

УДК 666.91

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 61.31; 67.15

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия (технические науки)

EDN AEOTIY

DOI 10.62980/2076-0655-2026-60-67

КАПИЛЛЯРНОЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА И СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОВШЕВОГО ШЛАКА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Мошковский Д.С.¹, Турушева Е.В.², Мошковская С.В.³, Лотарев В.В.⁴, Самченко С.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

² ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

³ Подкомитет по техническому регулированию НО «Союзцемент»

⁴ ООО «Две Столицы»

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время широко используются техногенные продукты в производстве строительных материалов. Особую актуальность приобретает проблема утилизации шлаков черной металлургии, объемы которых возрастают в связи с интенсификацией производства. Современные процессы внепечной обработки стали в агрегатах «печь-ковш» приводят к образованию сталеплавильных ковшевых шлаков (СКШ), отличающихся по химическому и минералогическому составу от шлаков, которые традиционно используются в производстве комплексных вяжущих. Повышенное содержание высокоосновных алюминатов кальция открывает перспективы их использования в качестве функционального компонента в композиционных вяжущих системах, в частности, как потенциальной альтернативы дорогостоящему глиноземистому цементу (ГЦ). Целью исследования являлся сравнительный анализ влияния состава композиционного вяжущего (на основе ГЦ и СКШ) и комплекса функциональных добавок на процесс структурообразования: пористость и коэффициент капиллярного водопоглощения (ККВП) цементного камня.

Материалы и методы. В работе использовались: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Серебрянский цементный завод» (ПЦ); глиноземистый цемент ГЦ-50 производства АО «Подольск-Цемент» (далее ГЦ-50); сталеплавильный ковшевой шлак (СКШ) производства АО «Выксунский металлургический завод»; гипс марки Г-5 производства ООО «Казанский гипсовый завод»; функциональные добавки: гиперпластификатор на основе поликарбонатов (ГП), редисперсионный полимерный порошок на винилацетатной основе; эфир целлюлозы (ЭЦ). СКШ был предварительно измельчен в шаровой лабораторной мельнице до удельной поверхности по Блейну 500 м²/кг. Определение капиллярного водопоглощения осуществлялось в соответствии с требованиями и методикой ГОСТ Р 58277–2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний». Определение пористости растворных образцов проводилось методом гидростатического взвешивания.

Результаты исследования. Исследована возможность замены глиноземистого цемента техногенным продуктом – сталеплавильным ковшевым шлаком (далее СКШ) – в составе композиционных вяжущих для самонивелирующихся безусадочных сухих строительных смесей сегмента наливных полов. Установлено, что оптимальный состав сухой строительной смеси на основе СКШ с комплексом функциональных добавок для наливных полов, содержащий: 0,3 мас.% гиперпластификатора, 1,0 мас.% редисперсионного полимерного порошка, 0,05 мас.% эфира целлюлозы, демонстрирует минимальное и стабильное во времени капиллярное водопоглощение (0,01 кг/(м²·с^{0,5})), сопоставимое с контрольным составом на глиноземистом цементе. Синергетическое действие функциональных добавок обеспечивает уплотнение структуры: общая пористость снижается с 12,5% до 8,4%, открытая – с 9,8% до 3,8%.

Заключение. Результаты подтверждают перспективность использования СКШ в качестве эффективного алюминатного компонента для создания гидроизоляционных стяжек, критически важных для долговечности полимерных покрытий полов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталеплавильный ковшевой шлак, глиноземистый цемент, композиционное вяжущее, капиллярное водопоглощение, пористость, сухие строительные смеси, наливные полы, функциональные добавки

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мошковский Д.С., Турушева Е.В., Мошковская С.В., Лотарев В.В., Самченко С.В. Капиллярное водопоглощение композиционных вяжущих на основе глиноземистого цемента и сталеплавильного ковшевого шлака: сравнительный анализ // Техника и технология силикатов. – 2026. – Т. 33, № 1. – С. 60-67.

<https://doi.org/10.62980/2076-0655-2026-60-67> . EDN: AEOTIY

Поступила в редакцию: 21.01.2026 г

Одобрена к публикации: 22.02. 2026 г.

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN AEOTIY

DOI 10.62980/2076-0655-2026-60-67

CAPILLARY WATER ABSORPTION OF COMPOSITE BINDERS BASED ON ALUMINOUS CEMENT AND STEELMAKING LADLE SLAG: A COMPARATIVE ANALYSIS

Moshkovskij D.S.¹, Turusheva E.V.², Moshkovskaya S.V.³, Lotarev V.V.⁴, Samchenko S.V.¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering

² Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

³ Subcommittee on Technical Regulation NPO «Soyuzcement»

⁴ LLC «Dve Stolitsy»

ABSTRACT

Introduction. Currently, industrial waste is widely used in the production of building materials. The problem of recycling ferrous metallurgy slag is becoming particularly relevant, as its volumes are increasing due to intensified production. Modern processes of out-of-furnace steel treatment in «furnace-ladle» units lead to the formation of steel ladle slags (SLS), which differ in chemical and mineralogical composition from the slags traditionally used in the production of complex binders. The increased content of highly basic calcium aluminates opens prospects for their use as a functional component in composite binder systems, as a potential alternative to expensive aluminous cement (AC). The purpose of the study was a comparative analysis of the influence of the composition of the composite binder (AC and SLS) and a complex of functional additives on the process of structure formation: porosity and capillary water absorption coefficient (CWA) of cement stone.

Materials and methods. The following materials were used in the work: Portland cement CEM I 42.5N produced by Serebryansky Cement Plant LLC (PC); aluminous cement GC-50 produced by Podolsk-Cement JSC (GC-50); steelmaking ladle slag (SLS) produced by JSC Vyksunsky Metallurgical Plant; gypsum grade G-5 produced by LLC Kazan Gypsum Plant (G-5); functional additives: polycarboxylate-based hyperplasticizer produced by EuroChem-1 FD JSC (HP), vinyl acetate-based redispersible polymer powder (RPP), cellulose ether (CE). The SLS was pre-ground in a ball mill to a specific surface area of 500 m²/kg according to Blaine. Capillary water absorption was determined in accordance with the requirements and methodology of GOST R 58277–2018 «Dry building mixes based cement binders. Test methods». The porosity of the mortar samples was determined by hydrostatic weighing.

Researches results. The possibility of replacing aluminous cement with industrial by-product – steel ladle slag (hereinafter referred to as SLS) – as part of composite binders for self-levelling, non-shrinking dry building mixes for self-levelling floors has been investigated. It has been established that the optimal composition of dry building mixes based on SLS with a complex of functional additives for self-levelling floors, containing: 0.3 wt.% of hyperplasticiser, 1.0 wt.% of redispersible polymer powder, and 0.05 wt.% of cellulose ether, demonstrates minimal and stable capillary water absorption over time (0.01 kg/(m²·s^{0.5})), comparable to the control mixture based on aluminous cement. The synergistic effect of functional additives ensures structural compaction: total porosity is reduced from 12.5% to 8.4% and opened porosity from 9.8% to 3.8%.

Conclusions. The results confirm the promise of using SLS as an effective aluminate component for creating waterproofing screeds, which are critical for the durability of polymer floor coverings.

KEY WORDS: steelmaking ladle slag, aluminous cement, composite binders, capillary water absorption, porosity, dry building mixes, self-levelling floors, functional additives

FOR CITATION: Moshkovskij D.S., Turusheva E.V., Moshkovskaya S.V., Lotarev V.V., Samchenko S.V. Capillary water absorption of composite binders based on aluminous cement and steelmaking ladle slag: a comparative analysis // Engineering and Technology of Silicates. – 2026. Vol. 33, No-1. – Pp. 60 – 67. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2026-60-67> . EDN: AEOTIY

Received by the editors: January 21, 2026

Approved for publication: February 22, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Современная строительная отрасль характеризуется повышенным вниманием к ресурсосбережению и утилизации промышленных отходов в рамках принципов устойчивого развития [1]. Мировой и отечественный опыт демонстрирует успешные примеры использования техногенных продуктов (золы-уноса, доменных шлаков, золошлаковых смесей) в производстве строительных материалов [2-4]. Особую актуальность приобретает проблема утилизации шлаков черной металлургии, объемы которых возрастают в связи с интенсификацией производства. Современные процессы внепечной обработки стали в агрегатах «печь-ковш» приводят к образованию сталеплавильных ковшевых шлаков (СКШ), отличающихся по химическому и минералогическому составу от шлаков, которые традиционно используются в производстве комплексных вяжущих. Повышенное содержание высокоосновных алюминатов кальция открывает перспективы их использования в качестве функционального компонента в композиционных вяжущих системах, в частности, как потенциальной альтернативы дорогостоящему глиноземистому цементу (далее ГЦ) [5,6].

Одной из наиболее перспективных областей применения таких вяжущих являются сухие строительные смеси для наливных полов (см. рисунок 1), выполняющих роль не только выравнивающего, но и гидроизоляционного барьера.

РИСУНОК 1

КОНСТРУКЦИЯ ПОЛА (в разрезе):

- 1 – бетонное основание; 2 – подстилающий слой;
- 3 – теплоизоляция; 4 – наливное самонивелирующее покрытие;
- 5 – финишный полимерный пол; 6 – защитный слой

Figure 1

Floor construction (cross-section):

- 1 – concrete base; 2 – underlayment;
- 3 – thermal insulation;
- 4 – self-levelling coating; 5 – finished polymer floor;
- 6 – protective layer

Эффективность гидроизоляционных свойств наливного пола напрямую определяет долговечность финишного полимерного покрытия, для которого остаточная влажность основания не должна превышать 4%, а капиллярный подсос недопустим.

Цель исследования – сравнительный анализ влияния состава композиционного вяжущего (на основе ГЦ и СКШ) и комплекса функциональных добавок на процесс структурообразования: пористость и коэффициент капиллярного водопоглощения (далее ККВП) цементного камня.

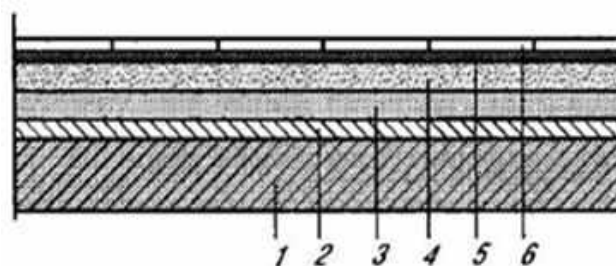
Материалы и методы

В работе использовались: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2020 производства ООО «Серебрянский цементный завод» (ПЦ), химико-минералогический состав представлен в таблице 1; глиноземистый цемент ГВ-50 ТУ 5737-015-00281306-22 производства АО «Подольск-Цемент» (ГЦ-50), химико-минералогический состав представлен в таблице 2; СКШ производства АО

INTRODUCTION

The modern construction industry is characterized by increased attention to resource conservation and industrial waste recycling within the framework of sustainable development principles [1]. Global and domestic experience demonstrates successful examples of the use of industrial by-product (fly ash, blast furnace slag, bottom ash) in the production of building materials [2-4]. The problem of recycling ferrous metallurgy slag is becoming particularly relevant, as its volumes are increasing due to intensified production. Modern processes of out-of-furnace steel treatment in «furnace-ladle» units lead to the formation of specific ladle slags, which differ in chemical and mineralogical composition from the slags traditionally used in the production of complex binders. The increased content of highly basic calcium aluminates opens prospects for their use as a functional component in composite binder systems, as a potential alternative to expensive aluminous cement (hereinafter referred to as AC) [5,6].

One of the most promising areas of application for such binders is dry building mixes for self-levelling floors (see Figure 1), which act not only as a levelling agent but also as a waterproofing barrier.



The effectiveness of the waterproofing properties of a self-levelling floor directly determines the durability of the final polymer coating, for which the residual moisture content of the substrate must not exceed 4%, and capillary suction is unacceptable.

The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of the influence of the composition of the composite binder (based on AC and SLS) and a complex of functional additives on the structure formation process: porosity and capillary water absorption coefficient (hereinafter referred to as CWAC) of cement stone.

Materials and methods

The following materials were used in the work: Portland cement CEM I 42.5N GOST 31108-2020 produced by Serebryansky Cement Plant LLC (PC), the chemical and mineralogical composition of which is presented in Table 1; aluminous cement GC-50 TU 5737-015-00281306-22 produced by Podolsk-Cement JSC (GC-50), the chemical and mineralogical composition of which is presented in Table 2;

«Выксунский металлургический завод», химический состав представлен в таблице 3; песок кварцевый по ГОСТ 8736-2014 производства ООО «Нерудные материалы»; гипс марки Г-5 производства ООО «Казанский гипсовый завод» (Г-5); функциональные добавки: гиперпластификатор на основе поликарбоксилатов РС 1050р производства АО «Еврохим-1 ФД» (ГП), дисперсионный полимерный порошок на винил-ацетатной основе Setaky RDP 505R5 производства Shandong Xindadi Industrial Group Co. Ltd. (далее РПП), эфир целлюлозы Mecellose FMC 60150 производства АО «Еврохим-1 ФД» (далее ЭЦ).

SLS produced by JSC Vyksunsky Metallurgical Plant, chemical composition presented in Table 3; quartz sand according to GOST 8736-2014 produced by LLC Non-Metallic Materials (hereinafter referred to as sand); gypsum grade G-5 produced by LLC Kazan Gypsum Plant (G-5); functional additives: polycarboxylate-based hyperplasticizer produced by EuroChem-1 FD JSC (HP), vinyl acetate-based redispersible polymer powder Setaky RDP 505R5 produced by Shandong Xindadi Industrial Group Co., Ltd. (RPP), cellulose ether Mecellose FMC 60150 produced by EuroChem-1 FD JSC (CE).

ТАБЛИЦА 1 – ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108–2020

Table 1 – Chemical and mineralogical composition of Portland cement CEM I 42.5N GOST 31108–2020

Содержание оксидов/минералов, мас. % Oxide/mineral content, wt. %								
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
65,9	21,0	5,4	4,2	2,4	71	5	8	13

ТАБЛИЦА 2 – ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА ГЦ-50

Table 2 – Chemical composition of aluminous cement GC-50

Содержание оксидов/минералов, мас. % Oxide/mineral content, wt. %								
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CA	CA ₂	C ₄ AF	C ₂ S
32,0	2,4	61,0	0,9	3,7	85	4	2	3

ТАБЛИЦА 1 – ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОВШЕВОГО ШЛАКА

Table 3 – Chemical composition of steelmaking ladle slag

Содержание оксидов, мас. % Oxide content, wt. %						Потери при прокаливании, % Loss on ignition, %	Влага, % Moisture, %
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O		
11,4	21,7	9,5	49,8	7,1	0,1	0,2	0,1

СКШ был предварительно измельчен в шаровой лабораторной мельнице до удельной поверхности по Блейну 500 м²/кг. Гранулометрический состав СКШ после помола представлен в ТАБЛИЦА 2. По ключевым параметрам дисперсности установлено, что после помола СКШ представляет собой тонкодисперсный материал с медианным размером частиц 7,8 мкм, что обеспечивает высокую реакционную способность при широкой полидисперсности.

The SLS was pre-ground in a ball mill to a specific surface area of 500 m²/kg according to Blaine. The particle size distribution of SLS after grinding is shown in Table 4. Based on key dispersion parameters, it was established that after grinding, SLS is a finely dispersed material with a median particle size of 7.8 μm, which ensures high reactivity with wide polydispersity.

ТАБЛИЦА 2 – ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОВШЕВОГО ШЛАКА

Table 4 – Particle size distribution of steelmaking ladle slag

x10, мкм	x50, мкм	x90, мкм	R01, %	R05, %	R10, %	R20, %	R32, %	R40, %	R80, %	R90, %	R100, %	R200, %
1,0	7,8	99,9	90,2	59,7	45,2	33,8	26,9	23,6	13,4	11,6	10,0	0

На основе предварительно установленного ранее оптимального соотношения минеральных компонентов в составе комплексного вяжущего [7] (портландцемент: СКШ: гипс) были приготовлены 11 модельных составов композиционных вяжущих. Контрольный состав – смесь 1, содержащий глиноземистый цемент в количестве 10 мас.%. Остальные 10 составов приготовлены с использованием СКШ (12,5 мас.%) при варьировании содержания

Based on the previously established optimal ratio of mineral components in the composition of the complex binder [7] (Portland cement: SLS: gypsum), 11 model mixtures of composite binders were prepared. The composition of the control is mixture 1, containing 10 wt.% of aluminous cement. The remaining 10 mixtures were prepared using SLS (12.5 wt.%) while varying the content of functional additives: HP – 0.2-0.4 wt.%; RPP – 0.5-1.5 wt.%; CE – 0.04-

функциональных добавок: ГП – 0,2-0,4 мас.%; РПП – 0,5-1,5 мас.%; ЭЦ – 0,04-0,06 мас.% (ввод сверх 100% массы минеральной части). Составы композиционных смесей [8], модифицированных функциональными добавками, представлены в таблице 5.

0.06 wt.% (added more than 100% of the mass of the mineral part). The compositions of composite mixtures [8] modified with functional additives are presented in Table 5.

ТАБЛИЦА 3 – ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ СМЕСЕЙ

Table 5 – Material composition of mixtures

Номер смеси Mixture	Содержание компонентов в смеси, мас.% Material composition of mixtures, wt.%							
	Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н Portland cement CEM I 42.5N	Глиноземистый цемент ГЦ-50 Aluminous cement GC-50	СКШ SLS	Гипс марки Г-5 Gypsum grade G-5	Песок Sand	ГП HP	РПП RPP	ЭЦ CE
1(контрольный состав) (control)	35.0	10.0	–	5.0	50.0	0.3	1.0	0.05
2	35.0	–	12.5	2.5	50.0	–	–	–
3	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.2	–	–
4	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	–	–
5	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.4	–	–
6	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	0.5	–
7	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	1.0	–
8	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	1.5	–
9	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	1.0	0.04
10	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	1.0	0.05
11	35.0	–	12.5	2.5	50.0	0.3	1.0	0.06

Химико-минералогический состав цементов и химический состав СКШ определялись на рентгеноспектральном анализаторе S8 Tiger (производитель Bruker, Германия). Тонкость помола по удельной поверхности СКШ проводилась методом воздухопроницаемости при помощи прибора Блейна модели 1.0209 с ручным управлением (производитель Testing, Германия). Размер частиц СКШ определялся методом лазерной гранулометрии на анализаторе HELOS (производитель Sympatec, Германия).

Испытания растворных образцов на основе модельных составов композиционных вяжущих [9] проводились с использованием следующих методик:

1. Определение капиллярного водопоглощения осуществлялось в соответствии с требованиями и методикой ГОСТ Р 58277–2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний». После выдержки в нормальных условиях (28 суток) и сушки до постоянной массы образцы изолировались по четырем продольным граням и помещались торцом в воду на глубину 5–10 мм. ККВП рассчитывался по формуле стандарта на основе массы воды, поглощенной за интервалы 10 и 90 минут.

2. Определение пористости растворных образцов проводилось методом гидростатического взвешивания.

Результаты исследования

1. Влияние функциональных добавок на структурные характеристики цементного камня на основе композиционного вяжущего [10]. Ключевым критерием эффективности составов для гидроизоляционных наливных стяжек является ККВП. Результаты испытаний представлены на столбчатой диаграмме (см. рисунок 2).

The chemical and mineralogical composition of cements and the chemical composition of SLS were determined using an S8 Tiger X-ray spectrometer (by Bruker, Germany). The fineness of grinding by specific surface area of SLS was determined by the air permeability method using a manually Blaine model 1.0209 device (by Testing, Germany). The particle size distribution of SLS was determined by laser granulometry on a HELOS analyzer (by Sympatec, Germany).

Tests on mortar samples based on model mixtures of composite binders [9] were carried out using the following methods:

1. Capillary water absorption was determined in accordance with the requirements and methodology of GOST R 58277–2018 «Dry building mixes based cement binders. Test methods». After exposure to normal conditions (28 days) and drying to a constant mass, the samples were insulated along four longitudinal edges and placed end-first in water to a depth of 5–10 mm. CWAC was calculated using the standard formula based on the mass of water absorbed over 10- and 90-minute intervals.

2. The porosity of the mortar samples was determined by hydrostatic weighing.

Researches results

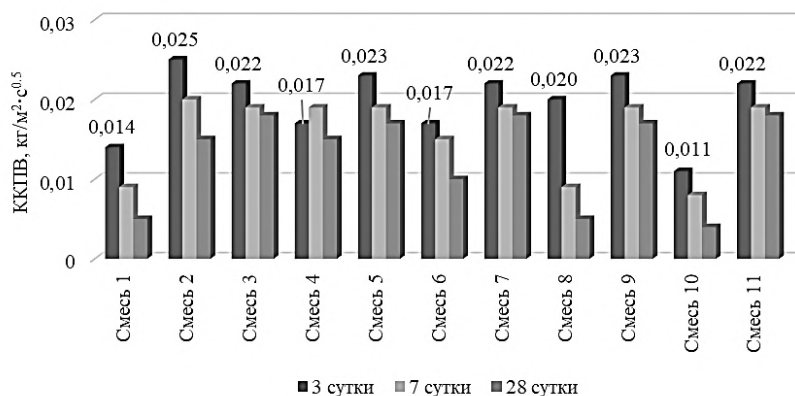
1. The influence of functional additives on the structural characteristics of cement stone based on composite binder [10]. The key criterion for the effectiveness of mixtures for waterproofing self-levelling screeds is the CWAC. The test results are presented in a bar chart (see Figure 2).

РИСУНОК 2

КОЭФФИЦИЕНТ КАПИЛЛЯРНОГО ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ (ККВП) ИС- СЛЕДУЕМЫХ СОСТАВОВ В ВОЗ- РАСТЕ 3, 7 и 28 суток

Figure 2

Capillary water absorption coefficient (CWAC) tested mixtures at 3, 7 and 28 days of age



Смесь на СКШ без функциональных добавок (смесь 2) показала высокий параметр ККВП в возрасте 3 суток ($>0,02 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5})$), чем составы, модифицированные функциональными добавками [11], что свидетельствует о формировании открытой пористой структуры.

Влияние добавки ГП. Введение добавки ГП в количестве 0,3 мас. % (смесь 4) снижает ККВП в возрасте 3 суток. Однако повышение дозы до 0,4 мас. % (смесь 5) приводит к его росту (до $0,023 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5})$) в том же возрасте (3 суток), что объясняется эффектом перепластификации [12], который значительно замедляет кинетику гидратации и нарушает однородность структуры [13].

Влияние добавки РПП. Введение добавки РПП (смеси 6–8) существенно снижает показатель ККВП. Оптимальным является содержание РПП 1,0 мас. % (смесь 7), при котором полимерные пленки эффективно перекрывают открытые капилляры цементной матрицы [14] и герметизируют поры. По результатам исследований смесь 10, содержащая комплекс функциональных добавок (0,3 мас. % ГП + 1,0 мас. % РПП + 0,05 мас. % ЭЦ), показывает минимальное значение параметра ККВП – $0,01 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5})$, что сопоставимо с контрольным образцом, приготовленным с глиноземистым цементом – смесь 1 [15, 16].

2. Результаты исследования пористости (таблица 4) подтверждают выводы, сделанные на основе данных по ККВП. Открытая пористость у образца без функциональных добавок составляет в возрасте 3 суток составляет 10,1 % против 9,1% у образца с функциональными добавками. Причем пористость у образцов с функциональными добавками снижается быстрее и к 28 суткам на 33 % ниже, чем у бездобавочного образца.

The mixture on SLS without functional additives (mixture 2) showed a high CWAC parameter at the age of 3 days ($>0.02 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$) than mixtures modified with functional additives [11], which indicates the formation of an open porous structure.

The effect of additive HP. The introduction of the additive HP in an amount of 0.3 wt.% (mixture 4) reduces the CWAC at 3 days of age. However, increasing the dose to 0.4 wt.% (mixture 5) leads to its increase (up to $0.023 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$) at the same age (3 days), which is explained by the effect of overplasticisation [12], which significantly slows down the kinetics of hydration and disrupts the homogeneity of the structure [13].

The effect of additive RPP. The introduction of additive RPP (mixture 6–8) significantly reduces the CWAC. The optimal RPP content is 1.0 wt.% (mixture 7), at which polymer films effectively cover the open capillaries of the cement matrix [14] and seal the pores. According to the research results, mixture 10, containing a complex of functional additives (0.3 wt.% HP + 1.0 wt.% RPP + 0.05 wt.% CE), shows the minimum value of the CWAC – $0.01 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$, which is comparable to the control mixture prepared with aluminous cement – mixture 1 [15-16].

2. The results of the porosity study (see Table 6) confirm the conclusions drawn from the CWAC data. The open porosity of the sample without functional additives at the age of 3 days is 10.1% versus 9.1% for the sample with functional additives. Moreover, the porosity of samples with functional additives decreases faster and by 28 days is 33% lower than that of the sample without additives.

ТАБЛИЦА 6 – ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПОРИСТОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ СКШ

Table 6 – The influence of functional additives on the porosity of cement stone based on SLS

Время твердения, сут Hardening time, days	Состав без функциональных добавок (смесь 2) Composition without functional additives (mixture 2)			Состав с комплексом функциональных добавок (смесь 10) Composition with complex of functional additives (mixture 10)		
	Пористость, % Porosity, %			Пористость, % Porosity, %		
	Общая total	Открытая opened	Закрытая closed	Общая total	Открытая opened	Закрытая closed
1	12,8	9,7	3,1	12,5	9,8	2,9
3	12,5	10,1	2,4	12,3	9,1	3,2
7	15,8	12,4	3,4	9,8	6,3	3,5
28	14,2	11,6	2,6	8,4	3,8	4,3

Выводы

1. Экспериментально подтверждена принципиальная возможность эффективной замены глиноземистого цемента [17] сталеплавильным ковшевым шлаком в композиционных вяжущих [18] для гидроизоляционных стяжек при условии оптимизации состава функциональными добавками.
2. Установлено комплексное действие функциональных добавок: гиперпластификатор (0,3 мас.%) обеспечивает диспергирование и низкое водотвердое отношение [19], редисперсионный полимерный порошок (1,0 мас.%) формирует упрочняющие и герметизирующие пленки, эфир целлюлозы (0,05 мас.%) стабилизирует систему.
3. Оптимальный состав смеси на основе сталеплавильного ковшевого шлака с комплексом функциональных добавок характеризуется минимальным коэффициентом капиллярного водопоглощения ($0,01 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0.5})$), результат испытаний сопоставимым с параметром КППВ контрольного состава, приготовленного на основе глиноземистого цемента (смесь 1). Оптимальный состав показывает стабильность уплотненной структуры цементного камня [20] (открытая пористость 3,8%).
4. Полученные результаты обосновывают технико-экономическую и экологическую целесообразность использования сталеплавильного ковшевого шлака [21] в качестве полноценного алюминатного компонента в составах сухих строительных смесей для наливных полов с повышенными требованиями к гидроизоляции [22].

Литература:

1. Мошковский Д. С., Турушева Е. В., Мошковская С. В., Лотарев В. В., Самченко С. В. Расширение затвердевшей цементной пасты в композиционной вяжущей системе на основе сталеплавильного ковшевого шлака // *Техника и технология силикатов*, 2024. №4. С. 345–353. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2024-345-353>. EDN: RPONGB
2. Золотова И. Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС // *Инновации и инвестиции*, 2020. №7. С. 123–128. EDN: TGKIVS
3. Суровцов М.М., Хамидулина Д.Д., Некрасова С.А., Морева Ю.А. Использование молотого доменного гранулированного шлака в цементном вяжущем // *Строительные материалы*, 2023. №7. С. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-815-7-43-48>. EDN: CZSKSX
4. Воронин К.М., Хамидулина Д.Д., Некрасова С.А., Трубкин И.С. Вибропрессованные элементы мощения с использованием сталеплавильных шлаков // *Строительные материалы*, 2017. №12. С. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-755-12-71-73>. EDN: YMKFEU
5. Титов М. Ю. Бетоны с повышенной прочностью на основе расширяющих добавок // *Строительные материалы*, 2012. №2. С. 84–87. EDN: OWJKJF
6. Коваленко Д. С. Перспективы создания экономичных бетонов с пониженной усадкой на основе отходов промышленности // *Интеграция наук*, 2017. №3 (7). С. 65–70. EDN: YNLJST
7. Кузнецова Т. В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы / Т. В. Кузнецова. — Москва: Стройиздат, 1986. — 208 с.
8. Кузнецова Т. В., Кривобородов Ю. Р., Бурлов И. Ю. Основные направления в химии и технологии специальных цементов // *Строительные материалы*, 2008. №10. С. 61–63. EDN: JXKGLP
9. Кривобородов Ю. Р. Специальные цементы: разновидности, свойства и применение // *Техника и технология силикатов*, 2023. Т. 30. №1. С. 84–91. EDN: BANTUI
10. Кривобородов Ю. Р., Самченко С. В. Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров: Аналитический обзор // *Цементная промышленность*, 1991. №2. 55 с. EDN: TSRXOD
11. Осокин А. П., Кривобородов Ю. Р., Потапова Е. Н. Модифицированный портландцемент. — Москва: Стройиздат, 1993. — 328 с. EDN: WOJENR

Conclusions

1. The fundamental possibility of effectively replacing aluminous cement [17] with steel ladle slag in composite binders [18] for waterproofing screeds has been experimentally confirmed, provided that the composition is optimized with functional additives.
2. The complex action of functional additives has been established: a hyperplasticizer (0.3 wt.%) ensures dispersion and a low water-hardness ratio [19], redispersible polymer powder (1.0 wt.%) forms strengthening and sealing films, cellulose ether (0.05 wt.%) stabilizes the system.
3. The optimal composition of the mixture based on steel ladle slag with a complex of functional additives is characterized by a minimum capillary water absorption coefficient ($0.01 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$), a test result comparable to CWAC of the control mixture prepared based on aluminous cement (mixture 1). The optimal composition shows stability of the compacted structure of the cement stone [20] (opened porosity 3.8%).
4. The results obtained justify the technical, economic and environmental feasibility of using steel ladle slag [21] as a full-fledged aluminate component in dry building mixes for self-levelling floors with increased waterproofing requirements [22].

References:

1. Moshkovskiy D.S., Turusheva E.V., Moshkovskaya S.V., Lotarev V.V., Samchenko S.V. Expansion of hardened cement paste in a composite binder system based on steel ladle slag // *Technique and Technology of Silicates*, 2024. №4. p. 345–353. <https://doi.org/10.62980/2076-0655-2024-345-353>. EDN: RPONGB
2. Zolotova I.Y. Benchmarking of foreign experience in utilising solid fuel combustion products from coal-fired thermal power plants // *Innovation and investment*. 2020. №7. p. 123–128. EDN: TGKIVS
3. Surovtsov M.M., Khamidulina D.D., Nekrasova S.A., Moreva Y.A. Use of ground blast furnace granulated slag in cement binder // *Building materials*, 2023. №7. p. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-815-7-43-48>. EDN: CZSKSX
4. Voronin K.M., Khamidulina D.D., Nekrasova S.A., Trubkin I.S. Vibropressed paving elements using steel slags // *Building materials*, 2017. №12. p. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-755-12-71-73>. EDN: YMKFEU
5. Titov M.Y. Concretes with increased strength based on expansive additives // *Building materials*. 2012. №2. p. 84–87. EDN: OWJKJF
6. Kovalenko D.S. Prospects for creating economical low-shrinkage concretes based on industrial waste // *Integration of sciences*, 2017. №3(7). p. 65–70. EDN: YNLJST
7. Kuznetsova T.V. Aluminate and sulfoaluminate cements. — Moscow: Stroizdat; 1986. — 208 p.
8. Kuznetsova T.V., Krivoborodov Y.R., Burlov I.Y. Main directions in the chemistry and technology of special cements // *Building materials*, 2008. №10. p. 61–63. EDN: JXKGLP
9. Krivoborodov Y.R. Special cements: types, properties and application // *Technique and Technology of Silicates*, 2023. V. 30. №1. p. 84–91. EDN: BANTUI
10. Krivoborodov Y.R., Samchenko S.V. Physico-chemical properties of sulfated clinkers: analytical review // *Cement industry*, 1991. №2. 55 p. EDN: TSRXOD
11. Osokin A.P., Krivoborodov Y.R., Potapova E.N. Modified Portland cement. — Moscow: Stroizdat; 1993. — 328 p. EDN: WOJENR

12. Самченко, С. В. Сульфатированные алюмоферриты кальция и цементы на их основе / Федеральное агентство по образованию, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Изд. центр. – Москва: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2004. – 120 с. EDN: QNDUNJ
13. Нефедьев А. П., Коссов Д.Ю., Кузнецова Т. В. Смешанное вяжущее на основе глиноземистого цемента и метакволина // Сухие строительные смеси, 2014. №2. С. 28–30. EDN: TAQHEN
14. Крутилин А. А., Крпачева Т. В., Инькова Н. А., Пахомова О. К. Исследование возможности использования алюминатных отходов алюминиевых сплавов для получения глиноземистого цемента // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2023. Т. 25. №6. С. 125–138. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-6-125-138> EDN: ZUZWRN
15. Мошкова С.В., Сивков С.П., Лотарев В.В. Сухие строительные смеси для гидроизоляции бетонных конструкций // Техника и технология силикатов, 2008. Т. 15. №1. С. 26–31. EDN: JKAQPJ
16. Корнеев В. И., Зозуля П. В. Сухие строительные смеси. — Москва: РИФ Стройматериалы, 2010. — 320 с. EDN: QNORCH
17. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси. Ч. 1: справочник / под ред. П. Г. Комохова. — Санкт-Петербург: НПО «Профессионал», 2007. — 804 с.
18. Бурьянов А. Ф., Гонтарь Ю. В., Чалова А. И. К вопросу использования гипсовых и ангидридовых вяжущих в сухих смесях для устройства оснований полов // Сухие строительные смеси, 2010. №1. С. 11–13. EDN: TSQACJ
19. Самченко С.В., Макаров Е.М. Влияние суперпластификаторов на морфологию кристаллов этtringита // Техника и технология силикатов, 2015. №2. С. 17–21. EDN: UACCCX
20. Самченко С. В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов / Федеральное агентство по образованию, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Издат. центр. – Москва: Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 2005. 154 с. – ISBN 5-7237-0514-0. EDN: QNDVZV
21. Шешуков, О. Ю., Егизарьян Д. К., Лобанов Д. А. Безотходная переработка ковшевого и электропечного шлака // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2021. Т. 64. №3. С. 192–199. – DOI <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-192-199> . EDN: VOQZVY
22. Сивков С. П., Мошкова С. В., Лотарев В. В. Сухие строительные смеси для устройства гидроизоляции бетонных конструкций // Техника и технология силикатов, 2008. Т. 15. №1. С. 26–31. EDN: JKAQPJ
12. Samchenko S.V. Calcium sulfoaluminate ferrites and cements based on them. – Moscow: Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; 2004. – 120 p. EDN: QNDUNJ
13. Nefed'ev A.P., Kossov D.Y., Kuznetsova T.V. Mixed binder based on calcium aluminate cement and metakaolin // Dry building mixes, 2014. № 2. p. 28–30. EDN: TAQHEN
14. Krutilin A.A., Krapchetova T.V., Inkova N.A., Pakhomova O.K. Study on the possibility of using aluminate waste from aluminum alloys to produce calcium aluminate cement // Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building, 2023. V. 25. №6. p. 125–138. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-6-125-138> EDN: ZUZWRN
15. Moshkovskaya S.V., Sivkov S.P., Lotarev V.V. Dry building mixes for waterproofing concrete structures. // Technique and Technology of Silicates, 2008. V. 15. №1. p. 26–31. EDN: JKAQPJ
16. Korneev V.I., Zozulya P.V. Dry building mixes. — Moscow: RIF Building materials, 2010. — 320 p. EDN: QNORCH
17. Komokhov P.G. (ed.). Cements, concretes, mortars and dry mixes. Part 1: Handbook. Saint Petersburg: NPO «Professional», 2007. — 804 p.
18. Bur'yanov A.F., Gontar' Y.V., Chalova A.I. On the use of gypsum and anhydrite binders in dry building mixes for floor base construction // Dry building mixes, 2010. №1. p. 11–13. EDN: TSQACJ
19. Samchenko S.V., Makarov E.M. Influence of superplasticizers on the morphology of ettringite crystals // Technique and Technology of Silicates, 2015. №2. p. 17–21. EDN: UACCCX
20. Samchenko S.V. The role of ettringite in the formation and genesis of the structure of special cement stone. – Moscow: Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 2005. 154 p. ISBN 5 7237 0514 0. EDN: QNDVZV
21. Sheshukov O.Y., Egizaryan D.K., Lobanov D.A. Waste free processing of ladle and electric arc furnace slag // News of Higher Education Institutions. Ferrous Metallurgy, 2021. V. 64. №3. p. 192–199. – DOI <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-192-199> . EDN: VOQZVY
22. Sivkov S.P., Moshkovskaya S.V., Lotarev V.V. Dry building mixes for waterproofing concrete structures // Technique and Technology of Silicates, 2008. V. 15. №1. p. 26–31. EDN: JKAQPJ

Мошковский Денис Сергеевич - аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, *E-mail:* denis_moshkovskiy@mail.ru (автор для связи)

Турушева Екатерина Владимировна - аспирант факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва, *E-mail:* katka1988@mail.ru

Мошкова Светлана Владимировна – кандидат технических наук, руководитель подкомитета по техническому регулированию НО Союзцемент.

Лотарев Вадим Викторович - главный технолог, ООО «Две Столицы», *E-mail:* lotarevv@yandex.ru

Самченко Светлана Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», *E-mail:* samchenko@list.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Moshkovsky Denis Sergeevich - Postgraduate student, National Research Moscow State Construction University, *E-mail:* denis_moshkovskiy@mail.ru (author for communication)

Turusheva Ekaterina Vladimirovna - Postgraduate student, studying at the Faculty of Technology of Inorganic Substances and High-temperature Materials, D. I. Mendeleev Russian State Technical University, Russia, Moscow. *E-mail:* katka1988@mail.ru

Moshkovskaya Svetlana Vladimirovna – candidate of technical sciences, head of the subcommittee on technical regulation of the NO Soyuzcement.

Lotarev Vadim Viktorovich - chief technologist, Two Capitals LLC, *E-mail:* lotarevv@yandex.ru

Samchenko Svetlana Vasilievna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Materials Science, National Research Moscow State Construction University, *E-mail:* samchenko@list.ru

The authors declare that there is no conflict of interest.