

Academia. Архитектура и строительство, № 1, стр. 101–107.
Academia. Architecture and Construction, no. 1, pp. 101–107.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 534.231
doi: 10.22337/2077-9038-2023-1-101-107

Торкрет-бетоны и инъекционные растворы для комплексного ремонта подземных сооружений

Лесовик Валерий Станиславович (Белгород). Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор. Кафедра строительного материаловедения, изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46. БГТУ). Эл. почта: naukavs@mail.ru

Федюк Роман Сергеевич (Владивосток). Доктор технических наук. Филиал ЦНИИП Минстроя России ДальНИИС (Россия, 690933, Владивосток, ул. Бородинская, 14, ДальНИИС). Эл. почта: roman44@yandex.ru

Панарин Игорь Иванович (Владивосток). Политехнический институт Дальневосточного федерального университета (Россия, 690922, Владивосток, о. Русский, нп. Аякс, 10, ДВФУ). Эл. почта: panarin.ii@dvfu.ru

Аннотация: Даны теоретические основы повышения эффективности торкрет-бетонов и инъекционных растворов на композиционном цементе (КЦ), заключающиеся в создании высокоплотной упаковки гидратных новообразований с ударопрочной структурой за счёт применения новых нетрадиционных сырьевых компонентов (алюмосиликатов, полученных по разработанной технологии). В результате доказан рост ранней прочности при сжатии торкрет-бетонов от применения КЦ на 62%, при изгибе – 90%, а коэффициента ударной вязкости – на 80%; при этом достигнута марка по водонепроницаемости W16. Разработаны научно обоснованные способы управления структурообразованием малопористого цементного материала с упрочнением контактной зоны между старым и новым бетонными слоями за счёт подбора компонентов в рациональной пропорции и гранулометрии, что позволяет создать слой торкрет-бетона аналогичный базовой матрице усиливаемой стены. Разработана широкая номенклатура инъекционных растворов из композиционных цементов, измельчённых до удельной поверхности 450 м²/кг.

Ключевые слова: торкрет-бетон, раствор, клинкер, подземные сооружения, композиционный цемент

Финансирование. Финансирование. Исследование выполнено за счёт средств государственной фундаментальных научных исследований Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) в рамках Плана фундаментальных научных исследований РААСН и Минстроя России на 2023 год, тема № 3.1.2.8 «Разработка теоретических и технологических основ получения дорожных и аэродромных бетонных покрытий повышенной долговечности с добавками гидротермального нанокремнезема вулканогенного происхождения».

Shotted Concrete and Injection Mortars for Comprehensive Repair of Under-ground Structures

Valery S. Lesovik (Belgorod). Corresponding Member of RAACS, Doctor of Sciences in Technology, Professor. Department of Building Materials Science, Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46 Kostyukov str., Belgorod, Russia, 308012. BSTU). Email: naukavs@mail.ru.

Roman S. Fediuk (Vladivostok). Doctor of Sciences in Engineering. Polytechnic Institute of the Far Eastern Federal University (10 Ajaks st, Russian island, Vladivostok, Russia, 690911. FEFU). Email: roman44@yandex.ru.

Igor I. Panarin (Vladivostok). Polytechnic Institute of the Far Eastern Federal University (10 Ajaks st, Russian island, Vladivostok, Russia, 690911. FEFU). Email: panarin.ii@dvfu.ru.

Abstract. Theoretical foundations for increasing the efficiency of shotcrete and in-jection mortars based on composite cement (CC) have been developed, which consist in creating a high-density packing of hydrate new growths with an impact-resistant structure through the use of new nontraditional raw materials (aluminosilicates obtained by the developed technology). As a result, an increase in the early compressive strength of shotcrete from the use of CC by 62%, in bending - by 90%, and the impact strength coefficient - by 80%; at the same time, the water-tightness grade W16 was achieved. Scientifically based methods have been developed to control the structure formation of a low-porous cement material with the strengthening of the contact zone between the old and new concrete layers by selecting components in a rational proportion and granulometry, which makes it possible to create a shotcrete layer similar to the base matrix of the reinforced wall. A wide range of injection solutions from composite cements ground to a specific surface area of 450 m²/kg has been developed.

Keywords: shotcrete, mortar, clinker, underground structures, composite cement.

Funding. The research was carried out with the funds of the state program of the Russian Federation "Scientific and Technological Development of the Russian Federation" for 2021–2030 within the Plan of Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences and the Ministry of Construction of Russia for 2022, topic No. 3.1.2.8 «Development of theoretical and technological foundations for obtaining road and airfield concrete pavements of increased durability with the addition of hydrothermal nano-silica of volcanic origin».

Современный этап развития цивилизации характеризуется значительным влиянием аномальных природных и техногенных воздействий. Согласно данным Счётной палаты РФ, 95% имеющихся по всей стране укрытий не готовы принять людей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, так как находятся в неудовлетворительном состоянии [1]. При этом крупные города продолжают развиваться [2], а имеющиеся городские подземные сооружения общественного назначения при должной степени подготовки способны выступать в роли объектов двойного назначения [3–5].

В связи с этим актуальной научной задачей является совершенствование строительных материалов для комплексного ремонта подземных сооружений [6–8].

Проведён анализ мирового опыта применения строительных композитов, в том числе подземного назначения [9–11]. Установлено аварийное состояние многих подземных сооружений. Налицо важность восстановления функциональной пригодности этих объектов, в том числе и для возможности эксплуатации по двойному назначению, для чего необходимо проведение комплекса ремонтных мероприятий с применением новых строительных материалов (для усиления стен и закрепления грунтов) [12–15].

Целью работы является разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение эффективных торкрет-бетонов и инъекционных растворов для комплексного ремонта подземных сооружений.

В качестве компонентов композиционного цемента (КЦ) применялись портландцементный клинкер и алюмосиликатная составляющая (АСС), полученная из золошлаковых смесей Приморской ГРЭС путём обогащения флотацией и магнитной сепарацией.

Мелкий заполнитель применялся из отсева дробления гранитного щебня производства ООО «Востокцемент» с модулем крупности 3,7 для торкрет-бетона и 1,3 для инъекционного раствора. Для снижения водопотребности бетонной смеси при сохранении её требуемой подвижности использован суперпластификатор «Хидетал ГП9 альфа В» отечественного производства, что является важным при необходимости импортозамещения.

Качество выполнения работы подтверждается применением всей нормативной документации на используемые сырьевые материалы и методы исследований с учётом требуемого количества исследуемых образцов и повторных испытаний.

Для управления структурообразованием цементного композита необходимо применение новых нетрадиционных сырьевых компонентов. При этом ценность использования сырья возрастает, если его получают в результате обогащения отходов различных производств

Большой потенциал имеют алюмосиликаты, выделенные из золошлаковых отходов гидроудаления. Извлечение и подготовка алюмосиликатов проводилась по авторской технологии с применением флотации и магнитной сепарации.

Разработана широкая номенклатура композиционных цементов, включающих портландцементный клинкер, замещенный до 65 мас. % алюмосиликатной составляющей, совместно измельчённых с гипсом в вибрационной мельнице до удельной поверхности 450 м²/кг.

Положительное влияние алюмосиликатной составляющей на прочностные характеристики подтверждается исследованием микроструктуры цементного камня. В контрольном образце (рис. 1 а) пустоты между частицами клинкера были заняты продуктами гидратации после твердения в течение 28 сут, но наблюдалось множество связанных капиллярных

пор. При использовании АСС в количестве 35 мас. % (рис. 1 б) наблюдались более плотные образования продуктов гидратации, чем в контрольном составе, блокируя связные поры.

Полученные результаты подтверждаются данными дифференциально-термического анализа (ДТА). Температурные эффекты, как в составе с 35% АСС, так и в контрольном образце, имеют схожие картины, отличаясь лишь особенностями в гидратных фазах: при температуре 100–140 °С (гидросиликатные CSH и три-сульфатные алюмоферритные AfT фазы), 180 °С (гидроалюминат C_4AH_{19}), 600 °С $[Ca(OH)_2]$, 750 и 780 °С ($CaCO_3$) и 940 °С (CSH) (рис. 2).

Снижение площади эндотермического эффекта, характеризующегося удалением физически связанной адсорбционной воды из продуктов гидратации при температуре 100–140 °С для модифицированного цементного камня, показывает снижение содержания гелеобразных новообразований в результате их кристаллизации. Эндотермический эффект при температуре около 600 °С соответствует дегидратации $Ca(OH)_2$. Рост площади

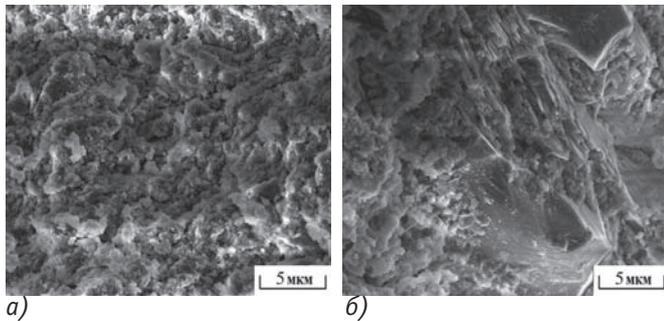


Рис. 1. Микроструктура разработанных материалов: а) контрольный состав; б) состав с 35% АСС (источник: данные авторов)



Рис. 2. Зависимость потери массы образцов от температуры: а) А300; б) Г450 (источник: данные авторов)

этого пика на термограмме контрольного цементного камня показывает большее содержание портландита в его составе. Также выявлен высокотемпературный гидросиликатный эндотермический эффект (940 °С) в немодифицированном образце А300, более выраженный, чем в модифицированном образце.

Эти результаты подтверждаются данными рентгенофазового анализа (РФА).

Положительное влияние АСС в композиционном цементе на рост содержания CSH(I) видно в том, что интенсивность самого высокого пика низкоосновных гидросиликатов кальция в образце, содержащем 35 мас. % алюмосиликатов, повысилась до 6500 по сравнению с 5800 у контрольного бездобавочного образца.

Разработана широкая номенклатура торкрет-бетонов из композиционных цементов, измельченных до удельной поверхности 450 м²/кг.

Эффект повышения прочности при сжатии торкрет-бетонов на композиционном цементе возрастал при увеличении дозировки АСС до 35% по массе, и при этом максимальный эффект отмечается для значений ранней прочности, в частности, в возрасте двух суток приращение прочности при сжатии по сравнению с бездобавочным составом было 62%, а при изгибе – 90%. Высокая ранняя прочность позволяет эффективно применять торкретбетон для срочного комплексного ремонта подземных сооружений (табл. 2).

Применение разработанных материалов проводилось при усилении бетонной стены подземного перехода толщиной 20 см слоем торкрет-бетона толщиной 6 см. Результаты усиления приведены в таблице 3.

Согласно этим результатам, прочность стены увеличилась более, чем в два раза: с 15,2 до 33,8 МПа. Это обеспечивается тем, что прочность ремонтного слоя торкрет-бетона ГТ2 на 28 сутки составляет 74,4 МПа, а также уплотнением и упрочнением контактной зоны в результате применения положений закона сродства структур при проектировании ремонтных материалов.

Характеристики водонепроницаемости разработанного торкрет-бетона (с 35 мас. % алюмосиликатной составляющей) показывали эффективную работу под давлением 1,6 МПа (марка W16). Для сравнения: контрольный немодифицированный состав показывал марку по водонепроницаемости W6 (рис. 4).

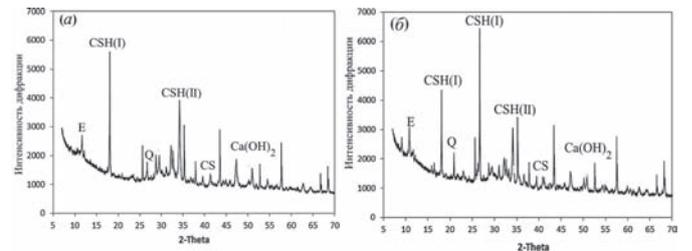


Рис. 3. Рентгенограмма образцов в возрасте 28 суток: а) контрольный состав; б) состав с 35% АСС. Обозначения: E – этtringит, $Ca(OH)_2$ – портландит, Q – кварц, CSH(I) – низкоосновный гидросиликат кальция, CSH(II) – высокоосновный гидросиликат кальция, CS – силикаты кальция (алит и белит) (источник: данные авторов)

Таблица 1. Составы торкрет-бетонов

№ состава	Расход, кг на 1 м ³						В/В
	Клинкер	АСС	Гипс	Вода	СП	Отсев (Мкр=3,7)	
АТ1	450	–	22,5	135	–	1350	0,3
АТ2	450	–	22,5	157,5	–	1350	0,35
АТ3	450	–	22,5	180	–	1350	0,4
БТ1	382,5	67,5	22,5	135	1,125	1350	0,3
БТ2	382,5	67,5	22,5	157,5	1,125	1350	0,35
БТ3	382,5	67,5	22,5	180	1,125	1350	0,4
ВТ1	337,5	112,5	22,5	135	2,25	1350	0,3
ВТ2	337,5	112,5	22,5	157,5	2,25	1350	0,35
ВТ3	337,5	112,5	22,5	180	2,25	1350	0,4
ГТ1	292,5	157,5	22,5	135	3,375	1350	0,3
ГТ2	292,5	157,5	22,5	157,5	3,375	1350	0,35
ГТ3	292,5	157,5	22,5	180	3,375	1350	0,4

Таблица 2. Механические свойства разработанных торкрет-бетонов

Свойства	АТ1	АТ2	АТ3	БТ1	БТ2	БТ3	ВТ1	ВТ2	ВТ3	ГТ1	ГТ2	ГТ3
Предел прочности при сжатии, МПа												
на 2 сутки	18,9	23,6 (+25%)	23,8 (+26%)	25,6 (+36%)	28,9 (+53%)	28,2 (+49%)	27,4 (+45%)	29,4 (+56%)	28,9 (+53%)	28,7 (+52%)	30,5 (+62%)	28,1 (+49%)
на 7 сутки	32,7	34,8 (+6%)	33,6 (+3%)	35,0 (+7%)	37,1 (+13%)	36,2 (+11%)	36,1 (+10%)	38,2 (+17%)	37,3 (+14%)	37,2 (+14%)	39,3 (+20%)	38,4 (+17%)
на 28 сутки	56,9	59,2 (+4%)	58,1 (+2%)	64,2 (+13%)	72,3 (+27%)	68,8 (+21%)	68,5 (+20%)	73,5 (+29%)	72,3 (+27%)	70,0 (+23%)	74,4 (+31%)	70,4 (+24%)
$R_{сж}^2 / R_{сж}^{28}$	0,33	0,40	0,41	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,40
Предел прочности при изгибе, МПа												
на 2 сутки	2,1	2,6 (+24%)	2,6 (+24%)	3,1 (+48%)	3,8 (+81%)	3,7 (+76%)	3,6 (+71%)	3,4 (+61%)	3,8 (+81%)	3,7 (+76%)	4,0 (+90%)	3,7 (+76%)
на 7 сутки	4,3	4,5 (+2%)	4,4 (+1%)	4,9 (+14%)	5,2 (+21%)	5,1 (+19%)	5,1 (+19%)	5,3 (+23%)	5,2 (+21%)	5,2 (+21%)	5,5 (+28%)	5,4 (+26%)
на 28 сутки	8,0	8,3 (+4%)	8,1 (+1%)	9,6 (+20%)	10,8 (+35%)	10,3 (+29%)	10,3 (+29%)	10,5 (+31%)	10,8 (+35%)	10,5 (31%)	11,2 (+40%)	10,6 (+32%)
$R_{из} / R_{сж}^2$, 2 сутки	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
$R_{из}^2 / R_{из}^{28}$	0,26	0,30	0,27	0,31	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
$R_{из} / R_{сж}^2$, 7 сут.	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$R_{из} / R_{сж}^2$, 28 сут.	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Таблица 3. Результаты усиления стены подземного сооружения торкрет-бетоном

Прочность при сжатии до усиления, МПа	Прочность при сжатии после усиления, МПа	Адгезия к бетону, МПа	Толщина стены до усиления, см	Толщина стены после усиления, см
15,2	33,8	3,5	20	26

Таблица 4. Составы инъекционных растворов

№ состава	Расход, кг на 1 м ³						В/В
	Клинкер	АСС	Гипс	Вода	СП	Отсев (Мкр=1,3)	
АР1	450	–	22,5	450	–	1350	1,0
АР2	450	–	22,5	675	–	1350	1,5
АР3	450	–	22,5	900	–	1350	2,0
ДР1	247,5	202,5	22,5	450	4,5	1350	1,0
ДР2	247,5	202,5	22,5	675	4,5	1350	1,5
ДР3	247,5	202,5	22,5	900	4,5	1350	2,0
ЕР1	202,5	247,5	22,5	450	5,625	1350	1,0
ЕР2	202,5	247,5	22,5	675	5,625	1350	1,5
ЕР3	202,5	247,5	22,5	900	5,625	1350	2,0
ЖР1	157,5	292,5	22,5	450	6,75	1350	1,0
ЖР2	157,5	292,5	22,5	675	6,75	1350	1,5
ЖР3	157,5	292,5	22,5	900	6,75	1350	2,0

Таблица 5. Механические свойства разработанных инъекционных растворов

Свойства	АР1	АР2	АР3	ДР1	ДР2	ДР3	ЕР1	ЕР2	ЕР3	ЖР1	ЖР2	ЖР3
Предел прочности при сжатии, МПа на 2 сутки	17,9	17,3 (–3%)	17,0 (–5%)	21,5 (+20%)	22,4 (+25%)	19,3 (+8%)	22,1 (+23%)	21,5 (+20%)	21,2 (+18%)	21,9 (+22%)	20,8 (+16%)	19,7 (+10%)
на 7 сутки	31,7	30,8 (–3%)	30,6 (–3%)	32,4 (+2%)	33,7 (+6%)	31,5 (–1%)	33,5 (+6%)	32,8 (+3%)	32,1 (+1%)	32,3 (+2%)	31,6 (–1%)	31,2 (–2%)
на 28 суток	54,1	53,8 (–1%)	55,0 (–2%)	61,2 (+13%)	68,1 (+26%)	63,3 (+17%)	67,0 (+24%)	67,4 (+25%)	69,1 (+28%)	61,3 (+13%)	67,3 (+25%)	65,2 (+20%)
$R_{сж}^2 / R_{сж}^{28}$	0,33	0,32	0,31	0,35	0,33	0,30	0,33	0,32	0,31	0,36	0,31	0,30
Предел прочности при изгибе, МПа на 2 сутки	1,8	1,7 (–6%)	1,6 (–12%)	2,6 (+44%)	2,7 (+50%)	1,9 (+6%)	2,2 (+22%)	2,2 (+22%)	2,2 (+22%)	2,2 (+22%)	2,1 (+17%)	1,9 (+6%)
на 7 сутки	3,8	3,7 (–1%)	3,7 (–1%)	3,9 (+1%)	4,1 (+8%)	3,8	4,0 (+5%)	3,9 (+1%)	3,9 (+1%)	3,9 (+1%)	3,8	3,7 (–1%)
на 28 суток	7,0	7,0	7,1 (+1%)	8,0 (+14%)	8,6 (+23%)	7,6 (+9%)	8,0 (+14%)	8,1 (+16%)	8,3 (+19%)	8,0 (+14%)	7,8 (+11%)	7,3 (+4%)
$R_{из} / R_{сж}^2$, 2 сутки	0,10	0,10	0,09	0,12	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
$R_{из}^2 / R_{из}^{28}$	0,26	0,24	0,23	0,27	0,32	0,25	0,28	0,27	0,26	0,28	0,27	0,26
$R_{из} / R_{сж}^2$, 7 сут.	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
$R_{из} / R_{сж}^2$, 28 сут.	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

Разработана широкая номенклатура инъекционных растворов из композиционных цементов, измельчённых до удельной поверхности 450 м²/кг (табл. 4).

В связи с высоким водовяжущим отношением были получены литые растворы, которые являются эффективными для удобства инъекционного закрепления грунтов.

Эффект повышения прочности при сжатии инъекционных растворов был максимальным при дозировке АСС 45% по массе, и при этом максимальный эффект отмечается для значений ранней прочности, в частности, в возрасте двух суток приращение прочности при сжатии по сравнению с бездобавочным составом было 25%, а при изгибе – 50%. Высокая ранняя прочность позволяет эффективно применять инъекционные растворы для срочного закрепления грунтов в ходе комплексного ремонта подземных сооружений (таблица 5).

В итоге выполненных исследований было установлено следующее.

- Многие подземные сооружения находятся в аварийном состоянии. Налицо важность восстановления функциональной пригодности этих объектов, в том числе и для возможности эксплуатации по двойному назначению. Для этой цели необходимо проведение комплекса ремонтных мероприятий с применением новых строительных материалов (для усиления несущих стен и закрепления грунтов оснований).

- Выбранные для исследований материалы являются отечественными и зачастую представляют собой отходы производства. Методология работы базируется на принципах системного изучения структуры и свойств цементных композитов.

- Разработаны композиционные цементы с применением алюмосиликатов, извлечённых из обогащённых золошлаковых смесей; полученные вяжущие имеют хороший потенциал для комплексного ремонта подземных сооружений: вяжущие характеризуются максимальной прочностью (35% АСС), а при максимальной утилизации отходов производства (до 65% АСС) вяжущие являются перспективными для закрепления грунтов.

- Комплексный ремонт подземных сооружений с применением разработанных материалов для инъекционного закрепления грунтов оснований и торкрет-бетонного усиления несущих стен позволит подготовить существующие городские подземные сооружения для возможности эксплуатации в качестве защитных.

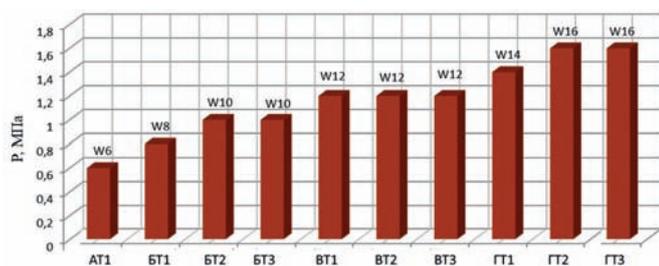


Рис. 4. Значения рабочего давления и марки по водонепроницаемости торкрет-бетона (источник: данные авторов)

Список источников

1. Почему возник дефицит бомбоубежищ в России // Newsland. – URL: <https://newizv.ru/news/society/28-11-2017/spasutsya-ne-vse-pochemu-voznik-defitsit-bomboubezhischv-rossii> (дата обращения 03.03.2023). – Текст : электронный.

2. Есаулов, Г.В. Градостроительство: опыт, образование, практика / Г.В. Есаулов. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2019. – № 4. – С. 137–139.

3. Соловьёв, В.Г. Анализ дефектов и повреждений железобетонных конструкций, характерных для подземных сооружений, на примере защитных сооружений гражданской обороны / В.Г. Соловьёв, Е.А. Шувалова, А.Ю. Орехова, А.А. Тюрина. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9, № 1 (28). – С. 124–133.

4. Репринцев, В.А. Пути восстановления и усиления защитных свойств защитных сооружений гражданской обороны на основе применения новых конструкционных материалов / В.А. Репринцев, И.В. Треушков, А.Л. Литвин. – Текст : непосредственный // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2021. – № 1 (48). – С. 39–46.

5. Боголюбов, В.С. Актуальные проблемы крупных городов / В.С. Боголюбов. – СПб: СПбГИЭА, 1997. – 194 с. – Текст : непосредственный.

6. Айзенштадт, А.М. Активность поверхности порошков бетонного лома / А.М. Айзенштадт, Т.А. Дроздук, В.Е. Данилов, М.А. Фролова, Г.А. Гарамов. – Текст : непосредственный // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 108–116.

7. Лесовик, В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении : Монография / 2-изд. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – 287 с. – Текст : непосредственный.

8. Харченко, И.Я. Минеральные инъекционные смеси для строительства и эксплуатации подземных сооружений в условиях плотной городской застройки / И.Я. Харченко, А.И. Панченко, А.А. Пискунов, А.И. Харченко, М.М. Мирзоян. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2020. – № 10. – С. 53–60.

9. Лесовик, В.С. Влияние состава на свойства и строение модифицированных цементных композитов / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк, Ю.Л. Лисейцев, И.И. Панарин, В.В. Воронов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2022. – № 9. – С. 39–49.

10. Xie, H. Research on Energy Dissipation and Damage Evolution of Dynamic Splitting Failure of Basalt Fiber Reinforced Concrete / H. Xie, L. Yang, K. Zhao. – Текст : непосредственный // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 330. – 127292.

11. Raillani, B. The Effectiveness of the Wind Barrier in Mitigating Soiling of a Ground-Mounted Photovoltaic Panel at Different Angles and Particle Injection Heights / B. Raillani, D.

Chaatouf A. Mezrhab. – Текст : непосредственный // Results in Engineering. – 2022. – Vol. 16. – Article 100774.

12. Sundry, D. Shear Strength Performance of Dredged Sediment Soil Stabilized with Lime / D. Sundry, R.P. Munirwan, R.P. Jaya. – Текст : непосредственный // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C13. – 2022. – Vol. 128. – Article 103299.

13. Карпенко, Н.И. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – №1. – С. 93–102.

14. Лесовик, В.С. Закон сродства структур в материаловедении / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, И.Л. Чулкова. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3-2. – С. 267–271.

15. Пухаренко, Ю.В. Стойкость фибробетона к высокотемпературному воздействию / Ю.В. Пухаренко, М.П. Кострикин. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 2 (88). – С. 96–106.

References

1. Spasutsya ne vse. Pochemu vznik defitsit bomboubezhishch v Rossii [Not Everyone Will be Saved. Why There Was a Shortage of Bomb Shelters in Russia]. URL: <https://newizv.ru/news/society/28-11-2017/spasutsya-ne-vse-pochemu-voznik-defitsit-bomboubezhishch-v-rossii> (Accessed 03/03/22) (In Russ.)

2. Yesaulov G.V. Gradostroitel'stvo: opyt, obrazovaniye, praktika [Urban Planning: Experience, Education, Practice]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2019, no. 4, pp. 137–139. (In Russ., abstr. in Engl.)

3. Solov'yov V.G., Shuvalova Ye.A., Orekhova A.Yu., Tyurina A.A. Analiz defektov i povrezhdenii zhelezobetonnykh konstruktsii, kharakternykh dlya podzemnykh sooruzhenii, na primere zashchitnykh sooruzhenii grazhdanskoj oborony [Analysis of Defects and Damages of Reinforced Concrete Structures Characteristic of Underground Structures on the Example of Protective Structures of Civil Defense]. In: *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [News of Universities. Investments. Construction. Real estate]. 2019, no. 1(28), pp. 124–133. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Reprintsev V.A., Treushkov I.V., Litvin A.L. Puti vosstanovleniya i usileniya zashchitnykh svoystv zashchitnykh sooruzheniy grazhdanskoj oborony na osnove primeneniya novykh konstruktsionnykh materialov [Ways of Restoring and Strengthening the Protective Properties of Protective Structures of Civil Defense Based on the Use of New Structural Materials]. In: *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoj zashchity* [Scientific and educational problems of civil protection]. 2021, No. 1 (48), pp. 39–46. (In Russ.)

5. Bogolyubov V.S. Aktual'nye problemy krupnykh gorodov [Actual Problems of Large Cities]. Saint Petersburg, SPbGIEA, 1997, 194 p. (In Russ.)

6. Ayzenshtadt A.M., Drozdyuk T.A., Danilov V.Ye., Frolova M.A., Garamov G.A. Aktivnost' poverkhnosti poroshkov betonogo loma [Surface Activity of Concrete Scrap Powders]. In: *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal* [Nanotechnologies in Construction: a Scientific online journal]. 2021, no. 13(2), pp. 108–116. (In Russ. abstr. in Engl.)

7. Lesovik V.S. Geonika (geomimetika). Primery realizatsii v stroitel'nom materialovedenii [Geonics (geomimetics). Examples of Implementation in Building Materials Science]. Belgorod, 2016, 336 p. (In Russ.)

8. Kharchenko I.Ya., Panchenko A.I., Piskunov A.A., Kharchenko A.I., Mirzoyan M.M. Mineral'nyye in'yektsionnye smesi dlya stroitel'stva i ekspluatatsii podzemnykh sooruzhenii v usloviyakh plotnoi gorodskoi zastroyki [Mineral Injection Mixtures for Construction and Operation of Underground Structures under Dense Urban Development Conditions]. In: *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020, no. 10, pp. 53–60. (In Russ., abstr. in Engl.)

9. Lesovik V.S., Fediuk R.S., Liseytshev Yu.L., Panarin I.I., Voronov V.V. Vliyaniye sostava na svoistva i stroeniye modifitsirovannykh tsementnykh kompozitov [Influence of the Composition on the Properties and Structure of Modified Cement Composites]. In: *Stroitel'nyye materialy* [Building materials]. 2022, no. 9, pp. 39–49 (In Russ., abstr. in Engl.)

10. Xie H., Yang L., Zhao K. Research on Energy Dissipation and Damage Evolution of Dynamic Splitting Failure of Basalt Fiber Reinforced Concrete. In: *Construction and Building Materials*. 2022, Vol. 330, 127292. (In Engl.)

11. Raillani B., Chaatouf D., Mezrhab A. The Effectiveness of the Wind Barrier in Mitigating Soiling of a Ground-Mounted Photovoltaic Panel at Different Angles and Particle Injection Heights. In: *Results in Engineering*. 2022, Vol. 16, 100774. (In Engl.)

12. Sundry D. R.P. Munirwan, R.P. Jaya. Shear Strength Performance of Dredged Sediment Soil Stabilized with Lime. In: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C13*, 2022, Vol. 128, Article 103299. (In Engl.)

13. Karpenko N.I. Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Yerofeyev V.T. O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovечности zhelezobetonnykh konstruktsiy [On Modern Methods of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2015, no. 1, pp. 93–102. (In Russ., abstr. in Engl.)

14. Lesovik V.S. Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. Zakon srodstva struktur v materialovedenii [The Law of Structure Affinity in Materials Science]. In: *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2014, no. 3-2, pp. 267–271. (In Russ., abstr. in Engl.)

15. Pukharenko, Yu.V., Kostrikin M.P. Stoykost' fibrobetona k vysokotemperaturnomu vozdeystviyu [Resistance of Fiber-Reinforced Concrete to High-Temperature Impact]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2020, No. 2 (88), pp. 96–106. (In Russ., abstr. in Engl.)