

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V. Construction biocomposites using woodworking waste. Part 2 (experimental studies biofermentation of wood aggregate) // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 2 (18), pp. 5–12.

УДК 691**ЗОЛОЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ**

*В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова,
Х.А. Микаелян, К.С. Петропавловский*

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б.,
Микаелян Х.А., Петропавловский К.С., 2023

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния выделенного алюмосиликатного компонента золошлакового отхода гидроудаления на свойства цементных смесей. В ходе анализа результатов исследования водопотребности и сроков схватывания указанных смесей с включением алюмосиликатной добавки выявлено, что введение высокодисперсного зольного компонента отражается на свойствах сырьевых смесей на основе портландцемента. Полученные результаты демонстрируют, что использование добавки влечет за собой регулирование свойств вяжущего путем введения дополнительных компонентов, дающих возможность оптимизировать технологические свойства образующихся смесей.

Ключевые слова: портландцемент, золошлаковые отходы, флотация, алюмосиликатная добавка, водопотребность, сроки схватывания.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-2-12-21

В развитых странах производство строительных материалов на основе цементного клинкера ориентировано на увеличение в составе вяжущего доли вторичного минерального сырья [1]. В настоящее время эта тенденция также просматривается применительно к таким крупнотоннажным отходам, как зола-уноса и золошлаковые смеси (ЗШС), образующиеся при сжигании твердого топлива в котлах тепловых электростанций (ТЭС). Необходимость использования ЗШС обосновывается возрастающей опасностью нарушения экологической обстановки вблизи этих производств, а также проблемой утилизации зол. Особенно все это актуально для России, где большая часть электроэнергии вырабатывается ТЭС, сжигающими твердое топливо с образованием многотоннажных объемов зольных отходов [2].

Зола-уноса – это остаток с зернами, чей размер меньше 0,16 мм, образующийся при сгорании топлива и скапливающийся в золоулавливающих устройствах. Золошлаковая смесь гидроудаления имеет гранулометрический состав с более широким распределением частиц по размерам [1]. В зависимости от вида топлива зола подразделяется на

антрацитовую, каменноугольную, буроугольную, сланцевую, торфяную и др. [3, 4]. Каждая из них характеризуется определенной степенью однородности,

Очевидно, что цемент и бетон как наиболее ресурсоемкие строительные материалы способны «поглотить» значительную долю зол-уноса и ЗШС и, следовательно, сберечь мировые энергоресурсы (их потребляемая только цементной промышленностью доля составляет сегодня около 5 %). Эти отходы могут стать ценным компонентом цементных смесей и бетонов, существенно улучшающим технологические и эксплуатационно-технические показатели последних [5, 6].

В последнее время наибольшее распространение в технологиях цемента и бетона получили высококальциевые золы, несмотря на то, что их применение до сих пор связано с определенными трудностями (прежде всего со значительными вариациями их состава и свойств). Еще одним негативным фактором выступает высокое содержание в указанных солях свободного СаО, приводящего к деструкции цементного камня и бетонов [2]. Несмотря на это обогащенные низкокальциевые золошлаковые отходы могут быть эффективно использованы в качестве микронаполнителя, способствующего формированию уплотненной структуры вяжущего.

Из-за высокой стоимости и энергоемкости процесса производства портландцемента целесообразно применять бесклинкерные алюмосиликатные вяжущие, то есть промышленные отходы алюмосиликатного состава, в качестве основного сырьевого компонента для производства строительных материалов. К таким вяжущим, в полной мере способными конкурировать с портландцементом, относятся щелочные и щелочно-земельные вяжущие [5].

Из-за близости химического состава ЗШС к глинам эти смеси могут заменить последние в производстве портландцемента. При этом не требуется расходовать энергию на дегидратацию глинистых минералов. Частицы несгоревшего топлива оказывают положительное влияние при производстве клинкера.

По мнению автора [5], ЗШС могут (независимо от состава) выполнять роль инертного заполнителя в составе минеральных композиций на основе гипса. В производстве гипсобетонов применение ЗШС в этом качестве уменьшает расход вяжущего и отражается на плотности изделий.

Возможно применение зол топливных станций и компонентов ЗШС в составе бетонов и цементных композиций [8, 9]. Зольные алюмосиликатные наполнители, получаемые выделением их из состава ЗШС, как и другие высокодисперсные добавки, позволяют улучшить технологические [10] и эксплуатационные свойства цементных материалов [11, 12] и повысить их коррозионную стойкость. Вовлечение составляющих золошлаковых отходов ТЭС для модификации и повышения эффективности цементных вяжущих – актуальная задача в настоящее время для России и других стран, имеющих значительные объемы подобных отходов.

В целях получения композиционного вяжущего с высокими эксплуатационными свойствами на основе компонентов золошлаковых отходов в работе исследовалось влияние алюмосиликатного компонента на свойства золоцементного вяжущего.

В качестве основного вяжущего применялся портландцемент ExtraCEM 500 – ЦЕМ II/A-И 42.5Б. ExtraCEM 500 – общестроительный портландцемент, производимый по «сухой» технологии. В состав портландцемента введена минеральная добавка – молотый известняк – в количестве до 20 %.

Применяемый портландцемент имеет класс по прочности 42,5, относится к быстротвердеющим (в соответствии с классификацией портландцементов по ГОСТ 31108-2016). Данный цемент характеризуется пределом прочности при сжатии в возрасте 2 сут, равном 26,2 МПа, пределом прочности при изгибе в возрасте 2 сут, составляющем 4,9 МПа, пределом прочности при сжатии в возрасте 28 сут, равном 49,1 МПа, пределом прочности при изгибе в возрасте 28 сут, составляющим 7,6 МПа.

В качестве алюмосиликатной добавки в исследованиях использовался компонент ЗШС угольной ТЭС Московской области (рис. 1), полученный в результате разделения золошлаковых отходов методами флотационного обогащения и магнитной сепарации на отдельные компоненты в заводских условиях.



Рис. 1. Золошлаковая смесь Каширской тепловой электростанции

Основными компонентами, содержащимися в смеси, являются SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , которые в сумме составили 87–96 %. Содержание оксидов кальция и магния варьировалось в пределах 4–8 %. Сумма оксидов K_2O и Na_2O невелика и не превысила 2–3 %. Содержание серы в золе находилось в пределах 0,1–0,16 %. Содержание таких компонентов, как P_2O_5 , MnO , TiO_2 составляло менее 1 %, поэтому они не играли существенной роли при проведении флотации.

Алюмосиликатный компонент (АСК) представляет собой светло-серый порошкообразный материал (рис. 2), содержащий 2–4 % (мас.) углерода. Химический состав АСК приведен ниже:

Оксид	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	P_2O_5	SO_3	C
	Содержание, %											
Алюмо-силикатный компонент	0,6	1,6	21,5	57,8	2,1	2,3	0,9	0,1	4,6	0,4	0,1	3



Рис. 2. Внешний вид АСК топливной золы

Удельная поверхность добавки $1597,2 \text{ м}^2/\text{кг}$. Средний диаметр частиц $1,8 \text{ мкм}$. Насыпная плотность 900 кг/м^3 . Алумосиликатные частицы представлены стеклофазой и в большинстве своем имеют сферическую форму и не обладают столь развитой пористостью, как частицы углеродного компонента золошлаковых отходов.

Водопотребность цементного теста (рис. 3) определялась по стандартной методике в соответствии с требованиями ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний» с использованием полифракционного песка.



Рис. 3. Определение нормальной густоты цементного теста

В исследованиях содержание АСК изменяли в пределах от 0 до 30 % от массы цемента.

Начало схватывания цементного теста (рис. 5) также находили по стандартной методике на приборе Вика со стальной иглой. Это начало определяли как время от начала затворения цементного порошка жидкой фазой до момента, когда игла при проникновении в тесто не доходила до края пластинки на (4 ± 1) мм в соответствии с требованиями ГОСТ 30744-2001.

На первом этапе исследования изучалось влияние АСК на водопотребность цементного теста. Была получена зависимость водоцементного отношения от содержания АСК топливных золошлаковых отходов. Результаты исследования водопотребности приведены на рис. 4.

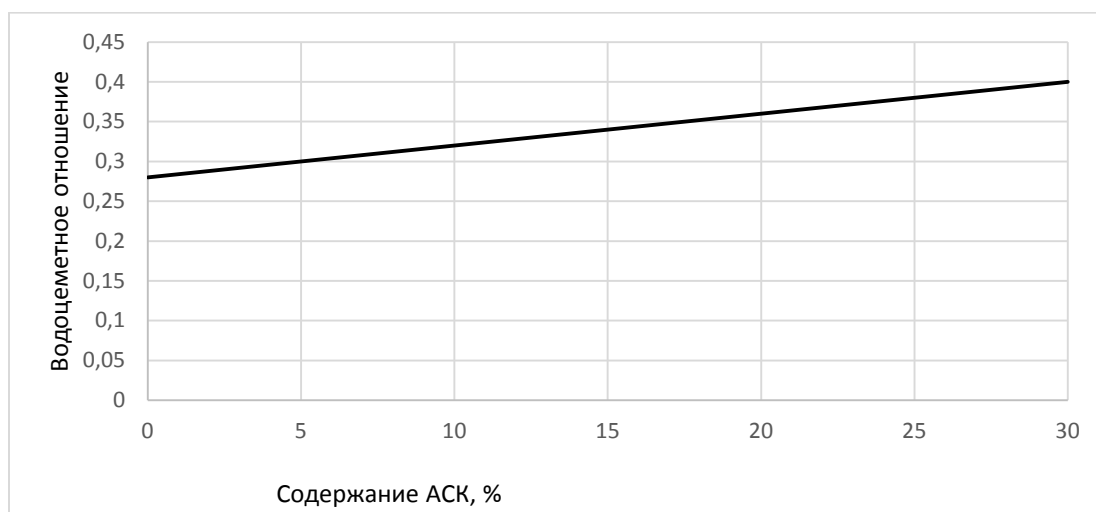


Рис. 4. Влияние содержания АСК ЗШС на водопотребность модифицированного цементного теста



Рис. 5. Определение сроков схватывания цементного теста с добавкой АСК ЗШС

Показано, что с увеличением содержания алюмосиликатного порошка (средний размер частиц в составе полидисперсной смеси 1,8 мкм) увеличивается водопотребность смеси. Водоцементное отношение растет от 0,28 до 0,4 при варьировании количества добавки в пределах 0–30 %.

На втором этапе проводилось исследование влияния АСК топливных золошлаковых отходов на сроки начала (рис. 6) и конца схватывания цементного теста.

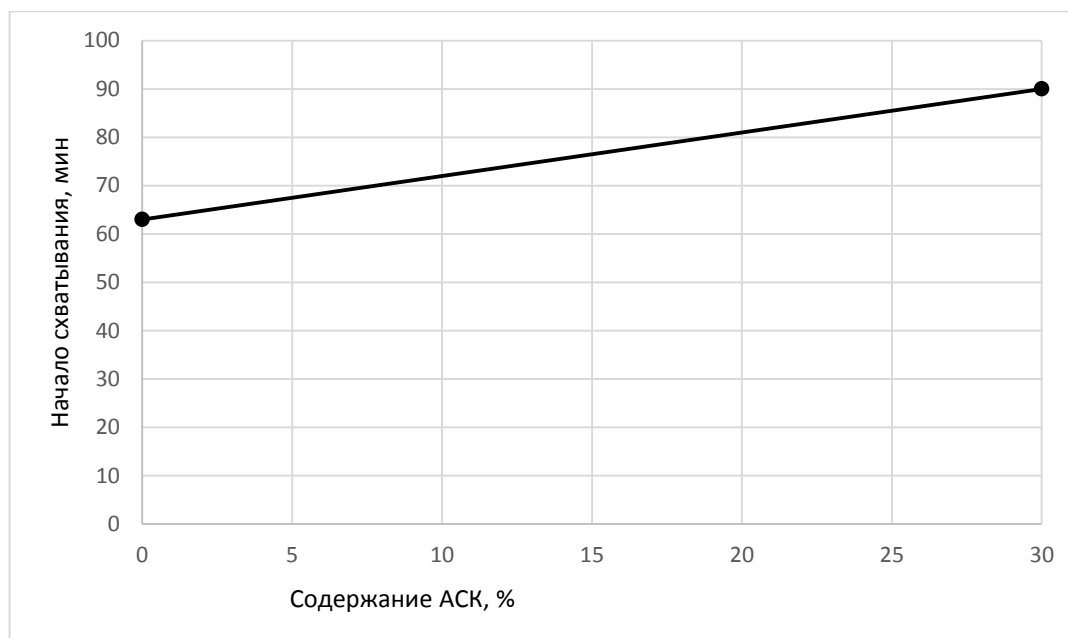


Рис. 6. Влияние содержания АСК ЗШС на начало срока схватывания теста

Установлено, что введение алюмосиликатной добавки отражается на сроках начала (см. рис. 6) и конца схватывания цементного теста. Замедление процесса схватывания теста с алюмосиликатной добавкой, по-видимому, связано прежде всего с изменением щелочности жидкой фазы, что сказывается на схватывании цементного теста и дальнейшем структурообразовании модифицированного цементного камня. Сроки схватывания увеличиваются с возрастанием содержания алюмосиликатной добавки в изученном диапазоне.

Таким образом, введение АСК способствует росту водопотребности цементных смесей, а также регулированию начала и конца схватывания цементного теста. Для эффективного использования алюмосиликатной добавки в составе цементов необходимо дополнительно вводить химические добавки, регулирующие реологические свойства смесей и процессы их схватывания и твердения, что требует проведения дополнительных исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 4. С. 16–21.
2. Fediuk R., Makarova N., Qader D.N., Petropavlovskaya V., Novichenkova T., Sulman M., Petropavlovskii K. Combined effect on properties and durability performance of nanomodified basalt fiber blended with bottom ash-based cement concrete: ANOVA evaluation // *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. No. 23 (11), pp. 2642–2657. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.01.179.
3. Makul N. [et al.] Utilization of biomass to ash: An overview of the potential resources for alternative energy // *Materials*. 2021. Vol. 14. No. 21, pp. 6482. DOI: 10.3390/ma14216482.
4. Макаренко С.В., Баишев Д.И., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Влияние зол-уноса и золошлаковых смесей ТЭС ОАО «Иркутскэнерго» на свойства цемента // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. № 4 (30). С. 278–283.
5. Цырятьева А.В. Зола гидроудаления как компонент геополимеров // *Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: Материалы межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов*. Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН. 2015. С. 134–138.
6. Салиева М.Г. Некоторые аспекты использования золы гидроудаления в строительной индустрии // *Материаловедение*. 2019. № 2 (30). С. 101–103.
7. Petropavlovskaya V., Sulman M., Novichenkova T., Sidorov A., Petropavlovskii K. Ultra-dispersed ash filler for dispersed binding systems // *Chemical Engineering Transactions*. 2021. Vol. 88, pp. 1003–1008. DOI: 10.3303/CET2188167.
8. Petropavlovskaya V., Sulman M., Novichenkova T., Petropavlovskii K. Corrosion resistant fine-grained ash concrete for repairs of constructions in the linen production // *Journal of Physics*. 2021. Vol. 1926, pp. 012045. DOI: 10.1088/1742-6596/1926/1/012045.
9. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Aleksandrova O.V., Fischer H.-B. Application of fuel ash as a microfiller in cement dispersion systems // *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1037, pp. 729–736.
10. Aleksandrova O.V., Nguyen Duc Vinh Quang, Bulgakov B.I., Fedosov S.V., Lukanova N.A., Petropavlovskaya V.B. The effect of mineral admixtures and fine aggregates on the characteristics of high-strength fiber-reinforced concrete // *Materials*. 2022. № 15 (24), pp. 8851. DOI: 10.3390/ma15248851.
11. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Aleksandrova O.V. Application of fuel ash as a microfiller in cement dispersion systems // *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1037, pp. 729–736. DOI:10.4028/www.scientific.net/msf.1037.729
12. Самченко С.В., Егоров Е.С. Управление свойствами цементной пасты при ее модифицировании предварительно гидратированной цементной суспензией // *Техника и технология силикатов*. 2021. Т. 28. № 2. С. 54–58.
13. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Dyusseminov D.S., Askerbekova A.M., Tkach E.V. Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture // *Complex Use of Mineral Resources*. 2023. № 325 (2), pp. 29–38. DOI:10.31643/2023/6445.15.

14. Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Корнеев А.И. Тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором с повышенными эксплуатационными показателями // *Строительство и реконструкция*. 2022. № 2 (100). С. 112–119. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-100-2-112-119.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: tanovi.69@mail.ru

МИКАЕЛЯН Хачатур Арсенович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: xach200@mail.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры «Биотехнология, химия и стандартизация», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Микаелян Х.А., Петропавловский К.С. Золоцементные композиции // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 2 (18). С. 12–21.

ASH CEMENT COMPOSITIONS

V.B. Petropavlovskaya, T.B. Novichenkova, Kh.A. Mikaelyan, K.S. Petropavlovskii
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The results of studies of the influence of the isolated aluminosilicate component of the ash and slag waste of hydraulic removal on the properties of cement mixtures are presented. During the analysis of the results of the study of water demand and the setting time of these mixtures with the inclusion of an aluminosilicate additive, it was revealed that the introduction of a highly dispersed ash component affects the properties of raw mixtures based on Portland cement. The results obtained demonstrate that the use of an additive entails the regulation of the properties of the binder by introducing additional components that make it possible to optimize the technological properties of the resulting mixtures.

Keywords: portland cement, ash and slag waste, flotation, aluminosilicate additive, water demand, setting time.

REFERENCES

1. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lakhtinen P. Application of ash and ash and slag waste in construction. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2011. No. 4, pp.16–21. (In Russian).
2. Fediuk R., Makarova N., Qader D.N., Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Sulman M., Petropavlovskii K. Combined effect on properties and durability performance of nanomodified basalt fiber blended with bottom ash-based cement concrete: ANOVA evaluation. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. No. 23 (11), pp. 2642–2657. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.01.179.
3. Makul N. [et al.]. Utilization of biomass to ash: An overview of the potential resources for alternative energy // *Materials*. 2021. Vol. 14. No. 21, pp. 6482. DOI: 10.3390/ma14216482.
4. Makarenko S.V., Baishev D.I., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. Influence of fly ash and ash-slag mixtures of the TPP of OJSC «Irkutskenergo» on cement properties. *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2014. No. 4 (30), pp. 278–283. (In Russian).
5. Tsyratyeva A.V. Hydraulic removal ash as a component of geopolymers. *Scientific and practical problems in the field of chemistry and chemical technologies: Materials of the interregional scientific and technical conference of young scientists, specialists and university students*. Apatity: IHTREMS KNC RAN. 2015, pp. 134–138. (In Russian).
6. Salieva M.G. Some aspects of the use of hydraulic removal ash in the construction industry. *Materialovedenie*. 2019. No. 2 (30), pp. 101–103. (In Russian).
7. Petropavlovskaya V., Sulman M., Novichenkova T., Sidorov A., Petropavlovskii K. Ultra-Dispersed Ash Filler for Dispersed Binding Systems. *Chemical Engineering Transactions*. 2021. Vol. 88, pp. 1003–1008. DOI: 10.3303/CET2188167.
8. Petropavlovskaya V., Sulman M., Novichenkova T., Petropavlovskii K. Corrosion resistant fine-grained ash concrete for repairs of constructions in the linen production. *Journal of Physics*. 2021. Vol. 1926. pp. 012045. DOI: 10.1088/1742-6596/1926/1/012045.
9. Petropavlovskaya V.B. [et al.]. Application of fuel ash as a microfiller in cement dispersion systems. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1037, pp. 729–736.
10. Aleksandrova O.V. [et al.]. The Effect of Mineral Admixtures and Fine Aggregates on the Characteristics of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete. *Materials*. 2022. No. 15, pp. 8851. DOI: 10.3390/ma15248851.
11. Petropavlovskaya V. Application of Fuel Ash as a Microfiller in Cement Dispersion Systems. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1037, pp. 729–736. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.1037.729.
12. Samchenko S.V., Egorov E.S. Control of the properties of cement paste during its modification with a pre-hydrated cement suspension. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2021. Vol. 28. No. 2, pp. 54–58. (In Russian).
13. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Dyusseminov D.S., Askerbekova A.M., Tkach E.V. Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. *Complex Use of Mineral Resources*. 2022. No. 325 (2), pp. 29–38. DOI: 10.31643/2023/6445.15.
14. Tkach E.V., Filimonova Y.S., Korneev A.I. Heavy concrete based on polydisperse binder with complex polymer modifier with increased performance indicators. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2022. No. 2 (100), pp. 112–119. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-100-2-112-119. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

PETROPAVLOVSKAYA Viktoriya Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tanovi.69@mail.ru

MIKAELIAN Khachatur Arsenovich – master's student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: dr.d1708@yandex.ru

PETROPAVLOVSKII Kirill Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

CITATION FOR AN ARTICLE

Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Mikaelyan Kh.A., Petropavlovskii K.S. Ash cement compositions // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 2 (18), pp. 12–21.

УДК 699.88

**О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЛАТФОРМ**

Ю.Ю. Курятников

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Курятников Ю.Ю., 2023

Аннотация. Проведен анализ проблем, возникающих на этапе строительства, реконструкции или эксплуатации железнодорожных платформ и приводящих к сокращению срока их службы. Предложены пути решения этих проблем, а именно рекомендовано использовать современные заводские строительные изделия с противоскользящим эффектом.

Ключевые слова: пассажирская платформа, противоскользящий эффект, противогололедные реагенты, гидрофобизатор.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-2-21-27

Темп жизни людей с каждым годом все ускоряется. Неотъемлемой частью этого процесса является транспортная инфраструктура, которая повышает мобильность населения. Железные дороги – это одна из важнейших артерий этой системы. В настоящее время, согласно исследованиям Института экономики и развития транспорта, в нашей стране наблюдается увеличение пассажиропотока на основных направлениях. На каждом этапе своего реализуемого по железной дороге путешествия (начиная от