

Е.В. ТКАЧ¹, Ю.С. ФИЛИМОНОВА¹, А.И. КОРНЕЕВ²

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

²Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНЫМ ПОЛИМЕРНЫМ МОДИФИКАТОРОМ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Аннотация. Основной задачей получения бетонов, в частности для гидромелиоративного строительства, с повышенными эксплуатационными показателями путем модифицирования их структуры и свойств комплексными добавками с каждым годом становится всё более актуальным. В рамках данных исследований рассмотрены вопросы, связанные с модификацией состава тяжелого бетона с применением комплексной химической добавки, состоящей из суперпластификатора Melflux 5581 F и водорастворимой полимерной добавки Полидон-А.

Целью исследования является разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение тяжелого бетона на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором (Melflux + Полидон-А) для сельскохозяйственного строительства.

Объект исследования - тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором для сельскохозяйственного строительства.

Результаты исследования: Полученный модифицированный бетон характеризуется повышением прочности на сжатие и растяжение при изгибе, условному коэффициенту интенсивности напряжений, водопоглощению, водонепроницаемости и морозостойкости, что дает возможность рекомендовать его для производства строительных изделий и конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации, в частности, для лотков оросительных систем.

Ключевые слова: гидромелиоративное строительство, полидисперсное вяжущее, модифицирование, суперпластификатор, водорастворимая полимерная добавка, водонепроницаемость, прочность, морозостойкость.

E.V. TKACH¹, YU.S. FILIMONOVA¹, A.I. KORNEEV²

¹National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia

²Tver State Technical University, Tver, Russia

HEAVY CONCRETE BASED ON POLYDISPERSE BINDER WITH COMPLEX POLYMER MODIFIER WITH INCREASED PERFORMANCE INDICATORS

Abstract. The main task of obtaining concrete, in particular for irrigation and drainage construction, with increased performance by modifying their structure and properties with complex additives is becoming more and more relevant every year. Within the framework of these studies, issues related to the modification of the composition of heavy concrete with the use of a complex chemical additive consisting of the superplasticizer Melflux 5581 F and the water-soluble polymer additive Polydon-A were considered.

The aim of the study is to develop a scientifically based technological solution that provides the production of heavy concrete based on a polydisperse binder with a complex polymer modifier (Melflux + Polydon-A) for agricultural construction.

The object of study is heavy concrete based on a polydisperse binder with a complex polymeric modifier for agricultural construction.

Research results: The resulting modified concrete is characterized by an increase in compressive and tensile strength in bending, a conditional stress intensity factor, water absorption, water resistance and frost resistance, which makes it possible to recommend it for the production of building products and structures operating in harsh operating conditions, in particular, for trays irrigation systems.

Keywords: irrigation and drainage construction, polydisperse binder, modification, superplasticizer, water-soluble polymer additive, water resistance, strength, frost resistance.

Введение

К бетонам, применяемым в сельскохозяйственном строительстве, предъявляются высокие требования по долговечности, оцениваемой, в первую очередь, их морозостойкостью и водонепроницаемостью.

Основным направлением решения задач означенного типа, является создание высокой плотности структуры бетона, рационально сочетающего необходимые технологические и эксплуатационные характеристики, путем использования вяжущих веществ высокого качества и комплексных модификаторов [1-6]. Перспективным является направление по разработке и реализации эффективных мер по усилению и защите железобетона материалами с повышенной степенью сопротивляемости агрессивным факторам окружающей среды, например, полимерными композициями [7-8]. Полимербетоны не нашли еще широкого распространения из-за их дефицитности и высокой стоимости и, таким образом, основным строительным материалом при возведении мелиоративных сооружений остаются бетон и железобетон.

Таким образом, решение задач получения бетонов, в частности для сельскохозяйственного строительства, с высокими эксплуатационными свойствами путем модифицирования его структуры и свойств комплексными добавками с каждым годом становится всё более актуальным [9-10].

Модели и методы

Свойства и структура бетона изучались с использованием портландцемента класса ЦЕМ I 42,5Н (производитель ООО «Холсим (Рус) Строительные Материалы» (ГОСТ 31108 – 2016)), природного песка с модулем крупности 2,5 (поставщик ОАО «Хромцовский Карьер»; ГОСТ 8736-2014), гранитного щебня; дисперсно-армирующей добавки – рубленое базальтовое волокно (ООО «ИнРес»; ТУ 5952-002-13307094-08). Расход цемента принимался равным 278 кг/м³ бетона. В качестве комплексного модификатора применялись Melflux 5581 F (ООО «БАСФ-Строительные системы») в количестве 0,3 % массы цемента и водорастворимая полимерная добавка «ПОЛИДОН-А» (ООО «Оргполимер-синтез»; ТУ 9365-002-46270704-2001). Для повышения прочностных и деформативных характеристик тяжелого бетона на основе анализа научно-технической литературы, было принято решение ввести в состав базальтовое волокно [11-12]. Для этого были разработаны составы модифицированного тяжелого бетона с расходом компонентов, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Исследуемые составы модифицированного тяжелого бетона

| Материалы | Состав и расход на 1 м ³ бетонной смеси, кг/м ³ | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Состав 1 Контрольный | Состав 2 Полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux | Состав 3 полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux + 0,2% Полидон-А | Состав 4 полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux + 0,2% Полидон-А + 0,7% базальтовое волокно |
| ЦЕМ I 42,5Н | 278 | - | - | - |
| Полидисперсное вяжущее фракции см ² /г: 1200 (85%)+ 2700 (10%) + 4500 (5%) | | 278 | 278 | 278 |
| Вода | 128 | 128 | 128 | 128 |
| Гранитный щебень | 960 | 960 | 960 | 960 |
| Песок | 1048 | 1048 | 1048 | 1048 |
| Суперпластификатор «Melflux» | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Полидон А | - | - | 0,6 | 0,6 |
| Базальтовое волокно (БВ) | - | - | - | 1,9 |
| В/Ц | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 |

На следующем этапе были исследованы их физико-механические характеристики. Результаты испытаний модифицированных бетонных смесей и бетонов по марке подвижности, средней плотности, водоотделению, растворотделению, на сжатие и растяжение при изгибе, условному коэффициенту интенсивности напряжений, средней плотности представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты исследований бетонных смесей и бетонов

| Показатели | Маркировка | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Состав 1 Контрольный | Состав 2 полидисперсное вяжущее + 0,3% Melflux | Состав 3 полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux+0,2% Полидон-А | Состав 4 полидисперсное вяжущее+ 0,3% Melflux+0,2% Полидон-А +0,7% базальтовое волокно |
| Марка подвижности бетонной смеси (ОК, см) | П1 (4) | П1 (2) | П2 (6) | П2 (5) |
| Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³ | 2414,8 | 2414,8 | 2415,4 | 2418 |
| Водоотделение бетонной смеси, % | 0,44 | 0,38 | 0,32 | 0,29 |
| Показатель раствооротделения бетонной смеси, Пр, % | 2,05 | 1,71 | 1,52 | 1,44 |
| Прочность бетона на сжатие, МПа, R _{сж} (ср.) | 36,4 | 43,8 | 54,7 | 60,5 |
| Прочность бетона на растяжение при изгибе, МПа, R _и (ср.) | 5,24 | 5,47 | 6,02 | 6,45 |
| Условный коэффициент интенсивности напряжений, МПа×м ^{0,5} , K _с * | 0,050147 | 0,052431 | 0,057965 | 0,069468 |
| Средняя плотность бетона, кг/м ³ | 2388 | 2388 | 2389 | 2392 |

Установлено увеличение предела прочности на сжатие и растяжение при изгибе в предлагаемом составе Полидон-А +0,7% БВ на ~ 77% и ~31% соответственно по отношению к контрольному составу.

Для работы в суровых условиях эксплуатации лотков для оросительных систем важной характеристикой являются гидрофизические свойства, которые значительно повышают долговечность и безотказный срок их службы [13-20]. В связи с этим нами были проведены стандартные методы испытания, предлагаемых модифицированных составов бетона. Результаты испытаний на водопоглощение и водонепроницаемость представлены в таблице 3. Анализ полученных данных таблицы 3 показывает, что бетон с суперпластификатором Полидон-А совместно с базальтовым волокном (состав 4 Полидон-А + 0,7% базальтовое волокно) снижает водопоглощение на ~ 45% в сравнении с контрольным (состав 1), на ~ 24% – состав 2 (полидисперсное вяжущее), ~ 39,5% – состав 3 (Полидон-А). При этом марка по водонепроницаемости модифицированного бетона (состав 4) повысилась на 6 ступеней нагружения в сравнении с контрольным (состав 1), на 2 ступени (состав 2), на 6 ступени относительно бетона без волокна (состав 3).

Таблица 3 - Результаты испытаний гидрофизических свойств

| Маркировка образца | Водопоглощение по массе, % | Водонепроницаемость, МПа | Марка бетона по водонепроницаемости |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Состав 1 Контрольный (заводской) | 3,8 | 0,8 | W8 |
| Состав 2 Полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux | 2,9 | 1,0 | W10 |
| Состав 3 Полидисперсное вяжущее+ 0,3% Melflux+0,2% Полидон-А | 2,3 | 1,4 | W14 |
| Состав 4 Полидисперсное вяжущее + 0,3% Melflux+0,2% Полидон-А +0,7% базальтовое волокно | 2,1 | 1,4 | W14 |

Для проведения испытаний на морозостойкость применялся первый базовый метод по требованиям ГОСТ 21509-76 «Лотки железобетонные оросительных систем. Технические условия». Результаты испытаний на морозостойкость исследуемых бетонов отображены в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты испытания бетонов на морозостойкость

| Маркировка образца | Потеря массы образца, %, после циклов | | | | | K _{мрз} после циклов | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------|-----|-----|-----|-------------------------------|------|------|------|------|
| | 200 | 300 | 400 | 500 | 550 | 200 | 300 | 400 | 500 | 550 |
| Состав 1 Контрольный | 1,14 | 3,1 | 6,5 | - | - | 0,99 | 0,92 | 0,71 | - | - |
| Состав 2 Полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux | 0,5 | 1,2 | 2,1 | 3,2 | 5,4 | 1,1 | 0,96 | 0,94 | 0,91 | 0,72 |
| Состав 3 Полидисперсное вяжущее+0,3% Melflux+0,2% Полидон-А | 0,4 | 0,98 | 1,7 | 2,5 | 5,0 | 1,2 | 1,02 | 0,95 | 0,94 | 0,74 |
| Состав 4 Полидисперсное вяжущее +0,3% Melflux+0,2% Полидон-А +0,7% базальтовое волокно | 0,1 | 0,4 | 0,7 | 1,4 | 3,1 | 1,10 | 1,08 | 1,02 | 0,98 | 0,94 |

Примечание. K_{мрз} – отношение показателя прочности образца после испытания его морозостойкости к прочности образца материала в водонасыщенном состоянии до определения морозостойкости.

Анализ данных по таблице 4 показывает, что высокая морозостойкость (состав 4) с оптимальным расходом базальтового волокна 0,7% характеризуется потерей массы до 2,5% и прочности на 6 % при 500 циклах испытания. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемый состав (состав 4) имеет запас после 500 циклов испытаний по потере массы и прочности, что значительно превышает требуемый показатель морозостойкости бетона F₁200.

Таблица 5 - Анализ эксплуатационных характеристик разработанного оптимального состава тяжелого бетона в сравнении с контрольным

| Показатели смеси и бетона | Контрольный (заводской) Состав 1 | Полидисперсное вяжущее+0,3% Melflux+ 0,2% Полидон-А + 0,7% базальтовое волокно Состав 2 | Требования ГОСТ 21509-76 |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Марка подвижности бетонной смеси (ОК, см) | П1 (4) | П2 (5) | П1 (1-4) |
| Средняя плотность, кг/м ³ | 2415 | 2418 | 2200-2500 |
| Предел прочности на сжатие, МПа/Класс бетона | 30,4/B25 | 53,9/B40 | 28,9/B22,5 |
| Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа | 5,24 | 6,88 | - |
| Условный коэффициент интенсивности напряжений, МПа×м ^{0,5} | 0,050147 | 0,069468 | - |
| Водопоглощение, % масс. | 3,8 | 2,1 | - |
| Марка бетона по водонепроницаемости | W8 | W14 | - |
| Марка бетона по морозостойкости, F ₁ | 200 | 500 | 200 |
| Водоцементное отношение, В/Ц | 0,46 | 0,46 | 0,46 |

Анализ полученных данных таблицы 5 показывает, что по сравнению с контрольным составом бетона (состав 1), модифицированный бетон состав 2 (с полидисперсное вяжущие +0,3% Melflux+ 0,2% Полидон-А + 0,7% базальтовое волокно) обладает технической эффективностью по следующим показателям: пределу прочности на сжатие и растяжение при изгибе, условному коэффициенту интенсивности напряжений, водопоглощению, водонепроницаемости, морозостойкости.

Выводы

Решением проблемы получения эффективного бетона для гидромелиоративного строительства с улучшенными эксплуатационными свойствами (прочность, водонепроницаемость, трещиностойкость) может быть осуществлено за счет модифицирования разнодисперсного вяжущего комплексным полимерным модификатором (0,3% Melflux+ 0,2% Полидон-А).

Разработан состав бетонной смеси и установлены технологические решения для получения эффективного бетона на основе разнодисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором для гидромелиоративного строительства с повышенными эксплуатационными и физико-механическими характеристиками: предел прочности на сжатие – 53,9 мпа; предел прочности на растяжение при изгибе – 6,88 мпа; условный коэффициент интенсивности напряжений - 0,069468 МПа×м^{0,5}×10⁻³; водопоглощение – 2,1% масс.; марка по водонепроницаемости – W14; морозостойкость F₁500. Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать предлагаемый состав модифицированного бетона для производства строительных изделий и конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации, в частности, для лотков оросительных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд. Ассоциации строительных вузов. 2006. 368 с.
2. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. (Chemistry, Moscow, 1980).
3. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, *Construction Materials*, 8, 84-87(2015) DOI: 10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88.
4. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kizinievich O., Kizinievich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, *Construction Materials*. 2016. № 8. С. 20-29.
5. Энтин З.Б., Юдович Б.Э. Многокомпонентные цементы. Научн. тр. // НИИцемент, 1994. Вып 107. С. 3-76. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-25-29.
6. Величко Е.Г., Шумилиа Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235-243. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.
7. 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.
8. Самченко С.В., Абрамов М.А., Егоров Е.С. Особенности протекания гидратации и твердения цементных паст с добавкой гидратированного цемента // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27. № 1. С. 24-28.
9. Филимонова Ю.С., Величко Е.Г. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона // Строительство и реконструкция. 2021. №4 (96). С.107-109. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112.
10. Соловьев В.И., Ткач Е.В., Серова Р.Ф., Ткач С.А., Тоимбаева Б.М., Сейдинова Г.А. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органоминеральными модификаторами // Фундаментальные исследования. 2014. №8-3. С. 590-595.
11. Самченко С.В., Козлова И.В., Земскова О.В., Дударева М.О., Шубина Е.С. Сравнительный анализ способов модифицирования шлакопортландцемента ультрадисперсным компонентом // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27. № 4. С. 113-120.
12. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема // Инновации и инвестиции. 2019. №10. С. 289-292.
13. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Улучшение физико-механических свойства модифицированного бетона на основе применения химически активированного микрокремнезема с микроармирующим волокном // Строительство и реконструкция. 2020. №2 (88). С. 123-135.
14. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. *Applied Mechanics and Materials*, **459**, 82-86(2013) DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82
15. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-303**, (470-478) 2006. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470
16. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-302**, 26-34(2006). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.26156.
17. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. *Advanced Materials Research*. **1054**, 154-161(2014). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154
18. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов, *Construction Materials*. 2008. № 3. С. 20-23.
19. Суздальцев О.В. Новые высокоэффективные бетоны, *New university. Technical sciences*, 7-8(29-30), 44-47(2014).
20. Melihov I.V. Physicochemical Evolution of Solid, (Binomial. Knowledge laboratory, Moscow, 2009).

REFERENCES

1. Bazhenov YU.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high quality concretes. М.: Ed. Association of construction universities. 2006. 368 p.
2. Ur'ev N.B. Vysokokoncentrirovannye dispersnye sistemy, (Chemistry, Moscow, 1980).
3. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, *Construction Materials*, **8**, 84-87(2015) DOI: 10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88.

4. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kizinievich O., Kizinievich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, *Construction Materials*. 2016. N. 8. С. 20-29.
5. Entin Z.B., YUdovich B.E. Mnogokomponentnye cementy. *Nauchn. tr. // NIICement*, 107. 1994. Pp. 3-76. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-25-29.
6. Velichko E.G., SHumilina YU.S. K probleme formirovaniya dispersnogo sostava i svoystv vysokoprochnogo betona // *Vestnik MGSU*, **15(2)**, 235-243(2020). DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.
7. Samchenko S.V., Egorov E.S. Control of the properties of cement paste during its modification with a pre-hydrated cement suspension. *Technique and technology of silicates*. **28 (2)**, 54-58 (2021).
8. Samchenko S.V., Abramov M.A., Egorov E.S. Peculiarities of hydration and hardening of cement pastes with the addition of hydrated cement. *Technique and technology of silicates*. **27 (1)**, 24-28(2020).
9. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Cement concrete with improved physical and mechanical properties based on the use of activated silica fume. *Innovations and investments*. **10**, 289-292(2019).
10. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Improving the physical and mechanical properties of modified concrete based on the use of chemically activated microsilica with micro-reinforcing fiber. *Construction and Reconstruction*. **2 (88)**, 123-135(2020).
11. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O., Shubina E.S. Comparative analysis of methods for modifying Portland slag cement with an ultrafine component, *Technique and technology of silicates*. **27 (4)**, 113-120(2020).
12. Filimonova YU.S., Velichko E.G. Study of the complex modification of heavy concrete // *Construction and reconstruction*. **4 (96)**, 107-109(2021). DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112.
13. Soloviev V.I., Tkach E.V., Serova R.F., Tkach S.A., Toimbaeva B.M., Seydinova G.A. Research of cement stone porosity modified by complex organic mineral modifiers // *Fundamental research.*, **8-3**, 590-595(2014).
14. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. *Applied Mechanics and Materials*, **459**, 82-86(2013) DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82
15. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-303**, 470-478(2006). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470
16. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-302**, 26-34(2006). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.26156.
17. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. *Advanced Materials Research*. **1054**, 154-161(2014). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154
18. Kalashnikov V.I. Promyshlennost' nerudnyh stroitel'nyh materialov i budushchee betonov, *Construction Materials*. 2008. N. 3. Pp. 20-23.
19. Suzdal'cev O.V. Novye vysokeffektivnye betony, New university. *Technical sciences*, **7-8(29-30)**, 44-47(2014).
20. Melihov I.V. *Physicochemical Evolution of Solid*, (Binomial. Knowledge laboratory, Moscow, 2009).

Информация об авторах:

Ткач Евгения Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительного материаловедения.
E-mail: ev_tkach@mail.ru

Филимонова Юлия Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
преподаватель кафедры строительного материаловедения.
E-mail: JuliaS06@mail.ru

Корнеев Александр Игоревич

Тверской государственный технический университет г. Тверь, Россия,
аспирант кафедры Автоматизация технологических процессов.
E-mail: blpgg@yandex.ru

Information about authors:

Tkach Evgeniya V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, professor of the department building materials science.

E-mail: ev_tkach@mail.ru

Filimonova Yulia S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
lecturer of the department of building materials science.

E-mail: JuliaS06@mail.ru

Korneev Alexander I.

Tver State Technical University Tver, Russia
postgraduate of the department Automation of technological processes.

E-mail: blpgg@yandex.ru