скиба В.П., Елсуфьев А.Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах //



Инженерный вестник Дона. 2017. №3. URL:  
ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/.

18. Добавки в бетон. Технический каталог. BASF. URL: master-builders-solutions.basf.ru/ru-cis/products/masterpolyheed.

19. Смирнова О.М. Зависимость прочности бетона с добавками на поликарбоксилатной основе от свойств портландцемента после низкотемпературной тепловлажностной обработки // Известия вузов. Строительство. 2012. №9. С. 20-27.

20. Петрова Т.М., Смирнова О.М. Пути получения бетона для сборных железобетонных конструкций с использованием низкотемпературной тепловлажностной обработки // Цемент и его применение. 2014. № 1-2. С. 188-190.

### References

1. Vyalov A.V. Berezhlivoe proizvodstvo: uchebnoe posobie. [Lean manufacturing: a textbook]. Komsomol'sk-na-Amure: FGBOU VPO «KnAGTU», 2014. 100 p.

2. Efimov V.V. Osnovy berezhlivogo proizvodstva: uchebnoe posobie. [Fundamentals of lean manufacturing: a textbook]. Ul'yanovsk: UIGTU, 2011. 160 p.

3. Naugol'nova I.A., Bazhutkina L.P. Nauka i biznes: puti razvitiya. 2015. №2 (44). pp. 108-114.

4. Fomichev S.K., Skryabina N.I., Urazlina O.Yu. Metody menedzhmenta kachestva. 2004. №7. pp. 15-21.

5. Moujib A. Lean project management. Paper presented at PMI® Global Congress 2007. EMEA, Budapest, Hungary. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2007.

6. Andreev V.A. Novaya nauka: Strategii i vektory razvitiya. 2016. №118-2. pp. 143-146.



7. Kastornykh L.I., Trischenko I.V., Gikalo M.A. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2016. №3. pp. 36-39.
  8. Trishchenko I.V., Kastornykh L.I., Fominyh Yu.S., Gikalo M.A. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2018. №10. pp. 39-43.
  9. Kastornykh L.I., Trischenko I.V., Gikalo M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2013/2320](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2013/2320).
  10. Lazutkin A.V., Ejrih V.I., Zhukov V.P. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2003. №11. pp. 6-8.
  11. Morozov N.M., Avksent'ev V.I., Borovskih I.V., Hozin V.G. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2013. №7. pp. 26-31.
  12. Hezhev T.A., Kazharov A.R., Zhurtov A.V., Semenov R.N., Zhelokov T.H., Kardanov A.A., Nogerov M.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2017/4018/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2017/4018/).
  13. Kastornykh L.I., Taroyan A.G., Usepyan L.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017. №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4340/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4340/).
  14. Okamura H., Ozava K. Mix design for self-compacting concrete // Concrete Library of the JSCE. 1995. №25. pp. 107-120.
  15. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN. 2011. №4. pp. 70-74.
  16. Rautkin A.V., Kastornykh L.I. Molodoj issledovatel' Dona, 2017. №4(7). pp. 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).
  17. Kastornykh L.I., Skiba V.P., Elsufov A.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017. №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/).
  18. Additives in concrete. Technical catalogue. BASF. URL: [master-builders-solutions.basf.ru/ru-cis/products/masterpolyheed](http://master-builders-solutions.basf.ru/ru-cis/products/masterpolyheed).
  19. Smirnova O.M. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2012. №9. pp. 20-27.
  20. Petrova T.M., Smirnova O.M. Cement i ego primenenie. 2014. №1-2. pp. 188-190.
-