

А.В. ПУЗАТОВА<sup>1</sup>, М.А. ДМИТРИЕВА<sup>1</sup>, А.А. ЗАХАРОВ<sup>1</sup>, В.Н. ЛЕЙЦИН<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия

## ЗОЛА-УНОСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

*Аннотация.* В последние годы поиск и использование альтернативных вяжущих строительных материалов становится предметом многих исследований как в России, так и за рубежом. Это связано с тенденцией к сокращению вредного воздействия от производства строительных материалов и к более рациональному использованию доступного сырья. Зола-уноса, являясь отходом энергетической промышленности, накопленным в больших объемах в золоотвалах по всей территории России, является перспективным материалом для использования в производстве цементосодержащих строительных материалов и изделий. В статье дан обзор научной литературы и патентов по использованию золы-уноса в бетонах различного вида, а также при производстве сухих строительных смесей. На основании проведенного обзора выявлены положительные и отрицательные воздействия от введения добавки золы-уноса на свойства бетона, способы повышения эффективности использования рассматриваемых отходов при производстве строительных материалов. В экспериментальной части работы представлены результаты по определению прочности и водонепроницаемости образцов тяжелого бетона с частичной заменой цемента золой-уноса, полученной при сжигании угля на новой тепловой электростанции в Калининградской области.

**Ключевые слова:** зола-уноса, цемент, вяжущее, ячеистый бетон, бетон, специальные виды бетонов, сухие строительные смеси.

A.V. PUZATOVA<sup>1</sup>, M.A. DMITRIEVA<sup>1</sup>, A.A. ZAKHAROV<sup>1</sup>, V.N. LEITSIN<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

## FLY ASH IN THE PRODUCTION OF CONCRETE FOR VARIOUS PURPOSE AND DRY CONSTRUCTION MIXTURES

*Abstract.* In recent years, the search for and use of alternative binder building materials has become the subject of many studies both in Russia and abroad. This is due to the trend to reduce the harmful effects of the production of building materials and to more rational use of available raw materials. Fly ash, being a waste of the energy industry, accumulated in large volumes in ash dumps throughout Russia, is a promising material for use in the production of cement-containing building materials and products. The article provides a review of scientific literature and patents on the use of fly ash in various types of concrete, as well as in the production of dry building mixtures. On the basis of the review, positive and negative effects from the introduction of fly ash additives on the properties of concrete, ways to increase the efficiency of using the considered waste in the production of building materials were identified. The experimental part of the work presents the results of determining the strength and water resistance of heavy concrete samples with partial replacement of cement with fly ash obtained by burning coal at a new thermal power plant in the Kaliningrad region.

**Keywords:** fly ash, cement, binder, cellular concrete, concrete, special types of concrete, dry mixes.

© Пузатова А.В., Дмитриева М.А., Захаров А.А., Лейцин В.Н., 2023

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бикбау М.Я., Жарко В.И. Энергосбережение и экология производства наноцементов. О возможности снижения удельных затрат топлива и выбросов газов при производстве цемента // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 7-8 (198-199). С. 22-25.

2. Данакин Д.Н., Кожухова Н.И. Разработка ячеистых бетонов на основе зол-уноса // VII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: сборник материалов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 554-558.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 464 с.
4. Боженков П.И. Технология автоклавных материалов. Л.: Стройиздат, 1978. 327 с.
5. Галибина Е.А. Автоклавные строительные материалы из отходов ТЭЦ. Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1986. 128 с.
6. Костин В.В. Получение и свойства газобетонов, наполненных золами. Автореферат на соискание учёной степени к.т.н. М., 1993.
7. Чернышов Е.М. Закономерности развития структуры автоклавных материалов // Строительные материалы. 1992. №11. С. 28-31.
8. Овчаренко Г.И. Зола углей КАТЭКа в строительных материалах. Красноярск: Изд-во Краснояр. Ун-та, 1992. 216 с.
9. Рунова Р.Ф., Плохий В.П., Дехно А.Л., Яменко А.Б. Особенности структурообразования вяжущего на основе высокоуглеродистых зол // Цемент. 1995. № 3. С. 38-41.
10. Андреев В.В., Халин В.А., Политов И.П. Автоклавные материалы на основе зол ТЭЦ // Сб. Тр./ВНИИЭСМ. М.:1992. № 9. С. 23-43.
11. Козлова В.К. Основные направления использования зол и золошлаковых смесей ТЭЦ Сибири в производстве строительных материалов и в строительстве // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура. 1990. № 10. С. 60-63.
12. Ощепков И.А., Худоносова З.А. Активизация вяжущих свойств высококальциевых зол-уноса тепловых электростанций и перспектива экономии цемента в строительстве // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура. 1995. № 12. С. 64-69.
13. Chen Y., Guan L., Zhu S., Chen W. Foamed concrete containing fly ash: Properties and application to backfilling // Construction and Building Materials. 2021. № 273. 121685.
14. Черных К.П., Овчаренко Г.И., Францен В.Б. Технология, стабилизирующая свойства газобетона на основе высококальциевых зол // Труды научно-технической юбилейной конференции «Современные строительные материалы». Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2000. С. 47-48.
15. Овчаренко Г.И., Францен В.Б., Черных К.П. Зола ТЭЦ углей КАБ в качестве сырьевого компонента для производства газобетона // Международной научно-практической конференции «Гуманизм и строительство на пороге третьего тысячелетия»: тезисы докладов. Барнаул: изд-во Алт ГТУ. 1999. С. 129.
16. Gao H., Wang W., Liao H., Cheng F. Characterization of light foamed concrete containing fly ash and desulfurization gypsum for wall insulation prepared with vacuum foaming process // Construction and Building Materials. 2021. No. 281. 122411.
17. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X., Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds // Construction and Building Materials. 2018. No. 170. С. 153-166.
18. Gökçe H.S., Hatungimana D., Ramyar K. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete // Construction and Building Materials. 2019. No. 194. С. 1-11.
19. Mugahed Amran Y.H., Alyousef R., Alabduljabbar H., Khudhair M.H.R., Hejazi F., Alaskar A., Alrshoudi F., Siddika A. Performance properties of structural fibred-foamed concrete // Results in Engineering. 2020. No. 5. 100092.
20. Liu X., Ni C., Meng K., Zhang L., Liu D., Sun L. Strengthening mechanism of lightweight cellular concrete filled with fly ash // Construction and Building Materials. 2020. No. 251. 118954.
21. Патент RU 2237041 С1, Российская Федерация, МПК С04В 38/10. Сырьевая смесь для изготовления конструктивного теплоизоляционного пенобетона: № 2003111123/03, Заявл. 17.04.2003; Оpubл. 27.09.2004 / П.Ф. Собкалов, В.М. Бертов; патентообладатель(и): Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева".
22. Патент RU 2543847 С2, Российская Федерация, МПК С04В 38/02, С04В 38/10, В82В 3/00. Способ приготовления смеси для производства композиционного ячеистого бетона: № 2013131123/03, Заявл. 05.07.2013; Оpubл. 10.03.2015 / Е. Н. Ястремский, И. А. Емельянов.
23. Патент RU 2719895 С1, Российская Федерация, МПК С04В 38/10. Бетонная смесь: № 2019121054, Заявл. 03.07.2019; Оpubл. 23.04.2020 / Р.С. Федюк, А.В. Баранов, Ю.Л. Лисейцев, В.С. Лесовик, Е.А. Попов; патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владивостокский государственный университет экономики и сервиса" (ВГУЭС).
24. Патент RU 2635687 С1, Российская Федерация, МПК С04В 38/02, С04В 38/10, С04В 40/02. Сырьевая смесь для газобетона: № 2016122858, Заявл. 08.06.2016; Оpubл. 15.11.2017 / О.В. Чемисенко, Ю.Л. Брейтер, Е.Н. Полоумова; патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный технический университет".

25. Фомина И.В., Капустин Ф.Л. Эффективный заполнитель для конструкционных бетонов на основе золы-уноса // Апробация. 2013. № 3(6). С. 56-60.
26. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Хмелевский М.В., Стась П.П. Режим перемешивания компонентов при изготовлении бетона с добавкой золы уноса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 1. С. 201-210.
27. Коровкин М.О., Калашников В.И., Ерошкина Н.А. Влияние высококальциевой золы-уноса на свойства самоуплотняющегося бетона // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 1(22). С. 49-53.
28. Jani P., Imqam A. Class C fly ash-based alkali activated cement as a potential alternative cement for CO<sub>2</sub> storage applications // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021. № 201. 108408.
29. Fuzail Hashmi A., Shariq M., Baqi A. An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction // Construction and Building Materials. 2021. № 283. 122772.
30. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X. Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds // Construction and Building Materials. 2018. №170. С. 153-166.
31. Патент RU 2745041 C1, Российская Федерация, МПК E21B 33/138, C04B 28/02, C09K 8/467, C04B 22/08, C04B 40/00, C04B 22/16, C04B 103/14. Ускорители для композитных цементных составов: № 2019121706, Заявл. 22.02.2017; Оpubл. 18.03.2021 / Т.Д. Писклак, Ш.У. Риджо, Р.Г. Морган, Т.С. Содхи, С.Е.А. Ламзден, С.Дж. Льюис; Хэллибертон энерджи сервисиз, Инк.
32. Chindaprasart P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash // Materials & Design. 2011. № 32(2). С. 723-727.
33. Патент RU 2479518 C1, Российская Федерация, МПК C04B 18/06. Сырьевая смесь для производства легкого заполнителя бетонов (пензола): № 2011137771/03, Заявл. 13.09.2011; Оpubл. 20.04.2014 / В.А. Кутолин, В.А. Широких; патентообладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (Институт геологии и минералогии СО РАН, ИГМ СО РАН).
34. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1346-1356.
35. Попов С.В., Брагинский В.Г., Давиденко В.П. Исследование специальных свойств бетона на заполнителях из золошлаковых смесей ТЭС // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2010. № 5-1(85). С. 135-139.
36. Патент RU 2717436 C1, Российская Федерация, МПК C04B 28/36, C01B 17/00, C04B 7/28, C04B 111/20. Вяжущее: № 2019115562, Заявл. 21.05.2019; Оpubл. 24.03.2020 / Р.Т. Ахметова, Г.А. Медведева, А.А. Юсупова, Л.Р. Бараева, А.Ю. Ахметова, А.И. Хацринов; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет" (ФГБОУ ВО "КНИТУ").
37. Патент RU 2482146 C2, Российская Федерация, МПК C09D 5/00, C09D 1/00. Высокотемпературное теплозащитное покрытие: № 2011136161/05, Заявл. 31.05.2011; Оpubл. 20.05.2013 / Ю.А. Григорьев; патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью "ОВК-Россия"
38. Amran M., Debbarma S., Ozbakkaloglu T. Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties // Construction and Building Materials. 2021. №270. 121857.
39. Moghaddam S.C., Madandoust R., Jamshidi M., Nikbin I.M. Mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber and steel fiber under ambient and sulfuric acid conditions // Construction and Building Materials. 2021. № 281. 122571.
40. Шалаев А.Г., Шалаева М.А., Антоненко Н.А. Использование золы-уноса для решения экологических проблем сухих строительных смесей // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Рязань, 17–19 апреля 2019 года. Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», 2020. С. 200-203.
41. Бондарь А.В., Ковальский В.П. Использование отходов для производства строительных материалов // Северная Пальмира: IX Молодежной экологической конференции: сборник научных трудов. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 2018. С. 148-151.
42. Дворкин Л.И., Житковский В.В. Сухие строительные смеси с добавкой известково-карбонатной пыли // Сухие строительные смеси. 2018. № 4. С. 13-16.
43. Бадмаева Э.В., Урханова Л.А., Лхасаранов С.А. Исследование влияния минеральных добавок на вязкость композиционных вяжущих для сухих строительных смесей // Актуальные вопросы строительного материаловедения: материалы всероссийской научно-практической конференции. Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова. 2021. С. 6-9.

44. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Бадмаева Э.В. Исследование влияния минеральных добавок на свойства и фазовый состав композиционных вяжущих для сухих строительных смесей // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 4(83). С. 79-84.
45. Ращупкина М.А., Симачева Э.Э., Скворцова Н.В. Получение эффективных сухих строительных смесей для кладочных и штукатурных работ // III Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации»: сборник материалов. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. С. 385-390.
46. Чернышева Н.В., Муртазаев С.А.Ю., Аслаханова А.Х. Сухие строительные смеси на основе КГВ // Сухие строительные смеси. 2012. № 1. С. 12-13.
47. Zakharov A., Puzatova A, Dmitrieva M., Leitsin V. Prospects for the Use of Fly Ash from a Thermal Power Plant of the Kaliningrad Region in the Construction Industry // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. № 168. С. 105-116.

## REFERENCES

1. Bikbau M.YA., Zharko V.I. Energoberezhniye i ekologiya proizvodstva nanotsementov. O vozmozhnosti snizheniya udel'nykh zatrat topliva i vybrosov gazov pri proizvodstve tsementa [Energy saving and ecology of nanocement production. On the possibility of reducing the specific fuel consumption and gas emissions in the production of cement]. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2015. No. 7-8 (198-199). Pp. 22-25. (rus)
2. Danakin D.N., Kozhukhova N.I. Razrabotka yacheistyykh betonov na osnove zol-unosa [Development of cellular concrete based on fly ash]. *VII International Youth Forum "Education. The science. Production": Conference Proceedings*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2015. Pp. 554-558. (rus)
3. Volzhenskiy A.B. Mineral'nyye vyazhushchiye veshchestva [Mineral binders]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 464 p. (rus)
4. Bozhenov P.I. Tekhnologiya avtoklavnykh materialov [Technology of autoclave materials]. Leningrad: Stroyizdat, 1978. 327 p. (rus)
5. Galibina E.A. Avtoklavnyye stroitel'nyye materialy iz otkhodov TETS [Autoclave building materials from CHP waste]. Leningrad: Stroyizdat. Leningrad. Department, 1986. 128 p. (rus)
6. Kostin V.V. Polucheniye i svoystva gazobetonov, napolnennykh zolami [Obtaining and properties of aerated concrete filled with ash]. Abstract for the degree of Ph.D. M., 1993. (rus)
7. Chernyshov Ye.M. Zakonomernosti razvitiya struktury avtoklavnykh materialov [Patterns of the development of the structure of autoclave materials]. *Stroitel'nyye materialy*. 1992. No. 11. Pp. 28-31. (rus)
8. Ovcharenko G.I. Zoly ugley KATEKa v stroitel'nykh materialakh [Ashes of KATEK coals in building materials]. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyar. Un-ta, 1992. 216 p. (rus)
9. Runova R.F., Plokhii V.P., Dekhno A.L., Yamenko A.B. Osobennosti strukturoobrazovaniya vyazhushchego na osnove vysokouglerodistykh zol [Peculiarities of structure formation of a binder based on high-carbon ash]. *Cement*. 1995. No. 3. Pp. 38-41. (rus)
10. Andreyev V.V., Khalin V.A., Politov I.P. Avtoklavnyye materialy na osnove zol TETS [Autoclave materials based on CHP ash]. Moscow: VNIIESM. 1992. No. 9. Pp.23-43. (rus)
11. Kozlova V.K. Osnovnyye napravleniya ispol'zovaniya zol i zoloshlakovykh smesey TETS Sibiri v proizvodstve stroitel'nykh materialov i v stroitel'stve [The main directions of the use of ashes and ash and slag mixtures from Siberian thermal power plants in the production of building materials and in construction]. *Izvestiya vuzov. Seriya str-vo i arkhitektura*. 1990. No. 10. Pp. 60-63. (rus)
12. Oshchepkov I.A., Khudonosova Z.A. Aktivizatsiya vyazhushchikh svoystv vysokokal'tsiyevykh zol-unosa teplovykh elektrostantsiy i perspektiva ekonomii tsementa v stroitel'stve [Activation of binding properties of high-calcium fly ash from thermal power plants and the prospect of saving cement in construction]. *Izvestiya vuzov. Seriya str-vo i arkhitektura*. 1995. No. 12. Pp. 64-69. (rus)
13. Chen Y., Guan L., Zhu S., Chen W. Foamed concrete containing fly ash: Properties and application to backfilling. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 273. 121685. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121685
14. Chernykh K.P., Ovcharenko G.I., Frantsen V.B. Tekhnologiya, stabiliziruyushaya svoystva gazobetona na osnove vysokokal'tsiyevykh zol [Technology stabilizing the properties of aerated concrete based on high-calcium ash]. *Proceedings of the scientific and technical anniversary conference "Modern Building Materials"*. Novosibirsk: Izd-vo NGASU, 2000. Pp. 47-48. (rus)
15. Ovcharenko G.I., Frantsen V.B., Chernykh K.P. Zoly TETS ugley KAB v kachestve syr'yevogo komponenta dlya proizvodstva gazobetona [Ashes of thermal power plant of KAB coals as a raw material component for the production of aerated concrete]. International scientific-practical conference "Humanism and construction on the threshold of the third millennium": abstracts. Barnaul: publishing house Alt GTU. 1999. Pp. 129. (rus)

16. Gao H., Wang W., Liao H., Cheng F. Characterization of light foamed concrete containing fly ash and desulfurization gypsum for wall insulation prepared with vacuum foaming process. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 281. 122411. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122411.
17. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X., Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 170. Pp. 153-166. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.207.
18. Gökçe H.S., Hatungimana D., Ramyar K. Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. No. 194. Pp. 1-11. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.036.
19. Mugahed Amran Y.H., Alyousef R., Alabduljabbar H., Khudhair M.H.R., Hejazi F., Alaskar A., Alrshoudi F., Siddika A. Performance properties of structural fibred-foamed concrete. *Results in Engineering*. 2020. No. 5. 100092. doi:10.1016/j.rineng.2019.100092.
20. Liu X., Ni C., Meng K., Zhang L., Liu D., Sun L. Strengthening mechanism of lightweight cellular concrete filled with fly ash. *Construction and Building Materials*. 2020. No. 251. 118954. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118954.
21. Patent RU 2237041 C1, Russian Federation, IPC C04B 38/10. Raw mix for the manufacture of structural heat-insulating foam concrete: No. 2003111123/03, Appl. 04/17/2003: Published. 09/27/2004 / P.F. Sobkalov, V.M. Bertov; patentee(s): Open Joint Stock Company "All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneev".
22. Patent RU 2543847 C2, Russian Federation, IPC C04B 38/02, C04B 38/10, B82B 3/00. Method for preparing a mixture for the production of composite cellular concrete: No. 2013131123/03, Appl. 07/05/2013: Published. 03/10/2015 / E. N. Yastremsky, I. A. Emelyanov.
23. Patent RU 2719895 C1, Russian Federation, IPC C04B 38/10. Concrete mix: No. 2019121054, Appl. 07/03/2019: Published. 04/23/2020 / R.S. Fedyuk, A.V. Baranov, Yu.L. Liseytshev, V.S. Lesovik, E.A. Popov; patent holder(s): Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladivostok State University of Economics and Service" (VGUES).
24. Patent RU 2635687 C1, Russian Federation, IPC C04B 38/02, C04B 38/10, C04B 40/02. Raw mix for aerated concrete: No. 2016122858, Appl. 06/08/2016: Published. 11/15/2017 / O.V. Chemisenko, Yu.L. Breiter, E.N. Poloumova; patent holder(s): Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Technical University".
25. Fomina I.V., Kapustin F.L. Effektivnyy zapolnitel' dlya konstruktsionnykh betonov na osnove zoly-unos [Efficient filler for structural concrete based on fly ash]. *Aprobatsiya*. 2013. No. 3(6). Pp. 56-60. (rus)
26. Golik V.I., Dmitrak YU.V., Khmelevskiy M.V., Stas' P.P. Rezhim peremeshivaniya komponentov pri izgotovlenii betona s dobavkoy zoly unosa [The mode of mixing components in the manufacture of concrete with the addition of fly ash]. *Bulletin of the Tula State University. Earth Sciences*. 2019. No. 1. Pp. 201-210. (rus)
27. Korovkin M.O., Kalashnikov V.I., Yeroshkina N.A. Vliyaniye vysokokal'tsiyevoy zoly-unosa na svoystva samouplotnyayushchegosya betona [Influence of high-calcium fly ash on the properties of self-compacting concrete]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 1(22). Pp. 49-53. (rus)
28. Jani P., Imqam A. Class C fly ash-based alkali activated cement as a potential alternative cement for CO<sub>2</sub> storage applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021. No. 201. 108408. doi:10.1016/j.petrol.2021.108408
29. Fuzail Hashmi A., Shariq M., Baqi A. An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 283. 122772. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122772.
30. She W., Du Y., Zhao G., Feng P., Zhang Y., Cao X. Influence of coarse fly ash on the performance of foam concrete and its application in high-speed railway roadbeds. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 170. Pp. 153-166. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.207.
31. Patent RU 2745041 C1, Russian Federation, IPC E21B 33/138, C04B 28/02, C09K 8/467, C04B 22/08, C04B 40/00, C04B 22/16, C04B 103/14. Accelerators for composite cement compositions: No. 2019121706, Appl. 02/22/2017: Published. 03/18/2021 / T.D. Pisklak, Sh.U. Rijo, R.G. Morgan, T.S. Sodhi, S.E.A. Lamzden, S.J. Lewis; Halliburton Energy Services, Inc.
32. Chindaprasirt P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash. *Materials & Design*. 2011. No. 32(2). Pp. 723-727. doi:10.1016/j.matdes.2010.07.036
33. Patent RU 2479518 C1, Russian Federation, IPC C04B 18/06. Raw mix for the production of lightweight concrete aggregate (penosol): No. 2011137771/03, Appl. 09/13/2011: Published. 04/20/2014 / V.A. Kutolin, V.A. wide; patentee(s): Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute of Geology and Mineralogy im. V.S. Sobolev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, IGM SB RAS).
34. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Povysheniye effektivnosti malopronitsayemykh tsementnykh kompozitov [Improving the efficiency of low-permeability cement composites]. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 10. Pp. 1346-1356. (rus)

35. Popov S.V., Braginskiy V.G., Davidenko V.P. Issledovaniye spetsial'nykh svoystv betona na zapolnitelyakh iz zoloshlakovykh smesey TES [Investigation of the special properties of concrete on aggregates from ash and slag mixtures at TPPs]. *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2010. No. 5-1(85). Pp. 135-139. (rus)
36. Patent RU 2717436 C1, Russian Federation, IPC C04B 28/36, C01B 17/00, C04B 7/28, C04B 111/20. Binder: No. 2019115562, Appl. 05/21/2019; Published. 03/24/2020 / R.T. Akhmetova, G.A. Medvedev, A.A. Yusupova, L.R. Baraeva, A.Yu. Akhmetova, A.I. Khatsrinov; patent holder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNRTU").
37. Patent RU 2482146 C2, Russian Federation, IPC C09D 5/00, C09D 1/00. High-temperature heat-shielding coating: No. 2011136161/05, Appl. 05/31/2011; Published. 05/20/2013 / Yu.A. Grigoriev; patent holder: Limited Liability Company "OVK-Russia"
38. Amran M., Debbarma S., Ozbakkaloglu T. Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 270. 121857. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.121857
39. Moghaddam S.C., Madandoust R., Jamshidi M., Nikbin I.M. Mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber and steel fiber under ambient and sulfuric acid conditions. *Construction and Building Materials*. 2021. No. 281. 122571. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122571
40. Shalayev A.G., Shalayeva M.A., Antonenko N.A. Ispol'zovaniye zoly-unosa dlya resheniya ekologicheskikh problem sukhikh stroitel'nykh smesey [The use of fly ash to solve the environmental problems of dry building mixtures]. *New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference*. Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University", 2020. Pp. 200-203. (rus)
41. Bondar' A.V., Koval'skiy V.P. Ispol'zovaniye otkhodov dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov [The use of waste for the production of building materials]. *Northern Palmyra: IX Youth Ecological Conference: Conference Proceedings*. St. Petersburg: St. Petersburg Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences, 2018. Pp. 148-151. (rus)
42. Dvorkin L.I., Zhitkovskiy V.V. Sukhiye stroitel'nyye smesi s dobavkoy izvestkovo-karbonatnoy pyli [Dry construction mixtures with the addition of lime-carbonate dust]. *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2018. No. 4. Pp. 13-16. (rus)
43. Badmayeva E.V., Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A. Issledovaniye vliyaniya mineral'nykh dobavok na vyazkost' kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya sukhikh stroitel'nykh smesey [Investigation of the influence of mineral additives on the viscosity of composite binders for dry building mixtures]. *Topical issues of building materials science: Conference Proceedings*. Ulan-Ude: Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, 2021. Pp. 6-9. (rus)
44. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Badmayeva E.V. Issledovaniye vliyaniya mineral'nykh dobavok na svoystva i fazovyy sostav kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya sukhikh stroitel'nykh smesey [Study of the influence of mineral additives on the properties and phase composition of composite binders for dry building mixtures]. *Vestnik VSGUTU*. 2021. No. 4(83). Pp. 79-84. (rus)
45. Rashchupkina M.A., Simacheva E.E., Skvortsova N.V. Polucheniye effektivnykh sukhikh stroitel'nykh smesey dlya kladochnykh i shtukaturnykh rabot [Obtaining effective dry building mixes for masonry and plastering]. *III International Scientific and Practical Conference "Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations": Conference Proceedings*. Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI), 2019. Pp. 385-390. (rus)
46. Chernysheva N.V., Murtazayev S.A.YU., Aslakhanova A.KH. Sukhiye stroitel'nyye smesi na osnove KGV [Dry building mixes based on KGV]. *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2012. No. 1. Pp. 12-13. (rus)
47. Zakharov A., Puzatova A, Dmitrieva M., Leitsin V. Prospects for the Use of Fly Ash from a Thermal Power Plant of the Kaliningrad Region in the Construction Industry. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. No. 168. Pp. 105-116. doi:10.1007/978-3-030-91145-4\_11.

#### Информация об авторах:

##### **Пузатова Анастасия Вячеславовна**

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, старший преподаватель ОНК «Институт высоких технологий», зав. лабораторией строительных материалов.  
E-mail: [asharanova@kantiana.ru](mailto:asharanova@kantiana.ru)

##### **Дмитриева Мария Александровна**

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия, доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий».  
E-mail: [ADmitrieva@kantiana.ru](mailto:ADmitrieva@kantiana.ru)

**Захаров Александр Анатольевич**

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия,  
студент магистратуры направления «Современные строительные материалы и технологии».

E-mail: [zakhorov2@gmail.com](mailto:zakhorov2@gmail.com)

**Лейцин Владимир Нояхович**

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, Россия,  
доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий».

E-mail: [VLeitsin@kantiana.ru](mailto:VLeitsin@kantiana.ru)

**Information about authors:**

**Puzatova Anastasiia V.**

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,  
senior lecturer of the Institute of High Technologies, head of building materials laboratory.

E-mail: [asharanova@kantiana.ru](mailto:asharanova@kantiana.ru)

**Dmitrieva Maria Al.**

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,  
doctor of physical and mathematical sciences, professor of the Institute of High Technologies.

E-mail: [ADmitrieva@kantiana.ru](mailto:ADmitrieva@kantiana.ru)

**Zakharov Alexander An.**

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,  
master's degree student of Modern building materials and technologies.

E-mail: [zakhorov2@gmail.com](mailto:zakhorov2@gmail.com)

**Leitsin Vladimir N.**

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,  
doctor of physical and mathematical sciences, professor of the Institute of High Technologies.

E-mail: [VLeitsin@kantiana.ru](mailto:VLeitsin@kantiana.ru)