

Исследование свойств химического анкера на основе эпоксидной смолы

Михаил Германович Ковалев, Виктория Андреевна Швецова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. С уходом иностранных компаний с российского рынка появилась необходимость в химических анкерах отечественного производства. Исследованы свойства первого полностью отечественного химического анкера UTECH HITRE500 на основе эпоксидной смолы.

Материалы и методы. Температура стеклования определялась по ГОСТ 32618.2–2014 на приборе ТМА Q400, прочность при изгибе — по ГОСТ 4648–2014, прочность при сжатии — по ГОСТ 4651–2014, прочность сцепления клеевого состава с бетоном — по ГОСТ Р 58387–2019 при помощи испытательной машины Instron 3382.

Результаты. Установлены такие характеристики химического анкера, как температура стеклования, прочность при изгибе, модуль упругости при изгибе, прочность при сжатии, сопротивление сцепления при вырыве при температурах эксплуатации: +23, +42, +70, –60 °С, а также время, за которое химический анкер набирает 97,7 % прочности на вырыв при твердении при температуре воздуха –10 °С (10 сут). Определено, что при выдерживании образцов, твердевших в течение 1 сут при комнатной температуре, при температурах +42 и +70 °С происходит значительное снижение прочности сцепления при вырыве (на 29,7 и 64,7 % соответственно). При выдерживании образцов, твердевших в течение 1 сут при комнатной температуре, при температуре –60 °С прочность на вырыв незначительно увеличилась по сравнению с контрольными образцами (на 4,6 %).

Выводы. Приведены результаты испытаний первого полностью отечественного химического анкера UTECH HITRE500. Определены температура стеклования и физико-механические свойства отвержденного химического анкера. Установлено время, необходимое для набора прочности в условиях отрицательной температуры –10 °С, равное 10 сут.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: химический анкер для бетона, химический анкер отечественного производства, температура стеклования, температура выдержки, прочность сцепления

Благодарности. Авторы благодарят генерального директора ООО «АСП-ГРУПП» С.А. Пашкевича за предоставленные образцы химических анкеров для проведения исследований.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ковалев М.Г., Швецова В.А. Исследование свойств химического анкера на основе эпоксидной смолы // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 10. С. 1617–1628. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1617-1628

Автор, ответственный за переписку: Виктория Андреевна Швецова, ShvetsovaVA@mgsu.ru.

Investigation of properties of chemical anchor on the basis of epoxy resin

Mikhail G. Kovalev, Victoria A. Shvetsova

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. With the withdrawal of foreign companies from the Russian market there is a need for domestically produced bonded chemical anchors. The properties of the first fully locally produced bonded anchor UTECH HITRE500 based on epoxy resin are studied.

Materials and methods. Glass transition temperature was determined according to GOST 32618.2–2014 on the TMA Q400 device; bending strength was determined according to GOST 4648–2014, compressive strength — according to GOST 4651–2014; pullout bond strength of adhesive composition to concrete was determined according to GOST R 58387–2019 with the help of Instron 3382 testing machine.

Results. The following characteristics of the bonded anchor were determined during tests: glass transition temperature, bending strength, bending elastic modulus, compressive strength, ultimate resistance of bonding resistance to breakout at operating temperatures: +23, +42, +70, –60 °С, as well as the time for which the chemical anchor gains 97.7 % breakout strength when curing at air temperature –10 °С (10 days). It was established that when the specimens cured for 1 day at room temperature are kept at temperatures of +42 and +70 °С, the ultimate pullout bond strength decreases significantly (by 29.7 and 64.7 % respectively). It was found out that when the specimens cured for 1 day at room temperature, were tested at –60 °С the pullout strength slightly increased compared to the control specimens (4.6 % higher).

Conclusions. The results of tests of the first fully locally produced chemical anchor UTECH HITRE500 are presented. The glass transition temperature and physical and mechanical properties of the cured chemical anchor were determined. The time required for full bond strength gain in conditions of negative temperature -10°C equal to 10 days was determined.

KEYWORDS: chemical anchor for concrete, locally manufactured chemical anchor, glass transition temperature, curing temperature, bond strength

Acknowledgements. The authors thank the General Director of ASP-GRUPP LLC S.A. Pashkevich for providing specimens of chemical anchors for the research.

FOR CITATION: Kovalev M.G., Shvetsova V.A. Investigation of properties of chemical anchor on the basis of epoxy resin. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(10):1617-1628. DOI: 10.22227/1997-0935. 2024.10.1617-1628 (rus.).

Corresponding author: Victoria A. Shvetsova, ShvetsovaVA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Химические анкеры — это термин, относящийся к стальным стержням (шпилькам или арматуре), которые прикрепляются к основанию (каменной кладке, бетону) с помощью двухкомпонентной клеевой системы. Химические анкеры — связующее между металлическими элементами и материалами подложки. Для соединения используются клеи на основе синтетических смол. Они очень эффективны как в условиях высоких нагрузок, так и для пустотелого или пористого слабого материала основания (пустотелые блоки, газобетонные блоки, бетон низкого класса прочности). Изначально эти анкеры задумывались для использования в бетоне, рассчитанном на тяжелые нагрузки, однако в настоящее время они широко применяются при ремонтных и реставрационных работах благодаря минимальным затратам ресурсов и скорости выполнения работ [1–4]. Лидером рынка химических анкеров в России до недавнего времени являлась компания HILTI. В 2017 г. на нее пришлось 55,7 % общего объема рынка химических анкеров в стоимостном выражении. На втором месте находился MKT с долей рынка в 8,6 %. Третье место занимала MUNGO, на долю которой приходится 5,9 % общего объема рынка химических анкеров¹. Единственный в России производитель химических анкеров — ЗАО «КАРБО-ЦАКК», входящее в группу предприятий Minova (Германия). Предприятие выпускает химические анкеры для крепления горнодобывающего оборудования, а также бортов и кровли горных выработок в рудниках и шахтах. С уходом иностранных компаний с российского рынка появилась необходимость в химических анкерах отечественного производства.

Химический клеевой анкер состоит из клеевого состава и стержня анкера. В качестве клеевого состава применяются двухкомпонентные связующие на базе эпоксидных, эпоксидно-акрилатных, поли-

эфирных смол и различных соединений полиэстера. Связующие на основе винил-полиэстера используются для производства внутренних работ благодаря их нетоксичности. Связующие на основе эпоксидных смол используют для создания жесткого и прочного крепления к бетонному основанию [5].

Химические анкеры — относительно молодой объект исследования: впервые в строительстве они стали применяться с 1960-х гг., первые крупные исследования были проведены в 80–90-х гг. (R.A. Cook и др. [6–8]). Экспериментальные исследования несущей способности анкерного крепления и гибких связей, установленных в кирпичную кладку, проведены А.В. Грановским и др. [9, 10]. L. Contrafatto и соавт. установили, что способность химической анкерной системы к выдергиванию увеличивается с уменьшением разницы в прочности бетона и эпоксидной смолы [5]. По данным А.Е. Richardson и соавт., химический анкерный болт полагается исключительно на прочность бетона на растяжение при выдерживании приложенной нагрузки, при условии, что прочность сцепления смолы превышает прочность бетона на растяжение [11]. С. Ху и др. определили, что при воздействии нагрузки переменной амплитуды значение нагрузки увеличивается примерно на 42,1 %, а несущая способность уменьшается примерно на 12 %, чем при воздействии постоянной нагрузки [12–15]. Другие исследователи, например M. Lahouar и соавт., свидетельствуют о высокой пожарной опасности таких соединений и зависимости поведения под нагрузкой от температуры окружающей среды (прочность при выдергивании снижается при температурах выше 50°C и возвращается к прежним значениям при температурах выше 80°C) [16]. Ö. Çaliskan и др. рассмотрели работу химического анкера при различных температурах выдержки образцов, степени очистки отверстий перед установкой анкеров и влажностью [17–20]. Авторами выявлено, что наибольшее влияние на сцепление анкера с основанием оказывает влажность отверстия (снижение прочности до 20 %). Экспериментальными исследованиями обоснована возможность применения клеевых анкеров в сейсмических районах. Методика опре-

¹ Аналитический отчет DISCOVERY RESEARCH GROUP «Анализ рынка химического крепежа (химических анкеров) в России». 39 с. URL: https://drgroup.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/Demo_2282-analiz-rynka-himicheskogo-krepezh-v-rossii.PDF

деления характеристик и их значения для одного из видов клеевых анкеров приведены в труде [21].

В данной работе рассмотрена работа первого полностью отечественного химического анкера UTECH HITRE500 на основе эпоксидной смолы. Олигомеры с молекулярной массой порядка 1500 (в том числе эпоксидные и полиэфирные смолы) имеют температуру стеклования 40–75 °С [22]. При достижении температуры стеклования шитые полимеры приобретают пластичность, что, с одной стороны, делает соединение более устойчивым к ударному и вибрационному воздействию, с другой — снижает величину касательных напряжений в точке приложения нагрузки. Цель исследования — определить температуру стеклования отвержденного химического анкера и его физико-механические свойства при различных температурах эксплуатации. Эти сведения необходимы для применения химического анкера UTECH HITRE500 на всей территории России с ее протяженным расположением в четырех климатических поясах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для установления прочности сцепления при действии вырывающих усилий металлической резьбовой шпильки из бетона изготовлены образцы-цилиндры в металлической обойме диаметром 200 мм и высотой 150 мм. Диаметр шпильки — 12 мм, диаметр отверстия — 14,3 мм, глубина заделки — 6 см. Глубина заделки выбиралась таким образом, чтобы разрушение происходило по контакту «клеевой состав — основание», а не по стали резьбовой шпильки. В рамках подготовки к испытаниям были протестированы цилиндры с меньшим диа-

метром, равным 150 мм. Полученные данные не являлись корректными из-за растрескивания образца во время испытания (рис. 1).

Для изготовления цилиндров применялся бетон класса прочности при сжатии В25, предел прочности при сжатии на 28 сут равнялся 29 МПа, коэффициент вариации 7,1 %. Прочность определялась по контрольным образцам-кубам 100 × 100 × 100 мм.

Шпилька, туба с химическим анкером и основание имели комнатную температуру +23 °С. Твердение образцов происходило при комнатной температуре в течение 1 сут. Спустя сутки образцы поместили в камеру тепла и холода для достижения заданной температуры в течение 1 сут. С целью установления времени набора прочности при отрицательной температуре основание и шпилька были охлаждены до температуры –10 °С. Химический анкер имел комнатную температуру +23 °С. Твердение образцов происходило при температуре –10 °С в течение 7 и 10 дней. Определение нагрузок и перемещений производилось при помощи испытательной машины Instron 3382 по ГОСТ Р 58387–2019. Отклонение температуры от заданной во время испытания составляло не более 5 °С. Обработка результатов испытаний проводилась с учетом положений СТО 05156706-001–2019².

Для определения предела прочности при изгибе отвержденного химического анкера изготовлены образцы-балочки 10 × 10 × 200 мм. Испытания

² СТО 05156706-001–2019. Анкерные крепления к бетону с применением клеевых анкеров. Правила установления нормируемых параметров. М. : Союз производителей и поставщиков крепежных систем, 2019. 56 с.



Рис. 1. Образец для испытаний отвержденного химического анкера после испытания диаметром: *a* — 150 мм; *b* — 200 мм

Fig. 1. Specimen after test with diameter: *a* — 150 mm; *b* — 200 mm

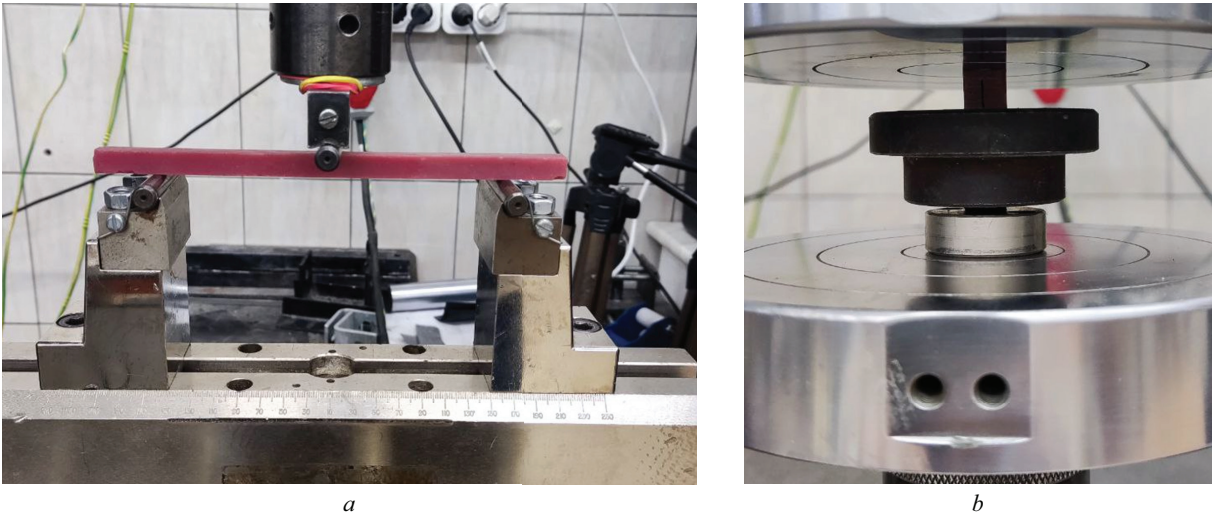


Рис. 2. Испытания образцов из отвержденного химического анкера
Fig. 2. Testing samples of cured chemical anchor

выполнялись в соответствии с ГОСТ 4648–2014 «Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб». Радиус нагружающего наконечника и радиус краев опор равнялись 5 мм, расстояние между опорами — 150 мм, скорость нагружения — 5 мм/мин. После испытания из образцов были выпилены образцы-призмы $10 \times 10 \times 4$ мм для установления прочности при сжатии (рис. 2). Прочность при сжатии определялась по ГОСТ 4651–2014 «Пластмассы. Метод испытания на сжатие». Скорость нагружения — 500 Н/с.

Образец из отвержденного химического анкера для проведения термомеханического анализа (ТМА) выпилен из середины образцов-кубиков $20 \times 20 \times 20$ мм. Поверхности образца были отшлифованы.

Измерения проводились на приборе ТМА Q400 (TA Instruments), анализ полученной ТМА кривой производился на ЭВМ при помощи ПО TA Instruments Analysis. Испытание осуществлялось в условиях пенетрации пуансона в образец, скорость нарастания температуры — $5^\circ\text{C}/\text{мин}$. Диаметр пуансона составлял 2,5 мм, нагрузка — 1 Н (рис. 3).

Все испытания выполнены в лабораториях кафедры строительного материаловедения и НИИ экспериментальной механики НИУ МГСУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных испытаний получены диаграммы «нагрузка – перемещение» для образцов после выдержки при различных температурах

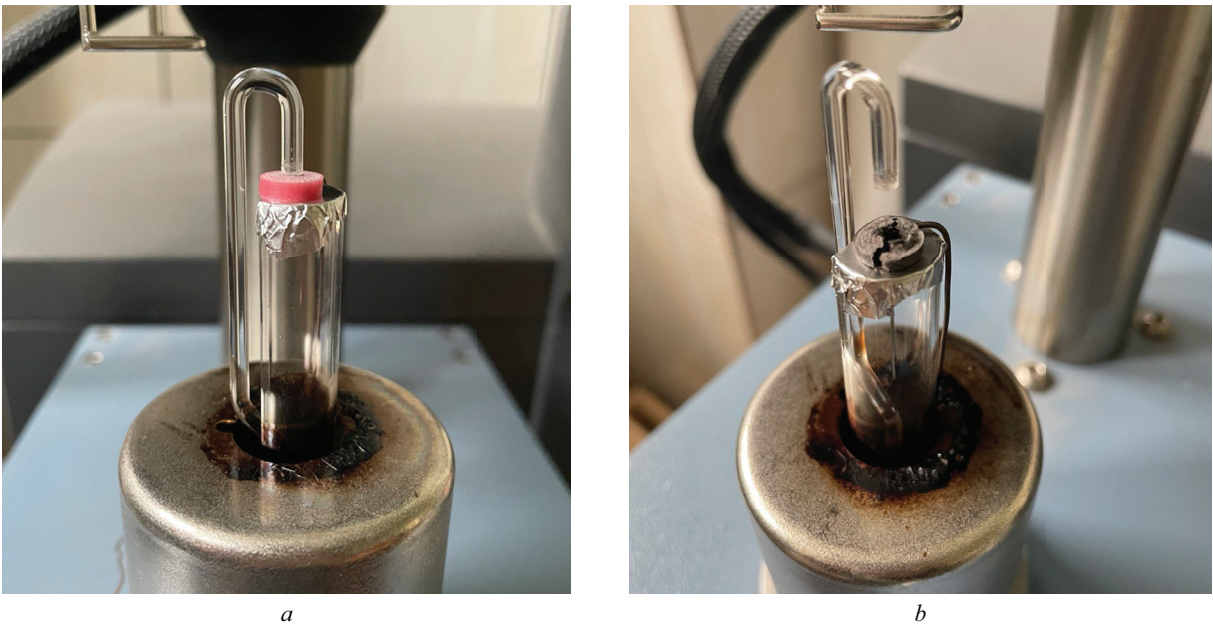


Рис. 3. Образец из отвержденного химического анкера в приборе ТМА Q400: *a* — до испытания; *b* — после испытания
Fig. 3. Specimen of cured chemical anchor in the TMA Q400: *a* — before testing; *b* — after testing

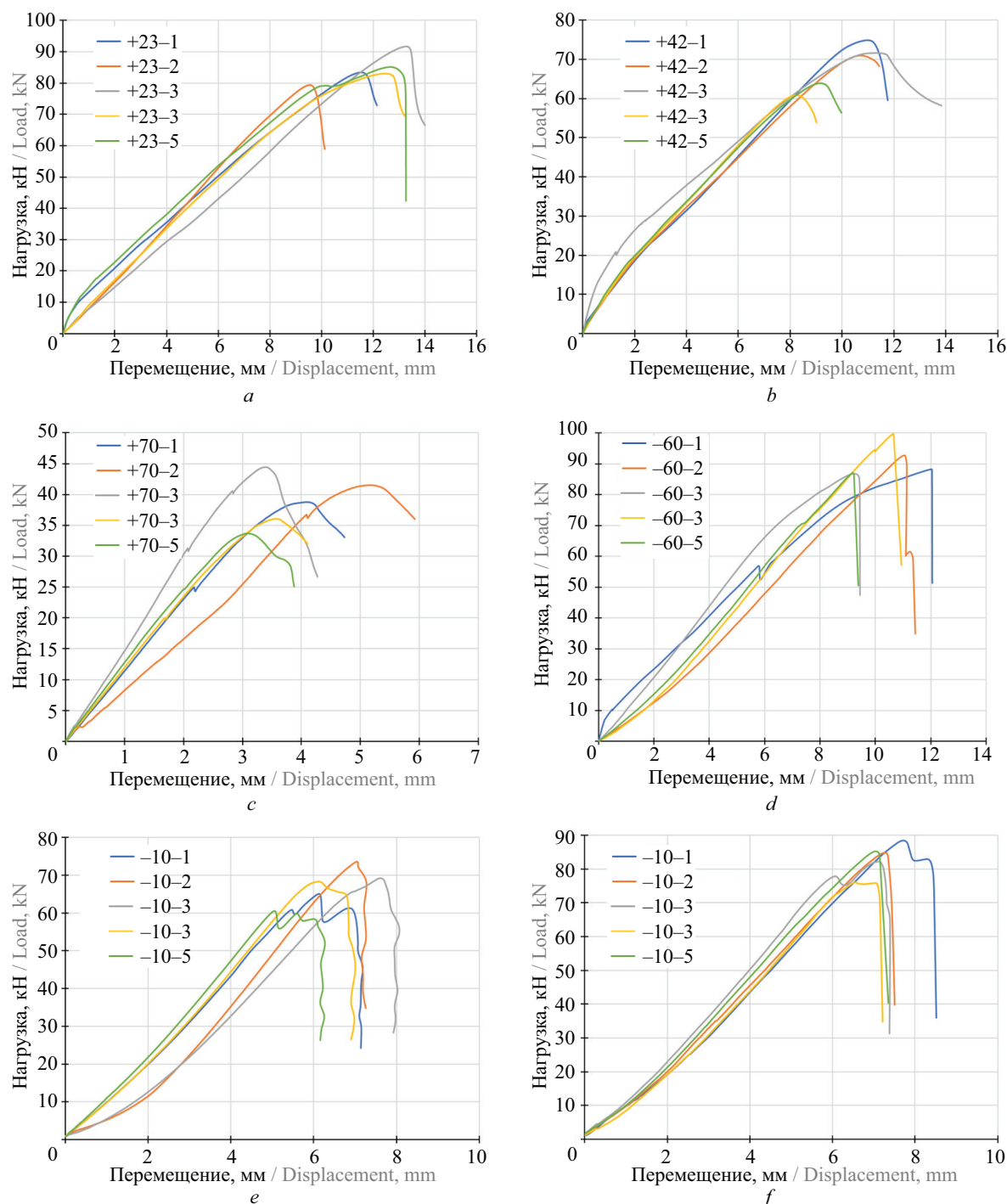


Рис. 4. Диаграммы «нагрузка – перемещение» при температуре: +23 °C (a); +42 °C (b); +70 °C (c); –60 °C (d); –10 °C (7 сут) (e); –10 °C (10 сут) (f)

Fig. 4. Load – displacement diagrams at temperature: +23 °C (a); +42 °C (b); +70 °C (c); –60 °C (d); –10 °C (7 days) (e); –10 °C (10 days) (f)

(рис. 4, 5, табл. 1). Диаграмма «нагрузка – перемещение» для образцов, твердевших в течение 7 и 10 сут при –10 °C, представлена на рис. 4, e, f; 5.

Термомеханическая кривая и зависимость производной деформации от температуры представлена на рис. 6. На начальном этапе подъема температуры для образца характерно небольшое размягчение, ко-

торое характеризуется отрицательной деформацией (пенетрацией пуансона в образец) и сопутствующее расстекловыванию образца. Затем наблюдается рост положительной деформации, связанный со вспучиванием образца. Образец начинает расстекловываться при температуре 43,57 °C, температура стеклования равняется 49,45 °C. Температура деструкции составила 316,62 °C.

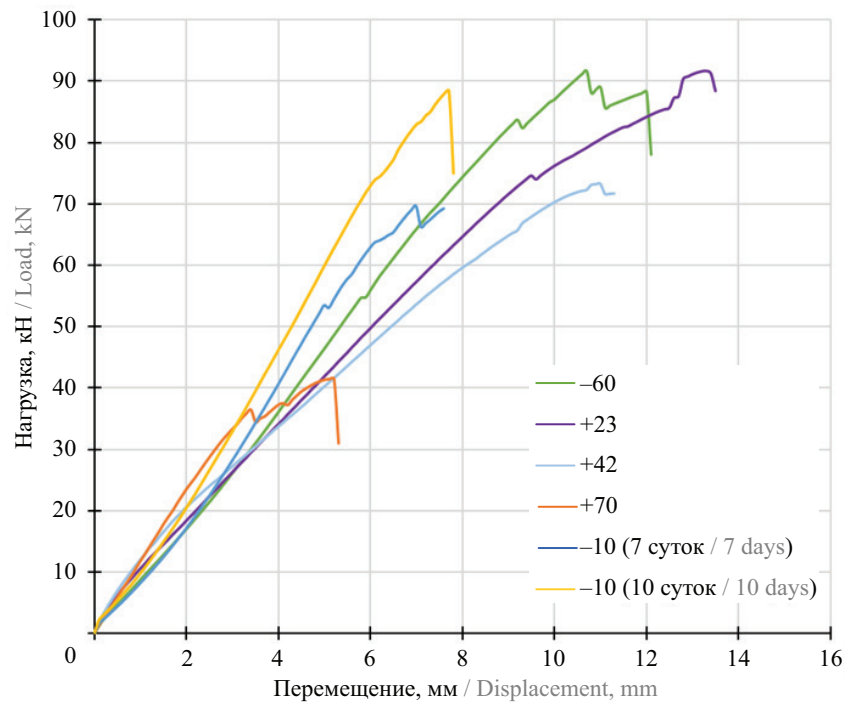


Рис. 5. Диаграмма «нагрузка – перемещение» по средним значениям

Fig. 5. Load – displacement diagram based on average values

Табл. 1. Результаты проведенных испытаний

Table 1. Test results

Температура выдержки, °C Temperature of testing, °C	Номер / Number	Максимальная нагрузка, кН Maximum load, kN	Среднее значение нагрузки серии, кН Average load, kN	Стандартное отклонение, % Standard deviation, %	Коэффициент вариации, % The coefficient of variation, %	Нормативное значение нагрузки в серии, кН Standard load value in series, kN	Нормативное значение сопротивления сцепления, МПа Standard value of bond strength, MPa
-60	1	88,2	90,9	5,5	6,0	72,3	32,0
	2	92,7					
	3	86,8					
	4	99,7					
	5	87,1					
+23	1	83,4	84,5	4,5	5,3	69,2	30,6
	2	79,4					
	3	91,7					
	4	83,0					
	5	85,2					

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Температура выдержки, °C Temperature of testing, °C	Номер / Number	Максимальная нагрузка, кН Maximum load, kN	Среднее значение нагрузки серии, кН Average load, kN	Стандартное отклонение, % Standard deviation, %	Коэффициент вариации, % The coefficient of variation, %	Нормативное значение нагрузки в серии, кН Standard load value in series, kN	Нормативное значение сопротивления сцепления, МПа Standard value of bond strength, MPa
+42	1	74,9	68,5	5,8	8,5	48,6	21,5
	2	71,0					
	3	71,7					
	4	60,9					
	5	63,9					
+70	1	38,8	38,9	4,3	11,0	24,4	10,8
	2	41,5					
	3	44,5					
	4	36,1					
	5	33,7					
–10 (7 сут) / (7 days)	1	65,1	67,4	4,9	7,2	50,9	22,5
	2	73,6					
	3	69,2					
	4	68,4					
	5	60,5					
–10 (10 сут) / (10 days)	1	88,5	83,4	4,6	5,6	67,6	29,9
	2	84,9					
	3	82,2					
	4	76,1					
	5	85,3					

В табл. 2, 3 приведены результаты испытаний образцов из химического анкера на прочность при изгибе и на сжатие соответственно. На рис. 7 показаны характерные диаграммы деформирования образцов при испытаниях на изгиб и сжатие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведены испытания по определению свойств химического анкера UTECH HITRE500 и влиянию на его свойства температуры окружающей среды. Выявлены следующие характеристики химического анкера UTECH HITRE500: температура стеклования, прочность при изгибе, модуль упругости

при изгибе, прочность при сжатии, прочность сцепления с бетоном класса В25. Определено необходимое время твердения химического анкера, установленного и твердевшего при температуре –10 °С. Анкер, установленный в таких условиях, может быть безопасно нагружен через 10 сут, его прочность сцепления с бетоном соответствует прочности образца, твердевшего 1 сут при комнатной температуре (на 2,3 % ниже). Прочность сцепления спустя 7 сут твердения при температуре –10 °С на 26,4 % ниже, чем у контрольного образца. При выдерживании образцов, твердевших в течение 1 сут при комнатной температуре, при температурах +42 и +70 °С происходит значительное

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 10, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 10, 2024

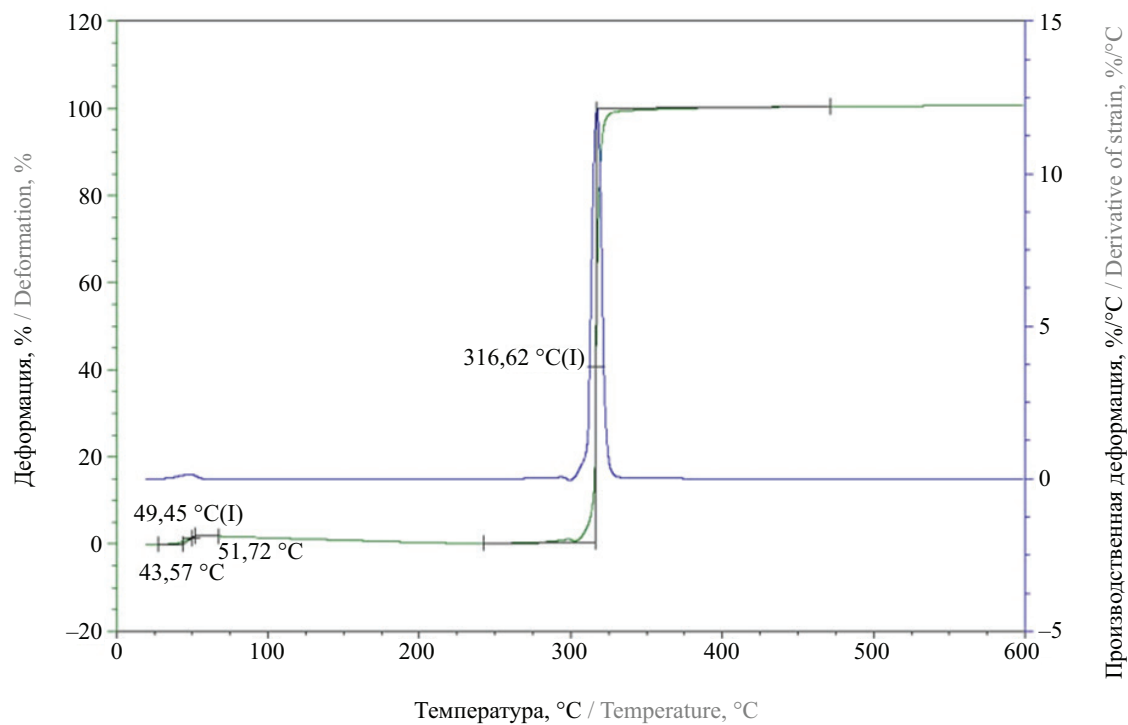


Рис. 6. Термомеханическая кривая образца из отвержденного химического анкера
Fig. 6. Thermomechanical curve of a cured chemical anchor sample

Табл. 2. Результаты определения прочности при изгибе
Table 2. Results of determination of flexural strength

Номер / Number	Высота, мм Height, mm	Ширина, мм Width, mm	Длина, мм Length, mm	Площадь сечения, мм ² Area, mm ²	Нагрузка, Н Load, N	Прочность при изгибе, МПа Flexural strength, MPa	Прочность серии, МПа Average strength, MPa	Модуль упругости, МПа Elastic modulus, MPa	Модуль серии, МПа Average elastic modulus, MPa
1	10,0	10,3	200,0	102,8	198,3	43,3	48,0	3738	3911
2	10,0	10,4	200,0	104,3	231,0	49,7		3931	
3	9,7	10,2	200,0	99,2	241,2	56,2		4038	
4	9,6	10,0	200,0	96,1	197,3	48,1		4033	
5	9,5	10,6	200,0	100,0	203,5	48,5		3815	
6	10,1	10,1	200,0	101,9	193,8	42,4		3911	

Табл. 3. Результаты определения прочности на сжатие
Table 3. Results of determination of compressive strength

Номер / Number	Ширина, мм Width, mm	Толщина, мм Length, mm	Нагрузка при пределе текучести, Н Load at yield point, N	Напряжение при пределе текучести, МПа Stress at yield point, MPa	Напряжение при пределе текучести серии, МПа Average stress at yield point, MPa	Максимальная нагрузка, Н Maximum load, N	Предел прочности на сжатие, МПа Compressive strength, MPa	Предел прочности серии, МПа Average strength, MPa
1	9,93	3,79	3136	83,3	80,5	5254	139,6	123,4
2	9,92	4,03	3084	77,1		4445	111,2	
3	9,92	3,80	3071	81,5		4386	116,4	
4	9,88	3,85	3089	81,2		4449	117,0	
5	9,99	3,96	3133	79,2		5247	132,6	

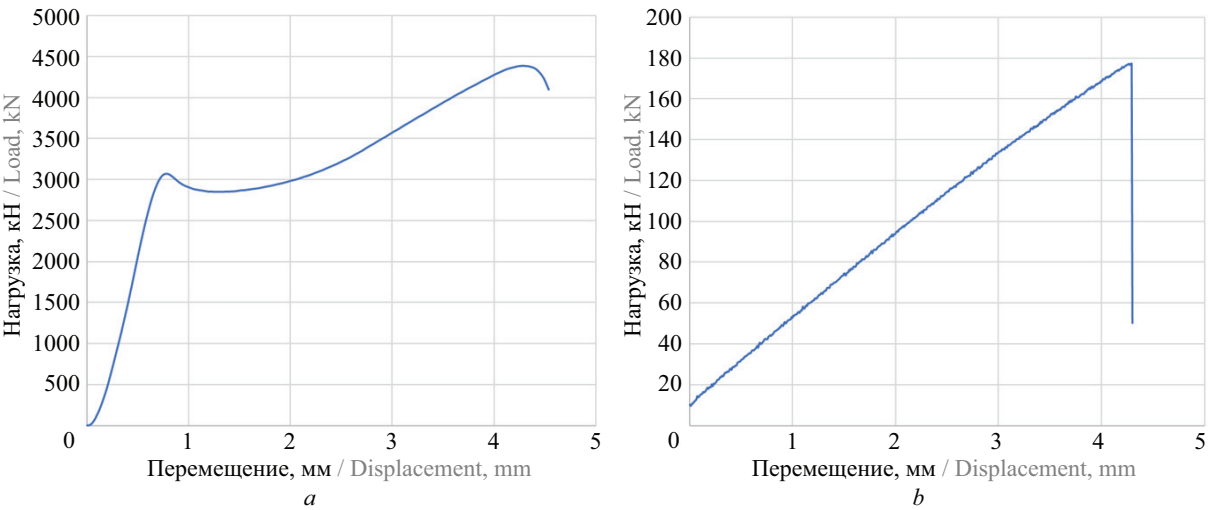


Рис. 7. Характерные диаграммы деформирования образцов из химического анкера: *a* — при изгибе; *b* — при сжатии
Fig. 7. Typical diagrams of deformation of samples from a chemical anchor: *a* — during bending; *b* — during compression

снижение прочности на вырыв (на 29,7 и 64,7 % соответственно). Положительный эффект постотверждения, связанный с увеличением степени полимеризации эпоксидного компаунда при воздействии повышенной температуры, вероятно, может быть достигнут при условии, что температура не будет превышать температуры начала стеклования связую-

щего (+43,6 °C) с некоторым запасом, учитывающим экзотермические эффекты реакций постотверждения. Установлено, что при выдерживании образцов, твердевших в течение 1 сут при комнатной температуре, при температуре –60 °C прочность сцепления с бетоном незначительно увеличилась по сравнению с контрольными образцами (на 4,6 %).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Топчий Д.В., Катасонова М.А., Юргайтис А.Ю.* Техническое нормирование современных методов ведения строительных работ при реконструкции, перепрофилировании и технологическом перевооружении зданий и сооружений // *Инновации и инвестиции.* 2019. № 6. С. 281–285. EDN SKOCBD.

2. *Бокарев С.А., Мурованный Ю.Н., Усольцев А.М., Мурованный И.Ю.* Натурные и лабораторные испытания конструкции усиления металлическими накладками // *Интернет-журнал Науковедение.* 2013. № 3 (16). С. 167. EDN QZYAAJ.

3. *Бондаренко И.Н., Малашкин Ю.Н., Качков Н.А., Бондаренко В.И.* О работе кирпичной об-

лицовки современных высотных зданий // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 43–48. EDN RTUJFF.

4. Людковский А.М. Опыт усиления железобетонного каркаса плоскими капителями, установленными сверху перекрытия // Вестник МГСУ. 2015. № 4. С. 80–89. EDN TPKORJ.

5. Contrafatto L., Cosenza R. Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 68. Pp. 355–369. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.099

6. Cook R.A. Behavior of Chemically Bonded Anchors // Journal of Structural Engineering. 1993. Vol. 119. Issue 9. Pp. 2744–2762. DOI: 10.1061/(asce)0733-9445(1993)119:9(2744)

7. Cook R.A. Factors influencing bond strength of adhesive anchors // ACI Structural Journal. 2001. Vol. 98. Issue 1. DOI: 10.14359/10149

8. Cook R.A., Kunz J., Fuchs W., Konz R.C. Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete // ACI Structural Journal. 1998. Vol. 95. Issue 1. DOI: 10.14359/522

9. Грановский А.В., Павлова М.О., Ласкевич В.Ч. Оценка прочности заделки металлических анкеров в кирпичную кладку // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2000. № 4. С. 6–7. EDN YTYRGR.

10. Грановский А.В., Павлова М.О. Исследование прочности и деформативности стен из керамического кирпича в зоне заделки металлических анкеров // Промышленное и гражданское строительство. 2001. № 10. С. 17–18. EDN YXXQAP.

11. Richardson A.E., Dawson S., Campbell L., Moore G., Mc Kenzie C. Temperature Related Pull-out Performance of Chemical Anchor Bolts in Fibre Concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 196. Pp. 478–484. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.144

12. Xu C., Shu J., Qi T. Experimental Research on Tensile Properties of Chemical Anchor Bolt Groups after High Temperature // 2022 International Conference on Computational Infrastructure and Urban Planning. 2022. Vol. 774. Pp. 61–68. DOI: 10.1145/3546632.3546881

13. Xu C., Zhou B., Peng S. Experimental Research on Anchoring Performance of Chemical Anchor Bolt in Building Curtain Wall Engineering // IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 774. Issue 1. P. 012149. DOI: 10.1088/1757-899X/774/1/012149

14. Sasmal S., Thiagarajan R., Lieberum K.H., Koenders E.A.B. Numerical simulations of progression of damage in concrete embedded chemical anchors // Computers and Concrete. 2018. Vol. 22. Issue 4. Pp. 395–405. DOI: 10.12989/cac.2018.22.4.395

15. Xu C., Gu Y., Peng S. Experimental Research on Anchoring Behavior of Chemical Anchor Bolt under Repeated Loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 774. Issue 1. P. 012134. DOI: 10.1088/1757-899X/774/1/012134

16. Lahouar M., Caron J.-F., Pinoteau N., Forêt G., Benzarti K. Mechanical behavior of adhesive anchors under high temperature exposure: experimental investigation // International Journal of Adhesion and Adhesives. 2017. Vol. 78. Pp. 200–211. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2017.07.004

17. Çaliskan Ö., Karakurt C., Aras M., Kaya T. Behaviors of Chemical Anchors Installed in Different Types of Concrete. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1570263/v1

18. Çaliskan Ö., Aras M. Experimental investigation of behaviour and failure modes of chemical anchorages bonded to concrete // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 156. Pp. 362–375. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.179

19. Bajer M., Kala J., Barnat J. Steel chemical members anchored in concrete // VIII International Conference on Computational Plasticity COMPLAS VIII. 2005.

20. Çalışkan Ö., Aras M., Ağdağ Y. Experimental investigations the effects of dusty, humidity and temperature conditions on chemical anchors // Revista de la construcción. 2023. Vol. 22. Issue 3. Pp. 613–631. DOI: 10.7764/RDLC.22.3.613

21. Кабанцев О.В., Ковалев М.Г. Определение механических характеристик анкеров в поврежденном бетонном основании // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 9. С. 57–65. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.09.57-65. EDN KLZJLO.

22. Иржак В.И. Эпоксидные полимеры и нанокомпозиты. Черноголовка : Редакционно-издательский отдел ИПХФ РАН, 2021. 319 с.

Поступила в редакцию 3 марта 2024 г.

Принята в доработанном виде 18 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 20 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Виктория Андреевна Швецова — преподаватель кафедры строительного материаловедения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ShvetsovaVA@mgsu.ru;

Михаил Германович Ковалев — преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; KovalevMG@mgsu.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Topchiy D.V., Katasonova M.A., Yurgaitis A.Yu. Technical standardization of modern methods of conducting construction work during reconstruction, repurposing and technological re-equipment of buildings and structures. *Innovation and Investment*. 2019; 6:281-285. EDN SKOCBD. (rus.).
2. Bokarev S.A., Murovannyi Y.N., Usoltsev A.M., Murovannyi I.Y. Field and laboratory testing of reinforcing construction with steel plates. *Naukovedenie*. 2013; 3(16):167. EDN QZYAAJ. (rus.).
3. Bondarenko I.N., Malakshin U.N., Kachkov N.A., Bondarenko V.I. The article tells about work of brick facing of modern high-strength building. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2010; 4:43-48. EDN RTUJF. (rus.).
4. Lyudkovskiy A.M. The Experience of Strengthening Reinforced Concrete Frame by Flat Capitals, Installed on the Top of Slabs. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015; 4:80-89. EDN TPKORJ. (rus.).
5. Contrafatto L., Cosenza R. Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone. *Construction and Building Materials*. 2014; 68:355-369. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.099
6. Cook R.A. Behavior of Chemically Bonded Anchors. *Journal of Structural Engineering*. 1993; 119(9):2744-2762. DOI: 10.1061/(asce)07339445 (1993)119:9(2744)
7. Cook R.A. Factors influencing bond strength of adhesive anchors. *ACI Structural Journal*. 2001; 98(1). DOI: 10.14359/10149
8. Cook R.A., Kunz J., Fuchs W., Konz R.C. Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete. *ACI Structural Journal*. 1998; 95(1). DOI: 10.14359/522
9. Granovsky A.V., Pavlova M.O., Laskevich V.Ch. Evaluation of the strength of embedding metal anchors in brickwork. *Earthquake-resistant construction. Safety of structures*. 2000; 4:6-7. EDN YTYRGR. (rus.).
10. Granovsky A.V., Pavlova M.O. Study of the strength and deformability of walls made of ceramic bricks in the area of embedding metal anchors. *Industrial and Civil Engineering*. 2001; 10:17-18. EDN YXXQAP. (rus.).
11. Richardson A.E., Dawson S., Campbell L., Moore G., Mc Kenzie C. Temperature Related Pull-out Performance of Chemical Anchor Bolts in Fibre Concrete. *Construction and Building Materials*. 2019; 196:478-484. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.144
12. Xu C., Shu J., Qi T. Experimental Research on Tensile Properties of Chemical Anchor Bolt Groups after High Temperature. *2022 International Conference on Computational Infrastructure and Urban Planning*. 2022; 774:61-68. DOI: 10.1145/3546632.3546881
13. Xu C., Zhou B., Peng S. Experimental Research on Anchoring Performance of Chemical Anchor Bolt in Building Curtain Wall Engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 774(1):012149. DOI: 10.1088/1757-899X/774/1/012149
14. Sasmal S., Thiyagarajan R., Lieberum K.H., Koenders E.A.B. Numerical simulations of progression of damage in concrete embedded chemical anchors. *Computers and Concrete*. 2018; 22(4):395-405. DOI: 10.12989/cac.2018.22.4.395
15. Xu C., Gu Y., Peng S. Experimental Research on Anchoring Behavior of Chemical Anchor Bolt under Repeated Loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 774(1):012134. DOI: 10.1088/1757-899X/774/1/012134
16. Lahouar M., Caron J.-F., Pinoteau N., Forêt G., Benzarti K. Mechanical behavior of adhesive anchors under high temperature exposure: experimental investigation. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2017; 78:200-211. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2017.07.004
17. Çaliskan Ö., Karakurt C., Aras M., Kaya T. Behaviors of Chemical Anchors Installed in Different Types of Concrete. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1570263/v1
18. Çaliskan Ö., Aras M. Experimental investigation of behaviour and failure modes of chemical anchorages bonded to concrete. *Construction and Building Materials*. 2017; 156:362-375. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.179
19. Bajer M., Kala J., Barnat J. Steel chemical members anchored in concrete. *VIII International Conference on Computational Plasticity COMPLAS VIII*. 2005.
20. Çaliskan Ö., Aras M., Ağdağ Y. Experimental investigations the effects of dusty, humidity and temperature conditions on chemical anchors. *Revista de la construcción*. 2023; 22(3):613-631. DOI: 10.7764/RDLC.22.3.613
21. Kabantsev O.V., Kovalev M.G. Determination of mechanical characteristics of anchors in damaged concrete base. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 9:57-65. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.09.57-65. EDN KLZJLO. (rus.).
22. Irzhak V.I. *Epoxy polymers and nanocomposites*. Chernogolovka, Editorial and Publishing Department of the IPCP RAS, 2021; 319. (rus.).

Received March 3, 2024.

Adopted in revised form on March 18, 2024.

Approved for publication on September 20, 2024.

B I O N O T E S: **Victoria A. Shvetsova** — lecturer at the Department of Construction Materials Science; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ShvetsovaVA@mgsu.ru;

Mikhail G. Kovalev — lecturer at the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; KovalevMG@mgsu.ru.

Contribution of the authors: all authors made equivalent contributions to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.