

Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1<sup>st</sup> Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

УДК 691.587

## САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

А.С. Мицкевич, Ю.Ю. Курятников, Т.Б. Новиченкова, Е.В. Смирнова

© Мицкевич А.С., Курятников Ю.Ю.,  
Новиченкова Т.Б., Смирнова Е.В., 2024

***Аннотация.** В статье представлены результаты разработки самоуплотняющихся бетонов (СУБ) для изготовления малых архитектурных форм (МАФ). При организации производства МАФ применение традиционных бетонных смесей с крупным заполнителем затруднено. В связи с этим обоснована целесообразность применения в заводских условиях безвибрационной технологии из высокоподвижных самоуплотняющихся смесей и использования в качестве минерального сырья техногенных отходов – мелкого и крупного заполнителя из бетонного лома для снижения себестоимости СУБ.*

***Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон, бетонный лом, техногенные отходы, молотый доменный шлак, модификаторы.*

### **Введение**

В последнее время в строительной отрасли большое внимание уделяется энерго- и ресурсоэффективным материалам. В современном строительстве зданий и сооружений все шире применяются высокотехнологичные бетонные смеси, способные самостоятельно, без какого-либо внешнего механического воздействия, заполнять опалубку, в том числе густоармированную либо со сложной геометрической формой, сохраняя при этом связность и однородность [1].

Использование самоуплотняющегося бетона (СУБ) обеспечивает экономию трудозатрат, не требует специального оборудования для уплотнения смеси, ускоряет производство работ [2]. Самоуплотняющийся бетон – высокотехнологичный материал, свойства которого в значительно

большой степени, чем характеристики обычного бетона, связаны со свойствами и точностью дозировки материалов, применяемых для его изготовления [3].

Несмотря на имеющиеся разработки отечественных ученых, комплексной зависимости *состав – структура – свойства* для СУБ на настоящее время еще не разработано. Структурные параметры бетона, такие как объемная концентрация цементного теста, истинное водоцементное отношение и водопотребность наполнителей, заполнителей и минеральных добавок, являются универсальными величинами для оценки и регулирования свойств и структуры бетона в процессе производства [4]. Установка таких зависимостей – актуальное научное направление в теории проектирования СУБ. По причине высокого расхода цемента, минеральных добавок и значительного объемного содержания растворной составляющей в смеси СУБ обладают пониженным модулем упругости и повышенными деформациями усадки по сравнению с бетонами из жестких смесей и смесей с подвижностью П1–П4 [5]. Кроме того, высокая стоимость компонентов смеси и их большой расход приводят к значительному удорожанию 1 м<sup>3</sup> смеси низких и средних классов по прочности.

Высокая стоимость СУБ обусловлена существенным расходом портландцемента, поэтому многие научные работы посвящены поиску методов сокращения расхода вяжущего без потери свойств СУБ. При проектировании СУБ важно ориентироваться на использование местных сырьевых компонентов в качестве крупных и мелких заполнителей, а также применять активные и инертные минеральные добавки с целью снижения удельной стоимости кубометра бетона. Для снижения стоимости компонентов СУБ целесообразно использовать минеральные добавки из отходов промышленности. Основными активными минеральными добавками техногенного происхождения являются зола-уноса ТЭС и молотый доменный гранулированный шлак [5].

Проблема утилизации отходов промышленности и их применение в качестве сырья для производства строительных материалов актуальна как за рубежом, так и в нашей стране. Это в первую очередь связано с улучшением экологической ситуации и сокращением площадей, необходимых для их хранения. В современном мире использование вторичных заполнителей в качестве альтернативы природным стало распространенной практикой, поскольку это позволяет экономить природные ресурсы, сокращает потребление энергии и уменьшает количество отходов, отправляемых на полигоны [6, 7].

Доменный гранулированный шлак всегда рассматривался в качестве одной из наиболее перспективных минеральных добавок, способных заменить часть клинкера в цементе без значительного снижения его свойств. За счет такой замены в различные периоды развития строительной индустрии решались разнообразные задачи, связанные со

снижением дефицита цемента и себестоимости его производства, повышением стойкости к сульфатной коррозии и эффективности тепловой обработки бетона, уменьшением ресурсоемкости производства и выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу [8]. Введение шлака в состав СУБ может понижать его морозостойкость и прочность, особенно в раннем возрасте, но при этом шлак повышает коррозионную стойкость, а также улучшает другие характеристики бетона. Снижение ранней прочности бетона при частичной замене портландцемента молотым доменным шлаком может быть компенсировано щелочными активаторами твердения, например:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ .

Наряду с минеральными добавками неотъемлемым компонентом СУБ является высокоэффективный поликарбоксилатный суперпластификатор. Эффективные суперпластификаторы на основе модифицированных поликарбоксилатных эфиров снижают предельное напряжение сдвига смесей, существенно повышая их текучесть, в то время как тонкодисперсные минеральные добавки (и/или модификаторы вязкости) повышают вязкость растворной части для предотвращения расслоения бетонной смеси [9]. В то же время разжижающая способность суперпластификаторов весьма чувствительна к особенностям химико-минералогического состава цемента, а также минеральных добавок, что в современном бетоноведении трактуется как «совместимость добавок». Так, поликарбоксилатные суперпластификаторы, как правило, плохо совместимы с высокоалюминатными цементами; их эффективность снижается в условиях повышенного содержания щелочей, низкой температуры окружающей среды [10].

На основании анализа литературных источников установлено, что оптимальное сочетание эффективных суперпластификаторов и высокодисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного происхождения (микрокремнезема, кварцевой муки, молотого доменного шлака) позволяет управлять реологическими свойствами бетонных смесей, модифицировать структуру и свойства самоуплотняющихся бетонов [1, 3].

Стоимость суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров, а также микрокремнезема остается достаточно высокой. Это обуславливает необходимость поиска решений по разработке составов полифункциональных модификаторов на основе различных отходов промышленности для получения бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества [5].

Для снижения стоимости СУБ в качестве заполнителей используют вторичный щебень из бетонного лома. Однако при этом возникает проблема повышения водопотребности бетонной смеси и, как следствие, снижения прочности бетона. Ее решение возможно путем активации вторичного щебня, но это направление требует дальнейших исследований [7–10].

## Материалы и методы

Целью данной научно-исследовательской работы является получение СУБ для изготовления малых архитектурных форм (МАФ) с маркой по удобоукладываемости РК1 без признаков расслоения, классов по прочности В25–В30, а также снижение себестоимости СУБ за счет применения вторичного щебня и отечественного суперпластификатора.

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, в качестве мелкого и крупного заполнителя – соответственно кварцевый песок с  $M_k = 2,1$  и вторичный щебень фракции 5–10 мм. Как минеральная добавка применялся тонкомолотый гранулированный доменный шлак с удельной поверхностью  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Натрий сернокислый безводный использовался как активатор твердения, а в качестве суперпластификатора применялся «Полипласт ПК тип S» (15 % сухого вещества) на основе поликарбоксилатных эфиров.

Для изготовления образцов все сухие компоненты смеси дозировались согласно рецепту и перемешивались до получения однородной смеси. Затем добавлялась вода до получения требуемой удобоукладываемости РК1, после чего бетонную смесь заливали в формы с размерами ячеек 10 x 10 x 10 см и ставили в камеру нормального твердения. Образцы испытывали через 7 сут.

## Результаты исследования

По результатам планированного эксперимента получены математические модели зависимостей водоцементного отношения, средней плотности, предела прочности на сжатие от содержания доменного шлака и суперпластификатора. Результаты представлены в таблице и на рис. 1–4.

Матрица планирования и физико-механические свойства СУБ на седьмые сутки твердения в нормальных условиях

№	Уровни факторов		Значения факторов, %		Полученные результаты		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Молотый шлак	Полипласт ПК тип S (концентрация 15 %)	Водоцементное отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа
1	–1	–1	20	1	0,57	2,20	28,5
2	+1	–1	30	1	0,67	2,19	26,5
3	–1	+1	20	2	0,49	2,25	35,3
4	+1	+1	30	2	0,57	2,23	29,7
5	0	0	25	1,5	0,56	2,21	29,5
6	+1	0	30	1,5	0,61	2,20	27,9
7	–1	0	20	1,5	0,62	2,21	33,4
8	0	+1	25	2	0,57	2,24	31,8
9	0	–1	25	1	0,62	2,20	27,6



Рис. 1. Зависимость предела прочности СУБ на сжатие от содержания суперпластификатора «Полипласт ПК тип S»



Рис. 2. Зависимость предела прочности СУБ на сжатие от содержания молотого шлака

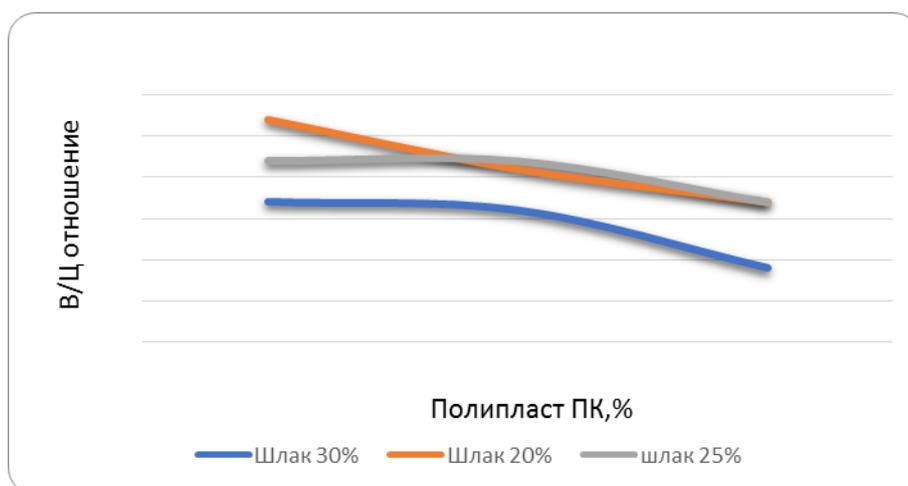


Рис. 3. Зависимость водоцементного (В/Ц) отношения СУБ от содержания суперпластификатора «Полипласт ПК тип S»

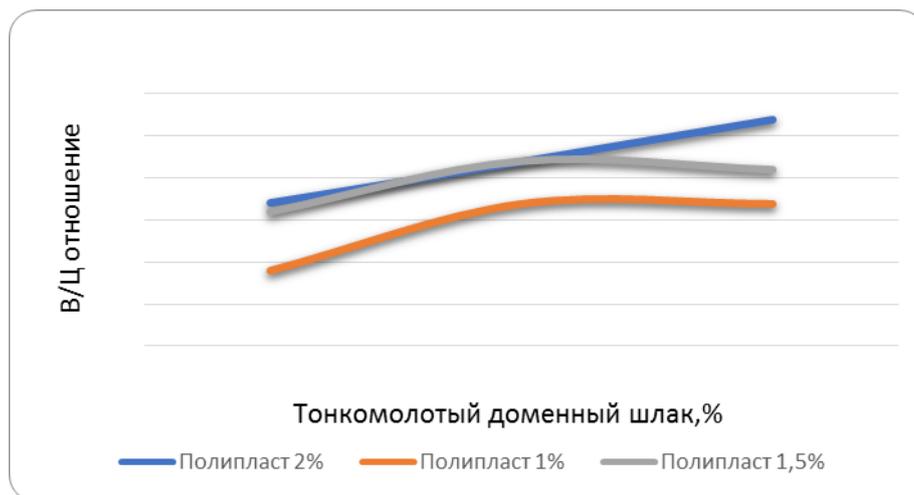


Рис. 4. Зависимость В/Ц-отношения СУБ от содержания молотого шлака

### Обсуждение результатов

Увеличение содержания суперпластификатора ведет к снижению В/Ц отношения и увеличению прочности на сжатие в возрасте 7 сут. При варьировании содержания пластификатора от 1 до 2 % и содержания шлака 20 % рост прочности составляет 27,8 %; при содержании шлака 25 и 30 % рост прочности составляет 22,3 и 10,8 % соответственно, т.е. при увеличении количества шлака в смеси рост прочности уменьшается. Оптимальное количество «Полипласт ПК тип S» (с содержанием 15 % сухого вещества) составляет 1,5–2 % от массы цемента. Цена добавки в 2–2,5 раза ниже аналогов.

Молотый доменный шлак является наполнителем СУБ, регулирует гранулометрический состав зерновой части и реологические свойства смеси, снижает водоотделение смеси, повышает коррозионную стойкость, вводится вместо части цемента, что дает экономический эффект. Увеличение содержания молотого доменного шлака ведет к повышению В/Ц отношения и уменьшению прочности на сжатие в возрасте 7 сут. Введение шлака в количестве менее 20 % экономически нецелесообразно и не дает заметного снижения водоотделения. При варьировании шлака от 20 до 30 % прочность на сжатие уменьшается от 7 до 16 %. Компенсировать уменьшение прочности при введении шлака возможно увеличением дозировки суперпластификатора «Полипласт ПК тип S».

Оптимальным составом при проектировании СУБ класса по прочности В25 можно считать 30 % шлака и 1,5 % «Полипласт ПК тип S». Прочность на седьмые сутки 27,9 МПа составляет 87,2 % от проектной. При проектировании СУБ класса по прочности В30 оптимальным составом является 20 % шлака и 1,5 % «Полипласт ПК тип S» – на седьмые сутки его прочность составляет 33,4 МПа (86,9 % от проектной).

## **Заключение**

Разработанные СУБ можно использовать для изготовления МАФ: цветочниц, урн, скамей, вазонов, которые служат украшением парка, сада или придомовой территории. При организации производства МАФ применение традиционных бетонных смесей с крупным заполнителем затруднительно из-за небольших размеров, тонких стенок и сложной геометрической формы таких изделий. Поэтому в заводских условиях для изготовления МАФ целесообразно применять безвибрационную технологию из высокоподвижных самоуплотняющихся смесей, а в качестве минерального сырья использовать техногенные отходы (мелкий и крупный заполнитель из дробленого бетона) для снижения себестоимости.

## **Библиографический список**

1. Иванова Т.А., Колесникова Л.Г. Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. С. 7–10.
2. Шевченко В.А., Шатрова С.А. Исследование возможности получения заполнителя для бетонов из бетонного лома // Эпоха науки. 2017. № 9. С. 2–6.
3. Повышение эффективности бетонов с использованием рециклингового заполнителя / О.А. Ларсен, Н.С. Дмитриев, В.В. Наруть, В.А. Швецова // Техника и технология силикатов. 2021. Т. 26. № 2. С. 46–52.
4. Наруть В.В. Разработка составов самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома с использованием структурных характеристик / О.А. Ларсен, С.В. Самченко, О.В. Александрова, Б.И. Булгаков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 4. С. 4–6.
5. Наруть В.В., Ларсен О.А. Оптимизация состава самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома промышленных зданий // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2020. № 3 (1027). С. 56–59
6. Физико-механические особенности материалов на основе бетонного лома / Д.С. Денисевич, А.В. Димакова, А.В. Шнайдер, Е.Е. Ибе // Вестник Евразийской науки. 2020. № 3. С. 4–6.
7. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей второго типа / Н.М. Тольпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 27–32.
8. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома / Р.В. Лесовик, А.А.А. Ахмед, С.К.Ш. Аль Мамури, Т.С. Гунченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 7. С. 1–3.

9. Магсумов А.Н. Шарипьянов Н.М. Использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя для производства бетонных смесей // Символ науки. 2018. № 6. С. 3–4.

10. Бедов А.И. Ткач Е.В., Пахратдинов А.А. Вопросы утилизации отходов бетонного лома для получения крупного заполнителя в производстве железобетонных изгибаемых элементов // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 91–93.

## SELF-COMPACTING CONCRETE BASED ON MAN-MADE WASTE

**A.S. Mitskevich, Yu.Yu. Kuryatnikov, T.B. Novichenkova, E.V. Smirnova**

***Abstract.** This article presents the results of the development of self-compacting concrete (SUB) for the manufacture of small architectural forms (MAF). When organizing the production of IAF, due to the small size, thin walls and complex geometric shape of the products, the use of traditional concrete mixes with a large filler is difficult. Therefore, it is advisable to use vibration-free technology from highly mobile self-compacting mixtures in factory conditions for the manufacture of MAF, and to use man-made waste as mineral raw materials - small and large aggregates from concrete scrap to reduce cost.*

***Keywords:** self-compacting concrete, concrete scrap, man-made waste, ground blast furnace slag, modifiers.*

Об авторах:

МИЦКЕВИЧ Анастасия Сергеевна – студентка кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: anastasiamickevic85@gmail.com

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: yuriy-@yandex.ru

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

СМИРНОВА Елена Вячеславовна – специалист 1-й категории по учебно-методической работе кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: elena020269@yandex.ru

About the authors:

MITSKEVICH Anastasia Sergeevna – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anastasiamickevic85@gmail.com

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1<sup>st</sup> Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

**УДК 691.1**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Т.Б. Новиченкова, К.С. Петропавловский, В.Б. Петропавловская**

© Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С.,  
Петропавловская В.Б., 2024

***Аннотация.** Статья посвящена изучению физико-механических свойств материала, полученного на основе торфа и поливинилацетата. Показано, что при различных концентрациях раствора поливинилацетата получается материал прочностью порядка 6 МПа.*

***Ключевые слова:** торф, поливинилацетат, прочность, экологичные строительные материалы.*

Заторфованность на территории Российской Федерации достигает 14 %. Тверская область располагает самыми богатыми запасами торфа в Центральном экономическом районе России. По количеству разведанных месторождений торфа регион занимает первое место в Центральном федеральном округе.

Торфяные ресурсы области сосредоточены на 2 834 месторождениях, из которых 980 месторождений, площадью более 10 Га, имеют балансовые запасы торфа 661 859 тыс. т. Месторождения торфа отмечены во всех