

УДК 691.3

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-107-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-107-116)

# ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

## CHANGE IN STRENGTH CHARACTERISTICS OF GLASS COMPOSITE VALVES AT SHORT-TERM EXPOSURE TO TEMPERATURE

В. Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук

А. В. БУЧКИН, канд. техн. наук

И. С. КУЗНЕЦОВА

В. Г. РЯБЧЕНКОВА

Е. Ю. ЮРИН

*В статье приведены результаты испытаний стеклокомпозитной арматуры в условиях кратковременного воздействия повышенных и высоких температур. На основании полученных результатов испытаний и обобщения данных о влиянии повышенных температуры на изменение прочности АКП оценена возможность ее применения для армирования бетонных конструкций с позиции огнестойкости и пожарной безопасности.*

*The article presents the results of testing of glass composite fittings in conditions of short-term exposure to elevated and high temperatures. Based on the results obtained, as well as generalization of data on the influence of elevated temperatures on the change in the strength of FRP rebars, the possibility of its application for the reinforcement of concrete structures in terms of fire resistance and fire safety is determined.*

### Ключевые слова:

*Арматура композитная полимерная, арматура стеклокомпозитная, композитные материалы, предел прочности при растяжении*

### Key words:

*Fiber reinforced polymer rebar, glass fiber reinforced polymer rebar, ultimate strength*

Композитные материалы (КМ) являются одним из видов инновационной продукции, которые находят все большее применение в ключевых секторах современной экономики. В строительной индустрии широкое распространение получает композитная полимерная

арматура (АКП), которая является перспективной альтернативой арматурной стали при строительстве зданий и сооружений различного назначения в условиях воздействия агрессивных сред при температуре от +50 до -70 °С. За прошедшие несколько лет в России и за рубежом отмечается рост производства АКП, и расширяются области ее применения.

Сдерживающим фактором применения АКП в гражданском строительстве является недостаточная изученность вопросов обеспечения огнестойкости бетонных конструкций с АКП, которые напрямую связаны с обеспечением безопасности жизнедеятельности людей. Особенности проектирования бетонных конструкций с АКП изложены в СП 295.1325800.2017, положения которого обязывают производить расчеты по двум группам предельных состояний, с учетом свойств АКП, обусловленных высокими показателями прочности на растяжение. Однако вопросы пожарной безопасности в СП 295.1325800.2017 не затронуты и требуют решения для случаев применения АКП в конструкциях с нормируемыми пределами огнестойкости.

Существует еще одна проблема, сдерживающая широкое применение бетонных конструкций с АКП – это частые случаи поступления на строительный рынок АКП, не отвечающей требованиям современных нормативных документов.

Из изложенного следует, что применение АКП для армирования бетонных конструкций требует грамотного подхода к проектированию, соблюдения требований стандартов и строительных норм, проработки вопросов пожарной безопасности. Исследование закономерностей изменения прочностных характеристик АКП при кратковременных температурных воздействиях необходимо для решения вопросов огнестойкости.

АКП – анизотропный материал, который состоит из ориентированного волокна, отвечающего за его механическую прочность, и полимерного связующего на основе эпоксидной или полиэфирной смол, обеспечивающих совместную работу с волокнами и их защиту от отрицательного влияния щелочной среды бетона. АКП отличается разнообразием как по составу, технологии ее производства и степени полимеризации связующего, так и профилем поверхности, что обуславливает ее различные эксплуатационные свойства.

При производстве АКП применяют стеклянное, базальтовое или углеродное волокно. Наполнители, отвердители, добавки и модификаторы для смолы применяют для регулирования технологических и физико-технических свойств АКП, таких как вязкость, щелочестойкость, адгезия с волокном, теплостойкость.

Исследованиями установлено, что физико-технические свойства АКП при высокотемпературном воздействии зависят от:

- свойств армирующего наполнителя (волокна),
- свойств полимерного связующего (матрицы),
- соотношения матрицы и армирующего наполнителя,
- адгезии матрицы с армирующим наполнителем (совместная работа),
- технологии изготовления.

В технической литературе имеются различные данные о влиянии температурных воздействий на свойства КМ в областях машино-, авиа- и судостроения. КМ на основе полимерных смол при температурных воздействиях могут эксплуатироваться в диапазонах температур: полиэфирных -60...+150 °С; эпоксидных -80...+200 °С; фенолформальдегидных -150...+250 °С; полиамидов -200...+400 °С. Эти диапазоны температур установлены исследованиями КМ на возгораемость, которые не являются характерными для бетонных конструкций с АКП.

Исследования КМ на возгораемость проводятся в виде испытаний в лабораторных условиях, когда нагрев полимера ведется при взаимодействии с кислородом воздуха, и его разрушение происходит достаточно быстро, что не соответствует реальным условиям работы АКП в бетоне [1, 2].

Прогрев сечения бетонной конструкции происходит постепенно и длится во времени. Температурный диапазон применения АКП в бетонных конструкциях определяется температурой плавления полимерной матрицы, при которой полимерное связующее подвергается деструкции и переходит в эластичное состояние. Температура плавления армирующего наполнителя (волокна) превосходит ее в несколько раз [3]. Следовательно, температура плавления полимерной матрицы является одним из важных критериальных показателей температурного диапазона применения АКП в бетонных конструкциях при кратковременном нагреве. Повышение именно этого показателя полимерной матрицы позволит добиться увеличения пределов огнестойкости бетонных конструкций с АКП.

Анализ результатов зарубежных исследований [4-20] свойств АКП, изготовленной по технологии пултрузии, и отечественных исследователей [21-24] с использованием различных видов армирующего наполнителя и связующих, при кратковременном воздействии температур в диапазоне от 20 до 600 °С показал следующее:

- изменение прочности арматуры при растяжении обусловлено разрушением полимерной матрицы;
- необратимые процессы деструкции полимерной матрицы начинаются при температуре выше 300 °С;
- характер и скорость процесса разрушения различны и сопровождаются значительной потерей массы (от 20 до 80%);

#### Серия 1



#### Серия 2



#### Серия 3



Рис. 1. Общий вид образцов АСК

– деструктивные повреждения описаны в виде растрескивания силового стержня, коксования поверхности с появлением трещин между анкерочным слоем и силовым стержнем, образованием раковин на срезе в виде локализации сгустков связующего в силовом стержне;

– увеличение температуры нагрева до значений температур, близких или превышающих температуру плавления полимерной матрицы, приводящее к нарушению сцепления АКП с бетоном.

В НИИЖБ им. А. А. Гвоздева проведены исследования изменения прочности на растяжение стеклокомпозитной арматуры (АСК, разновидность АКП) при кратковременном нагреве и в охлажденном состоянии после нагрева в диапазоне температур от 60 до 400 °С.

Испытаниям подлежали три серии АСК, изготовленной по отечественной технологии – нидлтрязии (безфильерное формование), с уст-

роЙством тангенциальной обмотки диаметром 10 мм от трех производителей. Все арматурные стержни позиционировались производителями как соответствующие требованиям ГОСТ 31938. Внешний вид АСК показан на рис. 1.

В серии 1 анкерочный слой образован намоткой на силовой стержень в виде непрерывного волокна с двузаходной нити, цвет черный.

В серии 2 анкерочный слой образован намоткой на силовой стержень непрерывного волокна с двузаходной нитью, цвет желтый.

В серии 3 АСК анкерочный слой образован намоткой на силовой стержень непрерывного волокна с однозаходной нитью, цвет желтый.

В каждой серии АСК предусмотрены контрольные образцы, испытанные без нагрева по ГОСТ 32492, с применением анкерных устройств на цементном растворе.

На этапе подготовки испытаний проводился контроль таких показателей качества АСК как геометрические параметры, содержание волокна, внешний осмотр на наличие дефектов по ГОСТ 39138. Значения контролируемых показателей качества приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Оценка качества АСК на этапе подготовки к испытаниям

| Наименование показателя                               | Требования ГОСТ 31938 | Серия 1 | Серия 2 | Серия 3 |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|
| Номинальный диаметр $d$ , мм                          | 10                    | 9,05    | 10,2    | 9,96    |
| Содержание волокна по массе, %                        | не менее 75           | 82,5    | 82,5    | 79,4    |
| Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа      | не менее 1000         | 1248    | 1159    | 1117    |
| Модуль упругости при растяжении $E_p$ , МПа           | не менее 50000        | 53432   | 52776   | 45744   |
| Относительное удлинение при разрыве $\varepsilon$ , % | Не нормируется        | 2,3     | 2,2     | 2,4     |
| Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>                  | Не нормируется        | 2,08    | 2,09    | 1,93    |

Внешний осмотр образцов АСК серии 3 показал, что силовые стержни и анкерочная часть имеют неравномерную пропитку полимерным связующим по всей длине стержней (рис. 2). Значение модуля упругости при растяжении АСК серии 3 не соответствовало требованиям ГОСТ 31938.



Рис. 2. Дефекты внешнего вида образцов АСК серии 3

Испытания образцов АСК на растяжение при нагреве и после охлаждения проводились на разрывной машине. Кратковременный нагрев образцов АСК вели сериями по три образца, в муфельной трубчатой печи (рис. 3) до заданной температуры: 60, 100, 200, 300, 350 и 400 °С.

Испытания АСК при нагреве проводились следующим образом:

- образцы арматуры закрепляли в захватах разрывной машины;
- на образце закрепляли муфельную трубчатую печь;

– проводили нагрев арматурного стержня со скоростью подъема температуры 30 °С в минуту;



**Рис. 3.** Характерный вид образцов АСК при испытаниях на нагрев и растяжение:  
слева – образец в процессе нагрева, справа – образец после охлаждения

– при достижении заданного значения температуры проводили выдержку в течение 15 мин после снятия трубчатой печи и выполняли испытание АСК на растяжение в горячем состоянии.

Испытания арматуры АСК в охлажденном состоянии после нагрева проводили следующим образом:

- образцы арматуры закрепляли в захватах разрывной машины;
- на образец закрепляли муфельную трубчатую печь;
- проводили нагрев арматурного стержня со скоростью подъема температуры 30 °С в минуту;
- при достижении заданного значения температуры проводили выдержку в течение 15 мин, затем трубчатую печь снимали;
- после остывания образца до комнатной температуры проводили испытание АСК на растяжение.

Среднюю прочность АСК в каждой серии образцов определяли по ГОСТ 31938 и ГОСТ 32492. Характерный вид образцов АСК после испытаний на растяжение при температурных воздействиях показан на рис. 4.

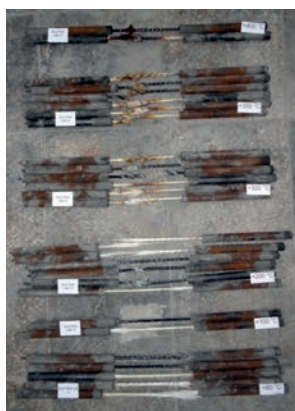
Динамика изменения прочности на растяжение АСК при нагреве графически приведена и на рис. 5, в охлажденном состоянии после нагрева приведена на рис. 7.

По результатам испытаний установлена общая тенденция снижения прочности на растяжение АСК при кратковременном нагреве в диапазоне температур 60-400 °С с увеличением температуры. При этом скорость снижения прочности на растяжение АСК от разных производителей отличается. Наименьшие значения прочности на растяжение АСК получены для образцов серии 3, наибольшие – для серии 1.

При нагреве до 200 °С наблюдалось снижение прочности на растяжение АСК на 23% для серии 3 и 13% – для серий 1 и 2.

В диапазоне температур 200-300 °С прочность на растяжение АСК снизилась на 30% для серии 1, на 40% – для АСК серии 3, а для серии 2 прочность на растяжение не изменилась. Цвет полимерного связующего АСК серий 2 и 3 изменился от светло-желтого до коричневого. В ходе испытаний отмечено, что при изотермической выдержке только из образцов АСК серии 3 происходило выделение дыма.

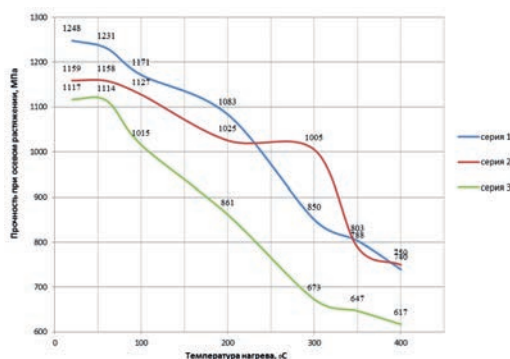
При нагреве до 350 °С наблюдалось резкое снижение прочности на растяжение всех испытанных серий образцов АСК до 58-64% от первоначальных значений. Дальнейшее увеличение температуры до 400 °С привело к снижению прочности на 35-45%.



при нагреве



в охлажденном состоянии после нагрева

**Рис. 4.** Характерный вид образцов АСК после испытания на растяжение**Рис. 5.** Динамика изменения прочности на растяжение АСК при нагреве

Разрушение образцов АСК, нагретых до 400 °С, носило вязкий (пластичный) характер, в отличие от хрупкого разрушения при температурах до 200 °С.

Характерные виды образцов АСК после испытаний на растяжении в нагретом состоянии приведены на рис. 6.

По результатам испытаний АСК в охлажденном состоянии после нагрева в интервале температур 60–400 °С установлена общая тенденция снижения прочности с ростом температуры, аналогичная снижению прочности при нагреве. При этом скорость снижения прочности на растяжение АСК после охлаждения различная для разных серий образцов.

Наибольшие средние значения прочности на растяжение в охлажденном состоянии после нагрева до 300 °С установлены для АСК серии 1 и составляют 1176 МПа, наименьшие – для АСК серии 3 (955 МПа). Разница значений прочностей серий 1 и 3 составляет: при 100 °С – 2,5%, при 200 °С – 5%, при 300 °С – 8%. Прочностные значения АСК серии 2 промежуточные.

В охлажденном состоянии после нагрева в интервале температур 300–400 °С АСК серий 1 и 2 частично восстанавливает прочностные свойства. Арматура серии 3 не восстанавливает прочность на растяжение, и при нагреве до 400 °С ее прочность на растяжение составляет 55% от первоначальной (при 20 °С), а после охлаждения – 47% от первоначальной.



Рис. 6. Характер разрушения образцов АСК при различных температурах нагрева

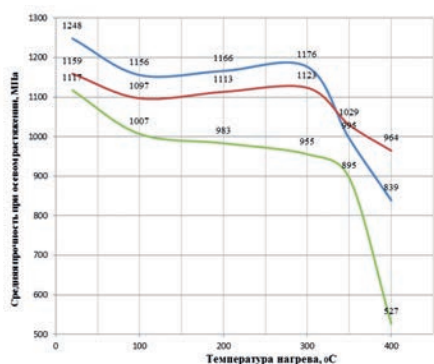


Рис. 7. Динамика изменения прочности на растяжение АСК в охлажденном состоянии после нагрева в диапазоне температур 60–400 °C

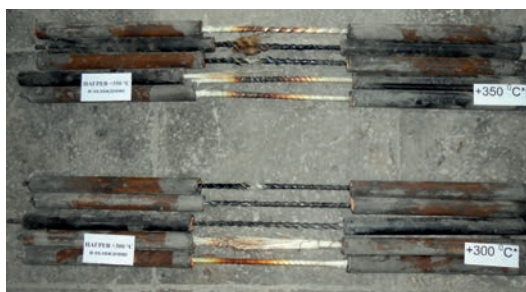


Рис. 8. Характер разрушения образцов АСК в охлажденном состоянии после нагрева

после нагрева проявила АСК серии 3, что вполне закономерно, так как по совокупности характеристик (наличие дефектов, номинальный диаметр, предел прочности и начальный модуль упругости при растяжении) эта серия не соответствовала требованиям ГОСТ 31938.

Наибольшие значения коэффициентов условий работы по прочности на растяжение при температурных воздействиях выявлены для АСК серий 1 и 2.

Испытания на токсичность продуктов горения опытных образцов АСК серии 1 выполнены по ГОСТ 12.1.044-2018. По результатам испытаний установлено, что образцы АСК по показателю токсичности продуктов горения относятся к умеренно опасным материалам (Т2).

Нагрев свыше 300 °C до 400 °C с последующим охлаждением привел к значительному снижению прочности на растяжение АСК, и при 400 °C прочность на растяжение АСК составила: для серии 1 – 33%, серии 2 – 17%, серии 3 – 53% от первоначальной.

Большой разброс прочностных показателей АСК различных серий свидетельствует о значительном отличии качества композитной арматуры, выпускаемой различными производителями.

Характер разрушения образцов в охлажденном состоянии (рис. 8) после нагрева до 300 °C – хрупкий, свыше 300 °C – вязкий (пластичный).

По результатам лабораторных исследований установлены коэффициенты условий работы на растяжение  $\gamma_r$  АСК в диапазоне температур 100–400 °C, которые приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что значения коэффициентов условий работы АСК на растяжение при нагреве ниже, чем в охлажденном состоянии после нагрева в интервале температур 100–400 °C.

Наиболее интенсивное снижение прочности при нагреве и в охлажденном состоянии

Таблица 2

**Коэффициенты условий работы АСК при нагреве и после охлаждения**

| Номер серии | $\gamma_n$ при температуре нагрева, °С |      |      |      |      | $\gamma_n$ в охлажденном состоянии после нагрева до, °С |      |      |      |      |
|-------------|----------------------------------------|------|------|------|------|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|             | 100                                    | 200  | 300  | 350  | 400  | 100                                                     | 200  | 300  | 350  | 400  |
| 1           | 0,94                                   | 0,87 | 0,81 | 0,64 | 0,59 | 0,93                                                    | 0,93 | 0,94 | 0,80 | 0,67 |
| 2           | 0,97                                   | 0,88 | 0,87 | 0,68 | 0,65 | 0,95                                                    | 0,96 | 0,97 | 0,89 | 0,83 |
| 3           | 0,91                                   | 0,77 | 0,60 | 0,58 | 0,55 | 0,90                                                    | 0,88 | 0,85 | 0,80 | 0,47 |

**Выводы**

1) Общей тенденцией изменчивости прочности на растяжение всех серий АСК при кратковременном нагреве и в охлажденном состоянии после нагрева является ее снижение с повышением температуры.

2) Качество АСК от разных производителей имеет существенные различия и влияет на ее свойства, в том числе при температурных воздействиях.

При кратковременном нагреве до 300 °С прочность на растяжение АСК снизилась на 19-40%, при 400 °С – до 35-45% от первоначальной до нагрева. В охлажденном состоянии после нагрева до 100 °С прочность на растяжение АСК несколько снижается, затем с повышением температуры до 300 °С частично восстанавливается (до 85-97% от первоначальной), при нагреве свыше 300 °С интенсивно и необратимо снижается.

3) По результатам исследования изменчивости прочности при растяжении АСК установлены коэффициенты условий работы при нагреве и в охлажденном состоянии после нагрева в диапазоне температур 100–400 °С. Различие прочностных свойств АСК от разных производителей не позволяет установить усредненные коэффициенты условий работы АСК в зависимости от температуры нагрева и свидетельствует о нестабильности качества АСК от разных производителей при наличии сертификатов качества.

4) По показателю токсичности продуктов горения АСК относится к умеренно опасным материалам (Т2), что следует учитывать при проектировании.

**Библиографический список**

1. *Blontrock H., Taerwe L., and Matthys S.* Properties of FRP at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members // *Fibre Reinforced Polymer Reinforcement SP-188-5*, 1998. Pp. 43-54.

2. *Eedson R.T.* The effects of elevated temperatures on fibre reinforced polymers for strengthening concrete structures. – M.S. thesis, Civil Engineering Dept., Queen's University. – Kingston, Ontario, Canada, 2013.

3. *Yang L., Thomason J.L.* The Thermal Behaviour of Glass Fiber Investigated by Thermomechanical Analysis // *Journal of Materials Science*. – 2013. Vol. 48. P. 5768–5775.

4. *Dezfouli A.A.* Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. – Ph.D. dissertation, Material Dept. – Queen Mary University. – London, 2003.

5. *Alsayed S. [et al].* Performance of GFRP Bars Under Elevated Temperatures // *Composites Part B: Engineering*, 2012. Pp. 2265- 2271.

6. *Sayed-Ahmed E.Y., Shrive N.G.* Smart FRP prestressing tendons: Properties and prospects // Second Middle East Symp. on Structural Composites for Infrastructure Applications. 1999. Pp. 80-93.
7. *Galati N.* [et al]. Thermal effects on bond between FRP rebars and concrete // Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction: ACIC 2004. Elsevier Inc. Pp. 501-508.
8. *Robert M., Benmokrane B.* Behavior of GFRP Reinforcing Bars Subjected to Extreme Temperatures // Journal of Composites for Construction. 2010. Vol. 14. Pp. 353-360.
9. *Alsalihi M.A.J.* Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polymer Bars After Exposure to Elevated Temperatures. M. S. dissertation. Wisconsin Univ., Milwaukee, 2014.
10. *Costa Pires J.M.* Mechanical behaviour at elevated temperatures of GFRP pultruded composite profiles. M. S. dissertation, 2012.
11. *Dezfouli A.A.* Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. Ph.D. dissertation, Material Dept. Queen Mary University. London, 2003.
12. *Alsayed S.* [et al]. Performance of GFRP Bars Under Elevated Temperatures // Composites Part B: Engineering, 2012. Pp. 2265 – 2271.
13. *Ellis, Devon.* Evaluation of Post-Fire Strength of Concrete Flexural Members Reinforced With GFRP Bars. PhD Thesis. University of Wisconsin-Milwaukee, 2009.
14. *Wang Y.C., Wong P.M.H., and Kodur V.* An Experimental Study of the Mechanical Properties of FRP and Steel Reinforcing Bars at Elevated Temperatures // Composite Structures. 2007. Vol. 80. No. 1. Pp. 131-140.
15. *Blontrock H., Taerwe L., and Matthys S.* Properties of FRP at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members // Fibre Reinforced Polymer Reinforcement SP-188-5, 1998. Pp. 43-54.
16. *Kumahara S., Masuda Y., and Tanano Y.* Tensile Strength of Continuous Fiber Bar under High Temperature / International Symposium on Fiber-Reinforcement-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, American Concrete Institute, 1993. Pp. 731-742.
17. *Galati N.* [et al]. Thermal effects on bond between FRP rebars and concrete // Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction: ACIC 2004. Elsevier Inc. Pp. 501-508.
18. *Dezfouli A.A.* Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. Ph.D. dissertation, Material Dept. Queen Mary University. London, 2003.
19. *Katz A., Berman N., Bank L.C.* Effect of high temperature on bond strength of FRP rebars // Journal of Composites for Construction. Vol. 3. No. 2. 1999. Pp. 73-81.
20. *Фролов Н.П.* Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. 104 с.
21. *Аль-Шиблави К.А., Ярцев В.П.* Сравнительный анализ эксплуатационных свойств композитной пластиковой и металлической арматуры // Инновации в науке: научный журнал. № 6(67). Новосибирск, Изд. АНС «СибАК», 2017. С. 78-80.
22. *Ширко А.В., Камлюк А.Н., Спиглазов А.В., Дробыш А.С.* Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия // Механика машин, механизмов и материалов. 2015. № 2 (31).
23. *Грахов В.П., Захаров А.И., Кислякова Ю.Г., Саидова З.С.* Управление проектами в строительстве с применением композитной арматуры: монография. Ижевск: Изд-во ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова, 2017. 132 с.

## Авторы:

Валентина Федоровна СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, проф., заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Valentina STEPANOVA, D. Sci (Engineering), Full Prof., Head of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Андрей Викторович БУЧКИН, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey BUCHKIN, Ph. D. (Engineering), Deputy Head of the Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: andibuch@inbox.ru

тел.: +7 (499) 174-76-81

Ирина Сергеевна КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук, заведующая лабораторией температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Irina KUZNETSOVA, Ph. D. (Engineering), Head of the Laboratory of temperature stability and diagnostics of concrete and reinforced concrete designs of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: irina-yanko@mail.ru

Вера Геннадьевна РЯБЧЕНКОВА, заместитель заведующего лабораторией температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vera RYABCHENKOVA, Deputy Head of the Laboratory of temperature stability and diagnostics of concrete and reinforced concrete designs of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747134@mail.ru

Евгений Юрьевич ЮРИН, научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «Строительство», Москва

Evgeny YURIN, researcher of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: max199107@bk.ru

тел.: +7 (499) 174-76-81