

УДК 691.537

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-128-137

*И.Г. ЕНДЖИЕВСКАЯ, А.В. ДЕМИНА,  
А.С. ЕНДЖИЕВСКИЙ, С.Д. ДУБРОВСКАЯ,  
Сибирский федеральный университет*

## ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДОБАВОК В БЕТОНЕ

**Аннотация.** В современном строительстве минеральные добавки рассматриваются как важный компонент в бетоне ответственных конструкций, повышающий ряд технических характеристик. Представленный в качестве инертной добавки тонкодисперсный известняк может выступать как реакционноспособный в системе с супер- и гиперпластификаторами, особенно в среде твердеющего цемента, с образованием газовой фазы. На газовыделение оказывает влияние реология системы, оно может значительно возрастать при снижении вязкости, например, при работе с самовыравнивающимися смесями.

В этом случае микронаполняющая функция дисперсных добавок может быть недостаточно реализована, и оптимальное содержание не приведет к положительному влиянию на структуру и свойства бетона. Поэтому очень важно оценивать совместимость минеральных и химических добавок, которая на сегодняшний день мало изучена.

**Ключевые слова:** тонкодисперсные минеральные добавки (ТМД), минеральные наполнители бетона, микрокальцит, тонкодисперсный известняк, известняковая мука, суперпластификатор, газовыделение

**Для цитирования:** Енджиевская И.Г., Демина А.В., Енджиевский А.С., Дубровская С.Д. Оценка взаимодействия добавок в бетоне // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 3. С. 128–137.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-128-137

*I.G. ENDZHIEVSKAYA, A.V. DEMINA,  
A.S. ENDZHIEVSKII, S.D. DUBROVSKAYA,  
Siberian Federal University*

## EVALUATION OF ADDITIVE INTERACTION IN CONCRETE

**Abstract.** In modern construction, mineral additives are considered as important concrete components, which improve many technical parameters. Being an inert additive, finely dispersed limestone behaves as a reactive one in a system with super- and hyper-plasticizers, especially in a hardening cement, with the formation of a gas phase. The outgassing is influenced by the system rheology and can be significantly increased with decreasing viscosity, for example, when working with self-leveling mixtures. In this case, the micro-filling function of dispersed additives may be not sufficiently implemented, and the optimum content has not a positive effect on the structure and properties of concrete. It is therefore advisable to evaluate the compatibility of mineral and chemical additives, which has been little studied to date.

**Keywords:** finely dispersed mineral additives, mineral fillers of concrete, microcalcite, fine limestone, limestone flour, superplasticizer, outgassing

**For citation:** Endzhievskaya I.G., Demina A.V., Endzhievskii A.S., Dubrovskaya S.D. Otsenka vzaimodeistviya dobavok v betone [Evaluation of additive interaction in concrete]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 3. Pp. 128–137.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-128-137

Выполнение масштабных строительных проектов дает новый виток развития бетонных технологий. Стало возможным создавать бетоны заданной функциональности, прогнозировать их свойства, а также управлять ими, добиваясь требуемых результатов. В современном строительном бетоноведении для решения возникающих строительно-технологических задач необходимо отдавать предпочтение использованию многокомпонентного комплекса минеральных и химических добавок.

Для повышения плотности, морозостойкости и коррозионной стойкости бетона при сохранении прочностных характеристик применяют тонкодисперсные минеральные добавки (ТМД), позволяющие управлять формированием структуры и свойствами цементного камня. Как в России, так и за рубежом чаще всего в качестве ТМД используют такие продукты, как микрокремнезем, микрокальцит (известняковая мука), метакраин, доменные гранулированные шлаки. Минеральные добавки, как правило, имеют большую удельную поверхность, что может вызвать значительное повышение водопотребности смеси, увеличение капиллярной пористости и ухудшение эксплуатационных характеристик получаемых материалов.

Исходя из этого, целесообразным является применение высокоэффективных модификаторов в комплексе с ТМД, что позволяет максимально реализовать потенциал обеих групп добавок, а также получить значительный экономический эффект за счет снижения расхода цемента и увеличения долговечности бетона.

Однако вопросы взаимодействия цементного камня, минеральных наполнителей и пластификаторов мало изучены и являются актуальной задачей развития теории и практики современного строительного материаловедения.

Для обеспечения нерасслаиваемости при повышенной подвижности смеси монолитных бетонов и других технологических свойств требуется введение ТМД, поскольку дисперсная часть смеси (цемент + ТМД) должна составлять около  $500 \text{ кг/м}^3$ . Для многих производителей товарного бетона целесообразность введения минеральных добавок ограничена материальными вложениями. Поэтому важно подобрать ТМД, которая действительно повысит технические характеристики и качество получаемого бетона. В этой связи необходимо исследовать возможные реакции взаимодействия в комплексе ТМД и суперпластификатор, анализировать причины и предотвращать нежелательные и, возможно, вредные последствия для человека и окружающей среды в целом.

Известны исследования, посвященные использованию в качестве ТМД таких добавок, как микрокремнезем [2, 3], зола-унос [4–6] и каменная мука [7, 8]. В трудах [7] также описано действие каменной муки – тонко измельченной горной породы, являющейся инертным наполнителем либо частично активной вследствие механоактивации. Микрокальцит, или известняковая мука, – одна из наиболее популярных минеральных добавок [9–15], частицы которой заполняют пустоты между зёрнами цемента, улучшая микрогранулометрию смеси.

Для обеспечения высокой эффективности действия минеральных добавок важен расход, дисперсность, а также их свойства. Но даже в случае инертности минеральной добавки и подразумеваемого микронаполняющего эффекта

в зоне контакта с частицами гидратирующего вяжущего в присутствии химических модификаторов могут возникать химические или физические эффекты, приводящие к возможным реакциям. При введении ТМД энергетическое воздействие её поверхности будет оказывать существенное влияние как на контактную зону, так и на само вяжущее вещество.

Цель работы: исследование процессов взаимодействия минеральных и химических добавок – тонкодисперсного известняка в комплексе с применением пластифицирующих добавок трёх основных классов – для оценки воздействия на физико-механические характеристики бетонов, особенно с использованием смесей высокой подвижности.

Для определения причины газовыделения и оценки совместимости минеральной и химических пластифицирующих добавок для бетона их смешивали с тонкодисперсным известняком двух месторождений – Красноярского края и Кемеровской области. Минеральные добавки отбирали на предприятии, где получали помолот горных пород – известняков двух месторождений на промышленной мельнице – Мазульского Красноярского края и Соломинского Кемеровской области. Дисперсность определялась по проходу через сито 0,071 не менее 80 %.

Пластификаторы трёх основных классов представлены на рис. 1.

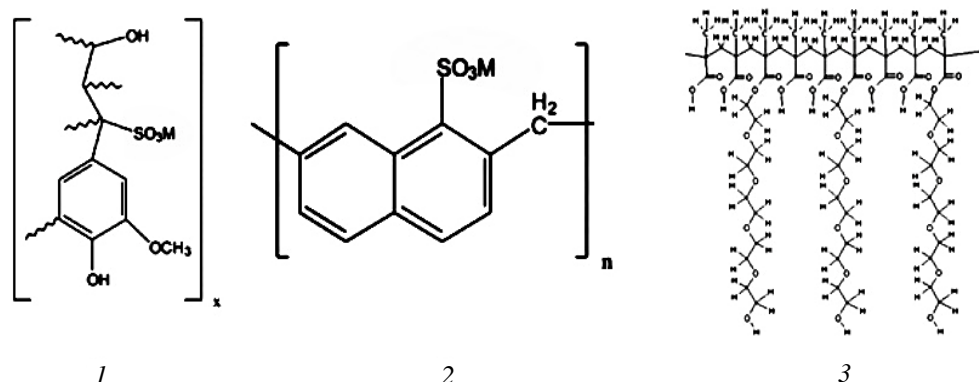


Рис. 1. Пластификаторы трёх основных классов:

1 – соединения на основе технических лигносульфанатов (ЛСТ); 2 – сульфированные нафталинформальдегидные полимеры (СНФП); 3 – поликарбоксилатные эфиры (РСЕ)

Порошковые рентгенограммы молотого известняка до и после реакций с пластификаторами снимали при комнатной температуре на рентгеновском дифрактометре D8-ADVANCE (фирма Bruker). Длина волны излучения ( $\text{CuK}\alpha$ ) равна 1,54 Å. Идентификация материалов проводилась с использованием информационно-поисковой системы (ИПС ФИ).

Химический состав молотого известняка получали на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARLOPTIM'X.

Анализ отходящих газов проводили на газоанализаторе Testo 300 Longlife, измерения pH растворов – на pH-метре – анализаторе воды мод. HI 8314.

Для определения механизма реакции между известняковой мукой и химическими добавками-пластификаторами исследовали химический и фазовый состав известняка, рентгенограмма которого представлена на рис. 2.

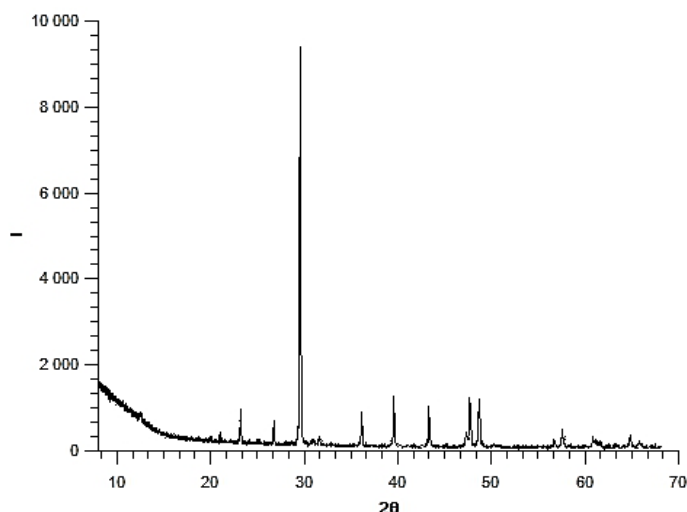


Рис. 2. Рентгенограмма известняковой муки

Результаты рентгенофазового и химического анализов известняковой муки представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Результаты рентгенофазового анализа известняковой муки**

Формула	% масс.
$\text{CaCO}_3$	86,04
$\text{SiO}_2$	4,38
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	5,40
$\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}$	4,18

Таблица 2

**Результаты химического анализа известняковой муки**

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{SO}_3$	ппп
2,88	1,60	1,19	76,56	7,9	–	–	–	0,67	9,2

Как видно из рентгенограммы, известняковая мука, полученная помолом породы Мазульского известнякового рудника, представлена в основном кальцитом ( $\text{CaCO}_3$ ,  $d = 3,86; 3,03; 1,912$  нм).

Результаты определения pH среды химических добавок-модификаторов и известняковой муки представлены в табл. 3. Концентрации подобраны под реальные условия, т. е. учитывалось, что добавка-пластификатор вводится с 1/2 или 1/3 частью воды затворения.

Таблица 3

**Результаты определения pH среды химических добавок-модификаторов  
и известняковой муки**

Образец	Концентрация		
	Конц. р-р	6%-й р-р	1%-й р-р
ЛСТ	7,6	7,5	7,2
СНФП	8,3	7,9	7,3
РСЕ	4,8	3,9	4,0
CaCO <sub>3</sub>	8,0	—	—

Для изучения процесса взаимодействия молотого известняка с пластифицирующими добавками смешивали 20 г молотого известняка, по 2 г пластификаторов трех различных видов и 30 см<sup>3</sup> воды, при этом во всех трех пробах наблюдалось мгновенное газовыделение. Газы собирались для анализа. В начальный период во всех пробах газоанализатор показывал выделение CO<sub>2</sub>, однако по истечении некоторого времени наблюдалось обильное газовыделение углеродных групп. Состав отходящих газов представлен в табл. 4.

Таблица 4

**Химический состав отходящих газов**

№ состава (CaCO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O с пластификаторами)	Вид пластифицирующей добавки	Наименование показателей	Значение показателя
1	ЛСТ+CaCO <sub>3</sub>	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , мл/м <sup>3</sup>	0,01
		SO <sub>2</sub> , мл/дм <sup>3</sup>	0,0643
2	СНФП+CaCO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub> , мл/дм <sup>3</sup>	0,0643
3	РСЕ+CaCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> OH, мл/дм <sup>3</sup>	0,35
		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , мл/дм <sup>3</sup>	0,005
		N <sub>2</sub> O, мл/дм <sup>3</sup>	0,003
		NO, мл/дм <sup>3</sup>	0,001

Данные, представленные в табл. 4, указывают на процесс химического взаимодействия между известняковой мукой и пластифицирующими добавками с разложением пластификатора и CaCO<sub>3</sub>. Также результаты анализов отходящих газов указывают на присутствие в составах добавок серы и азота, которые могут выступать как в качестве радикалов цепи (например, в виде NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), так и входить в состав самой цепи.

Водородный показатель водных растворов пластификатора с молотым известняком остался неизменным для СНФП, практически неизменным для ЛСТ и значительно изменился для РСЕ (табл. 5). Относительно водных растворов пластификаторов (см. табл. 3) можно сделать вывод, что pH растворов стремится к значению pH раствора молотого известняка, из чего следует что

мера кислотности добавки пластификатора не имеет значения, реакция протекает в среде водного раствора известняка, равного 8,0.

Таблица 5

**Водородный показатель растворов пластификаторов**

Вид модификатора	pH
ЛСТ + $\text{CaCO}_3$	7,7
PCE + $\text{CaCO}_3$	7,6
СНФП + $\text{CaCO}_3$	7,9

Для подтверждения предположений о взаимодействии пластификаторов с молотым известняком смеси оставили на 24 ч до окончания газовыделения, далее отфильтровали на вакуумном фильтре, осадки промыли водой, высушили при комнатной температуре. Полученные осадки представлены на рис. 3.

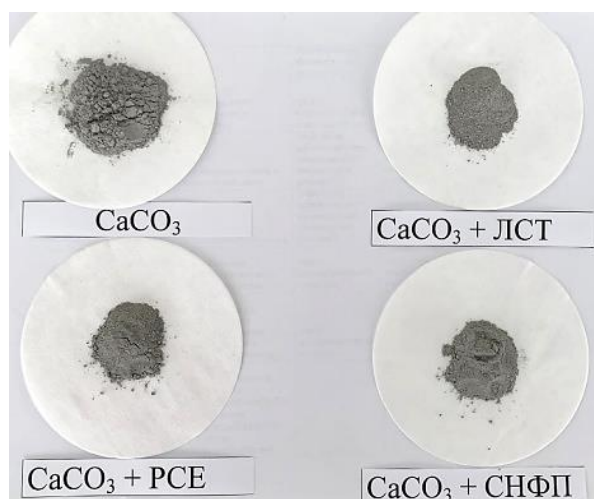


Рис. 3. Осадки после взаимодействия пластификаторов с известняком

Далее осадки исследовали методом рентгенофазового анализа. Рентгенограммы осадков представлены на рис. 4.

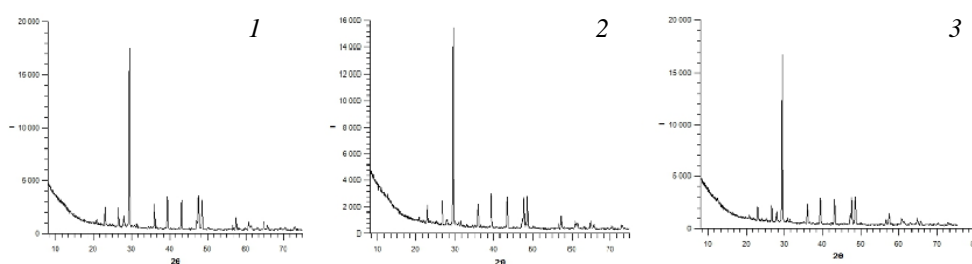


Рис. 4. Рентгенограммы осадков после взаимодействия:  
1 – ЛСТ +  $\text{CaCO}_3$ ; 2 – PCE +  $\text{CaCO}_3$ ; 3 – СНФП +  $\text{CaCO}_3$

На всех трех рентгенограммах наблюдается образование пика при  $d = 3,19$  нм, который соответствует  $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}$ , что свидетельствует о росте процентного содержания данного компонента в смеси. Результаты рентгенофазового анализа осадков представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты рентгенофазового анализа осадков**

Формула	ЛСТ + $\text{CaCO}_3$ , % масс.	СНФП + $\text{CaCO}_3$ , % масс.	РСЕ + $\text{CaCO}_3$ , % масс.
$\text{CaCO}_3$	74,28	73,09	77,31
$\text{SiO}_2$	4,12	4,31	4,15
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	7,62	9,95	5,30
$\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}$	13,98	12,65	13,24

Как следует из табл. 6, содержание  $\text{CaCO}_3$  в смеси уменьшается, что также свидетельствует о химическом взаимодействии добавок-пластификаторов с молотым известняком, отсутствие новых компонентов в смеси указывает на то, что продукт взаимодействия, содержащий  $\text{Ca}^{2+}$ , находится в растворе.

При подборе составов и оценке свойств литой, самоуплотняющейся бетонной смеси, а также самовыравнивающейся строительной смеси для напольного покрытия с использованием в качестве минеральной добавки тонкодисперсного известняка визуально наблюдалось газовыделение, которое снижало прочность затвердевшего бетона относительно составов с другими наполнителями (табл. 7). В составах с добавками микрокремнезема и каменной муки на основе кремнеземсодержащих пород такого эффекта не возникало. Данный эксперимент подтверждает, что происходит взаимодействие известняка с пластифицирующими добавками, которое, в свою очередь, снижает физико-механические характеристики бетонов.

Таблица 7

**Физико-механические характеристики бетонов**

Вид наполнителя	Расход добавки микронаполнителя, %	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
		3	7	28
Известняковая мука Ма- зунского месторождения	36	31,2	33,1	34,4
Каменная мука плотной горной породы	37	33,8	37,0	41,8

Проведённые исследования позволяют утверждать, что применение тонкодисперсного известняка в качестве минеральной добавки в бетоны с использованием пластифицирующих добавок трёх основных классов приводит к газообразованию, поскольку данные компоненты вступают во взаимодействие друг с другом. В работе определен механизм взаимодействия. Возможно, реакционная способность связана также с составом – количеством карбонатных компонентов и минералов-примесей в составе известняка.

### Выводы

В современном строительстве минеральные добавки рассматриваются как важный компонент в бетоне ответственных конструкций, повышающий ряд технических характеристик. Рассматриваемые в качестве инертных добавок молотые горные породы, в частности тонкодисперсный известняк, могут выступать как реакционноспособные в системе с супер- и гиперпластификаторами, особенно в среде твердеющего цемента, с образованием газовой фазы. На газовыделение оказывает влияние реология системы, оно может значительно возрастать при снижении вязкости, например, при работе с самовыравнивающимися смесями. В этом случае микронаполняющая функция дисперсных добавок может быть недостаточно реализована, и оптимальное содержание не приведет к положительному влиянию на структуру и свойства бетона. Поэтому очень важно оценивать совместимость минеральных и химических добавок, которая на сегодняшний день мало изучена.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болотских О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика // Технологии бетонов. 2008. Вып. 10. С. 28–31.
2. Крамар Л.Я., Кудяков А.И., Трофимов Б.Я., Шуляков К.В. Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (63). С. 147–157.
3. Ильина Л.В., Кудяков А.И., Туляганов А.К. Цементные растворы с тонкодисперсными минеральными добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 12 (732). С. 32–43.
4. Губарь В.Н., Петрик И.Ю., Жибоедов А.В. Способы повышения качества золы-уноса ТЭС, применяемой в высококачественных бетонах // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 63–70.
5. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш., Куразов М.С., Индарбаев М.И., Эльмурзаев Р.А. Разработка составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов на основе комплексных модификаторов // Устойчивое развитие науки и образования. 2017. № 11. С. 102–108.
6. Матвеева М.А., Солонина В.А., Илясова С.В. Наполнение матрицы цементного вяжущего // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов, посвященной 10-летию создания Института промышленных технологий и инжиниринга. 2018. С. 71–73.
7. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Никоненко Н.И. Влияние дисперсности минеральных наполнителей на прочность цементного камня // Актуальные вопросы строительства : материалы V Всероссийской научно-технической конференции / отв. за выпуск Ю.Л. Сколубович. 2012. С. 257–260.
8. Паломо А., Мальцева О., Фернандес-Хименес А. Промышленность в XXI веке. Новые добавки в цемент и бетон (Ч. I) // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2015. № 2–3 (39). С. 30–41.
9. Зыонг вьет лонг. Микрокальцит для качественных сухих строительных смесей // Строительные материалы. 2008. № 2. С. 10–11.
10. Исмаилова З.Х., Алиев С.А., Хубаев М.С.-М. Известняковая мука как тонкомолотый наполнитель для высокопрочных фибробетонов // Научные технологии и инновации : сб. докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 131–142.
11. Коротких Д.Н., Погорелова Ю.В. Явные реологические свойства обводненных систем техногенного карбоната кальция и известняковой каменной муки // Альтернативная и интеллектуальная энергетика : материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 264–267.



12. Коровкин М.О., Гринцов Д.М., Ерошкина Н.А., Лавров И.Ю. Влияние расхода известняковой муки и суперпластификатора на свойства мелкозернистого бетона // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова / под общ. ред. М.О. Коровкина, Н.А. Ерошкиной. 2018. С. 56–60.
13. Емельянов Д.В., Ерофеев В.Т., Балатханова Э.М., Марков С.В., Голубка А.И. Исследование цементных композитов с добавкой тонкодисперсных частиц речного известняка // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 423–425.
14. Мамытов А.С. Модифицированные растворы и бетоны повышенной прочности из местного сырья // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 7. С. 162–167.
15. Васёв С.С., Сарайкина К.А. Модификация портландцементного вяжущего карбонатными породами // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 2. С. 324–328.

## REFERENCES

1. Bolotskikh O.N. Samouplotnyayushchiysya beton i ego diagnostika [Self-compacting concrete and its diagnosis]. *Tekhnologii betonov*. 2008. No. 10. Pp. 28–31. (rus)
2. Kramar L.Ya., Kudyakov A.I., Trofimov B.Ya., Shuldyakov K.V. Tsementnye tyazhelye betony dlya stroitel'stva skorostnykh avtomobil'nykh dorog [Cement heavy concretes for highway construction]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4 (63). Pp. 147–157. (rus)
3. Il'ina L.V., Kudyakov A.I., Tulyaganov A.K. Tsementnye rastvory s tonkodispersnymi mineral'nymi dobavkami [Cement mortars with fine mineral additives]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2019. No. 12 (732). Pp. 32–43. (rus)
4. Gubar' V.N., Petrik I.Yu., Zhiboedov A.V. Sposoby povysheniya kachestva zoly-unos TES, primenyaemoi v vysokokachestvennykh betonakh [Quality improvement of TPP fly ash used in high quality concrete]. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2016. No. 3 (119). Pp. 63–70. (rus)
5. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Kurazov M.S., Indarbaev M.I., El'murzaev R.A. Razrabotka sostavov vysokoprochnykh samouplotnyayushchikhsya betonov na osnove kompleksnykh modifikatorov [Development of high-strength self-compacting concrete compositions based on complex modifiers]. *Ustoichivoe razvitie nauki i obrazovaniya*. 2017. No. 11. Pp. 102–108. (rus)
6. Matveeva M.A., Solonina V.A., Ilyasova S.V. Napolnenie matritsy tsementnogo vyazhushchego [Cement binder matrix filling]. In: *Energosberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: materialy Natsional'noi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoi 10-letiyu sozdaniya Instituta promyshlennykh tekhnologii i inzhiniringa (Proc. 10th Int. Sci. Conf. 'Energy Saving and Innovation Technologies in Fuel and Energy Sector')*. 2018. Pp. 71–73. (rus)
7. Berdov G.I., Il'ina L.V., Nikonenko N.I. Vliyanie dispersnosti mineral'nykh napolnitelei na prochnost' tsementnogo kamnya [Influence of mineral filler dispersion on cement stone strength]. In: *Aktual'nye voprosy stroitel'stva: materialy V Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Proc. 5th All-Russian. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Construction')*. 2012. Pp. 257–260. (rus)
8. Palomo A., Mal'tseva O., Fernandes-Khimenos A. Promyshlennost' v XXI veke. Novye dobavki v tsement i beton (Ch. I) [Industry in the 21st century. New additives for cement and concrete. Pt 1]. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*. 2015. No. 2–3 (39). Pp. 30–41. (rus)
9. Zyong Vet Long. Mikrokal'tsit dlya kachestvennykh sukhikh stroitel'nykh smesei [Microcalcite for quality dry mixes]. *Stroitel'nye materialy*. 2008. No. 2. Pp. 10–11. (rus)
10. Ismailova Z.Kh., Aliev S.A., Khubaev M.S-M. Izvestnyakovaya muka kak tonkomoloty napolnitel' dlya vysokoprochnykh fibrobetonov [Limestone flour as fine aggregate for high-strength fiber concrete]. In: *Naukoemkie tekhnologii i innovatsii: sb. dokladov Mezhdunarod-*

- noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (*Coll. Papers 'Science-Based Technologies and Innovations'*). 2016. Pp. 131–142. (rus)
11. Korotkikh D.N., Pogorelova Yu.V. Yavnye reologicheskie svoistva obvodnennykh sistem tekhnogenogo karbonata kal'tsiya i izvestnyakovoï kamennoi muki [Explicit rheological properties of watered systems of industrial calcium carbonate and limestone rock flour]. In: *Alternativnaya i intellektual'naya energetika: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. Int. Sci. Conf. 'Alternative and Intelligent Energy')*. 2018. Pp. 264–267. (rus)
  12. Korovkin M.O. (Ed.), Grintsov D.M., Eroshkina N.A. (Ed.), Lavrov I.Yu. Vliyanie raskhoda izvestnyakovoï muki i superplastifikatora na svoistva melkozernistogo betona [Influence of limestone flour and superplasticiser consumption on fine concrete properties]. In: *Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti stroitel'nykh materialov: materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi pamyati professora V.I. Kalashnikova (Proc. 13th Conf. of Students and Young Scientists 'Theory and Practice of Efficiency Improvement of Building Materials')*. 2018. Pp. 56–60. (rus)
  13. Emel'yanov D.V., Erofeev V.T., Balatkhanova E.M., Markov S.V., Golubka A.I. Issledovanie tsementnykh kompozitov s dobavkoi tonkodispersnykh chastits rechnogo izvestnyaka [Cement composites with fine river limestone particles]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2014. No. 9–10 (77). Pp. 423–425. (rus)
  14. Mamytov A.S. Modifitsirovannye rastvory i betony povyshennoi prochnosti iz mestnogo syr'ya [Modified mortars and reinforced concrete made of local raw materials]. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2019. V. 5. No. 7. Pp. 162–167. (rus)
  15. Vasev S.S., Saraikina K.A. Modifikatsiya portlandtsementnogo vyazhushchego karbonatnymi porodami [Modification of Portland cement binder with carbonate rocks]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 2019. V. 2. Pp. 324–328. (rus)

#### Сведения об авторах

Енджиевская Ирина Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, icaend@mail.ru

Демина Анастасия Вадимовна, аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, Nastia\_95@mail.ru

Енджиевский Антон Сергеевич, аспирант, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, antonend96@mail.ru.

Дубровская София Дмитриевна, студент, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, dubrovskaya.sofiya@inbox.ru

#### Authors Details

Irina G. Endzhietskaya, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, icaend@mail.ru

Anastasia V. Demina, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, Nastia\_95@mail.ru

Anton S. Endzhietskii, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, Nastia\_95@mail.ru

Sofiya D. Dubrovskaya, Student, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, dubrovskaya.sofiya@inbox.ru