

УДК 691.714.122

И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (1747139@mail.ru),
 В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, профессор, академик МИА (vfstepanova@mail.ru),
 А.В. БУЧКИН, канд. техн. наук (andibuch@inbox.ru), С.П. МИУСОВ, мл. науч. сотрудник (spmiosov@mail.ru),
 Д.В. АКОПЯН, ведущий инженер (1747139@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –
 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре

Приведены особенности поведения бетонных плит со стеклокомпозитной арматурой при пожаре и их отличия от железобетонных конструкций, выявленные на основе огневых испытаний. Обоснована неприменимость стандартных критериев достижения пределов огнестойкости железобетонных конструкций для опытной оценки огнестойкости бетонных конструкций со стеклокомпозитной арматурой.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, арматура композитная полимерная, арматура стеклокомпозитная, огнестойкость, высокотемпературный нагрев, огневые испытания.

Для цитирования: Кузнецова И.С., Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Миусов С.П., Акопян Д.В. Исследования поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре // *Бетон и железобетон*. 2021. № 5–6 (607–608). С. 32–37.

I.S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (1747139@mail.ru),
 V.F. STEPANOVA, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Academician of IAE (vfstepanova@mail.ru),
 A.V. BUCHKIN, Candidate of Sciences (Engineering) (andibuch@inbox.ru),
 S.P. MIUSOV, Junior Researcher (spmiosov@mail.ru), D.V. AKOPYAN, Leading (1747139@mail.ru)

Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev "Research Center of Construction" JSC
 (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Studies of the Behavior of Concrete Slabs with Composite Polymer Reinforcement in Case of Fire

The features of the behavior of concrete slabs with glass composite reinforcement in a fire and their differences from reinforced concrete structures identified on the basis of fire tests are presented. The article substantiates the inapplicability of standard criteria for achieving the fire resistance limits of reinforced concrete structures for the experimental assessment of the fire resistance of concrete structures with glass composite reinforcement.

Keywords: reinforced concrete structures, composite polymer reinforcement, fiberglass composite reinforcement, fire resistance, high-temperature heating, fire tests.

For citation: Kuznetsova I.S., Stepanova V.F., Buchkin A.V., Miusov S.P., Akopyan D.V. Studies of the Behavior of Concrete Slabs with Composite Polymer Reinforcement in Case of Fire. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 5–6 (607–608), pp. 32–37. (In Russian).

Арматура композитная полимерная (АКП) является альтернативой стальной арматуре за счет стойкости к агрессивным средам, низкой теплопроводности, диэлектрических свойств и магнитной инертности [1–4], что обуславливает возможность ее применения в бетонных конструкциях при строительстве:

- дорожных покрытий и ограждений объектов дорожно-транспортной инфраструктуры;
- сооружений высоковольтных линий электропередачи и подстанций;
- емкостей очистных сооружений, отстойников и каналов объектов химпроизводств, токсичных захоронений, водоподготовки и водоочистки, мелиорации;
- береговых ограждений портовых сооружений и морских набережных;

– объектов городских систем канализации и водоотведения;

– укреплений в виде стены в грунте для шахт, тоннелей и метрополитенов;

– фундаментных конструкций и полов;

– пунктов взимания дорожной платы, использующих технологию радиочастотной идентификации, боксов высокоточного научного, медицинского оборудования – магнитно-резонансных томографов.

Сдерживающим фактором применения АКП в гражданском строительстве является неизученность вопросов обеспечения огнестойкости бетонных конструкций с АКП [4–7].

Принципы проектирования и конструирования бетонных конструкций с АКП изложены в СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армиро-

ванные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования», где вопросы пожарной безопасности не рассматриваются. Целенаправленные исследования огнестойкости бетонных конструкций с АКП не проводились или носили частный характер [8–10].

В 2019 г. в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проведены рекогносцировочные испытания огнестойкости натуральных плитных бетонных конструкций с АКП [11], которым предшествовали исследования изменения прочности на растяжение стеклокомпозитной арматуры (АСК, разновидность АКП) различного качества (от разных производителей) при кратковременном нагреве и в охлажденном состоянии после нагрева в интервале температуры 60–400°C.

Установлена общая тенденция снижения прочности на растяжение АСК с ростом температуры, выявлена нестабильность изменчивости механических свойств от разных производителей. Так, например, при нагреве до 300°C наблюдается снижение прочности на растяжение АСК от 13 до 40% от первоначальной при 20°C [12–15].

Испытания на огнестойкость натуральных плитных бетонных конструкций с АКП проводились по методикам ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» бетонных плитных конструкций с АСК.

Целями исследований являлись:

- определения фактических пределов огнестойкости бетонных плит с АСК;
- сопоставление результатов огнестойкости бетонных плит с АСК и железобетонных плит;
- изучение специфики поведения бетонных плит с АСК при пожаре;
- оценка возможности применения расчетных методов огнестойкости железобетонных статически определимых изгибаемых элементов к оценке огнестойкости бетонных плит с АСК.

Огневые испытания подвергались четыре серии плит сплошного сечения габаритами 4200×1200×140 мм из тяжелого бетона класса В40 на гранитном заполнителе, запроектированные по СП 63.13330.2018 и СП 295.1325800.2017 с различными вариациями армирования. Толщина защитного слоя была принята одинаковой для всех серий плит и составляла 25 мм касательно к нижнему ряду арматуры.

В опытах присутствовала контрольная серия «А» плит, изготовленных с применением горячекатаной стержневой арматуры класса А500С в количестве семи стержней диаметром 14 мм.

В сериях «Б» и «В» плиты изготовлены с применением АСК от производителя ООО «КомАР» (г. Сара-



Рис. 1. Общий вид огневой установки
Fig. 1. General view of the firing installation

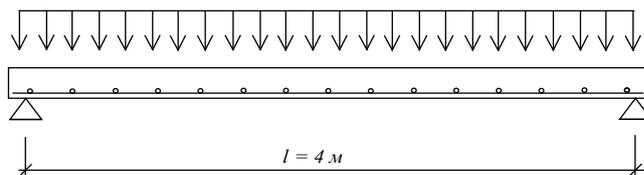


Рис. 2. Схема нагружения опытных плит при огневых испытаниях
Fig. 2. Scheme of loading test plates during fire tests

пул) в количестве семи стержней диаметром 12 мм, обеспечивающей первую группу предельных состояний в серии «Б» и в количестве двенадцати стержней диаметром 16 мм, обеспечивающей первую и вторую группы предельных состояний в серии «В».

В серии «Д» плиты изготовлены с применением АСК от двух производителей:

- в плите марки «Д1» применена АСК от производителя АО «СТЕКЛОНИТ» (г. Уфа) в количестве двенадцати стержней диаметром 16 мм, обеспечивающая первую и вторую группы предельных состояний;
- в плите марки Д2 применена АСК от производителя ООО «АРМКОМПОЗИТ» (г. Тула) в количестве семи стержней диаметром 12 мм, обеспечивающая первую группу предельных состояний.

Огневые испытания натуральных плит проведены в центре огневых испытаний НИЭЦ «Стройтест» (г. Алексин, Тульская обл.) (рис. 1).

Плиты испытывались по шарнирной схеме нагружения заданной равномерно распределенной нагрузкой (600 кг/м²). Нагружение плит осуществлялось бетонными блоками, равномерно установленными по длине плит (рис. 2).

Перед каждым огневым испытанием контролировалась влажность бетона плит, которая во всех сериях варьировалась в пределах 3,7–4,4%. Возраст бетона плит к моменту огневых испытаний составлял не менее 30 и не более 50 сут.

Перед испытаниями в процессе нагружения, а также в ходе испытаний на огнестойкость производились замеры прогибов плит с помощью прогибомеров. По мере нагружения перед огневым испытанием фиксировался прогиб плит под нагрузкой, предельная величина которого не должна была превышать 24,5 мм (до-

пустимый эксплуатационный прогиб по таблице Д.1 приложения Д по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»). Значение предельно допустимого прогиба при нагреве, характеризовавшего предельное состояние плит, было принято равным 200 мм, или $L/20$ (L – пролет), согласно Приложению А ГОСТ 30247.1.

В процессе огневых испытаний поддерживался стандартный температурный режим пожара, характеризующийся зависимостью:

$$T = 345 \cdot \lg(8t + 1) + T_0,$$

где T_0 – температура окружающей среды до пожара, °С; T – температура в печи, соответствующая времени t , °С; t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Согласно ГОСТ 30247.1, для изгибаемых элементов критерием наступления предела огнестойкости в процессе огневого испытания является наступление одного из предельных состояний:

- потеря несущей способности R вследствие обрушения конструкции, или возникновения предельного прогиба в середине пролета величиной $1/20$ пролета L (для опытных плит – 200 мм), или скорости нарастания деформации $L^2/(9000h)$ см/мин (для опытных плит – более 1,3 см/мин);

- потеря целостности E ;

- потеря теплоизолирующей способности I .

Специфика поведения бетонных плит с АСК проявилась на стадии подготовки к огневым испытаниям в процессе нагружения плит серий «Б» (серия равнопрочной замены АСК по первой группе предельных состояний). В процессе нагружения плит нагрузкой, превысившей 50% проектной нагрузки (300 кг/м²), прогиб плит превысил критериальное значение (25 мм). Последующее нагружение этих плит приводило к необратимому скачкообразному росту прогибов, что свидетельствовало о проскальзывании АСК в бетоне и проследивалось на торцах плит. После частичного снятия нагрузки до значения 50% проектной прогиб плит был необратимым и плиты серий «Б» испытывались под нагрузкой, равной 50% проектной.

До начала огневого испытания значения прогибов от нагрузки бетонных плит с АКП более чем в два раза превышали прогибы плит номинальной серии «А» со стальной арматурой.

В ходе огневых испытаний особенность поведения бетонных плит с АСК проявлялась в характере нарастания прогибов: с начала огневого испытания и практически до момента разрушения прогибы нарастали с постоянной скоростью 0,25–0,3 см/мин, с незначительным увеличением скорости в два раза за 1–2 мин до момента обрушения (рис. 3), что не соответствовало критерию скорости нарастания деформаций по ГОСТ 30247.1.

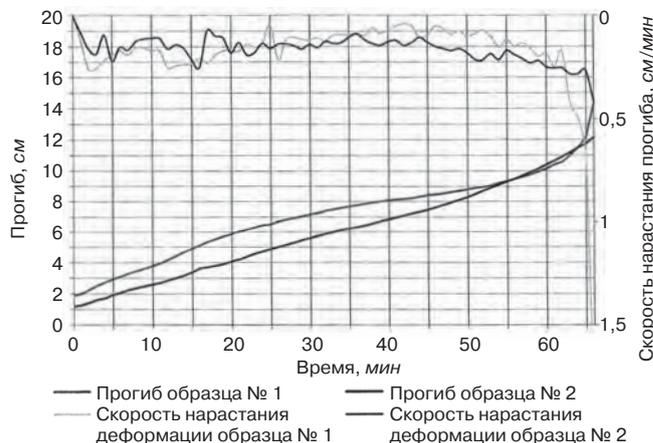


Рис. 3. Результаты измерений деформаций (прогибов) и скорости их нарастания в плитах с АСК

Fig. 3. The results of measurements of deformations (deflections) and the rate of their growth in slabs with polymer composite reinforcement



Рис. 4. Характерный вид плит с АСК на начальной стадии огневого испытания

Fig. 4. Typical view of plates with polymer composite reinforcement at the initial stage of the fire test



Рис. 5. Вид плит с АСК после обрушения

Fig. 5. View of slabs with polymer composite reinforcement after collapse



Рис. 6. Вид плит серии «А» на момент завершения испытания (113-я минута испытания)

Fig. 6. View of series «A» slabs at the time of completion of the test (113-th minute of the test)

Кроме того, в момент разрушения всех серий плит с АКП значения критических прогибов составляли $1/25L$ – $1/35L$ и были значительно меньше стандартного критериального прогиба $1/20L$, что также являлось методическим несоответствием ГОСТ 30247.1 по критерию наступления предельного прогиба.

Результаты огневых испытаний натуральных плит с армированием стальной арматурой и АСК
Results of fire tests of full-scale slabs with steel reinforcement and polymer composite reinforcement

Характерные параметры		Серия «А»		Серия «Б»		Серия «В»		Серия «Д»	
		A1	A2	B1	B2	V1	V2	D1	D2
Проектные параметры	Вид арматуры	A500С						АСК	
	Армирование (количество стержней, диаметр)	7 Ø14		7 Ø12		12 Ø16		12 Ø16	7 Ø12
	Расчет по первой группе предельных состояний	+	+	+	+				+
	Расчет по двум группам предельных состояний					+	+	+	
	Вид бетона	B40				B40			
	Производитель	-	-	ООО «КомАР»				АО «СТЕКЛОНИТ»	ООО «АРМКМПОЗИТ»
Условия испытаний	Нагружение (% от проектной нагрузки)	100	100	50	50	100	100	100	-
	Влажность бетона по массе, %	3,68	3,67	4,2	4,3	4,08	4,15	4,29	4,38
	Прогиб от нагрузки до испытания, мм	6,5	9,2	30,5	23,3	18,9	11,9	19	
Результаты огневых испытаний	Предел огнестойкости по потере несущей способности (R)	R 113		R 47		R 66		R 78	-
	Признак предельного состояния	Предельный прогиб		Обрушение		Обрушение		Необратимый прогиб	Обрушение
	Прогиб в предельном состоянии, мм	200	199	143	135	143	121	158	152
	Прогиб после остывания (обратимый), мм	119	110	-	-	-	-	-	-
	Глубина взрывообразного разрушения бетона	Локальные зоны 10 мм		Локальные зоны 25 мм		Локальные зоны 25 мм		Локальные зоны 10 мм	
	Максимальная температура нагрева арматуры, °С	580	575	300	250	320	290	400	405

В огневых испытаниях всех серий бетонных плит с АКП наступление пределов огнестойкости сопровождалось обрушением плит. Огневые испытания каждой серии плит проводились попарно (одновременный отжиг двух плит). После обрушения одной плиты из двух огневая установка отключалась, вторая плита также обрушалась через 5–10 мин после прекращения огневого испытания (рис. 4, 5).

Иной характер достижения предела огнестойкости наблюдался в контрольной серии «А» плит со стальной арматурой. Для плит серии «А» предел огнестойкости наступал по признаку достижения критериального прогиба 200 мм. При достижении критериального прогиба плиты не разрушились (рис. 6). После остывания прогибы плит серии «А» заметно уменьшились, т. е. носили частично обратимый характер.

Известно, что при пожаре железобетонные плиты с шарнирным опиранием при одностороннем нагреве снизу разрушаются в результате образования пластического шарнира в середине пролета из-за снижения нормативного сопротивления арматуры растяжению до критического значения напряжения от нормативной нагрузки [7, 8].

Максимальная температура нагрева стальной арматуры класса А500С к моменту наступления предела огнестойкости составляла 575–580°С. После

остывания стальная арматура частично восстанавливает прочностные свойства, что позволяет произвести восстановительный ремонт железобетонной конструкции или ее замену после пожара при обеспечении страховочных мероприятий.

Разрушение бетонных плит с АСК носит внезапный и хрупкий характер. Максимальная температура нагрева стержней АСК в бетонных плитах к моменту наступления предела огнестойкости варьировалась в пределах 250–300°С. С увеличением температуры нагрева конструкции по толщине происходит резкое изменение механических свойств АСК и потеря сцепления АСК с бетоном вследствие термического размягчения полимерной матрицы, что было подтверждено настоящими огневыми испытаниями и результатами испытаний зарубежных коллег [5, 12–14].

В ходе осмотра бетонных плит с АКП после испытаний установлено, что стержни АСК утратили целостность за счет полного выгорания связующего (термореактивной смолы) при нагреве и превратились в пучок стеклянных волокон.

Обобщенные результаты исследований приведены в таблице.

По результатам огневых испытаний установлено:
 – фактические пределы огнестойкости по потере несущей способности *R* бетонных плит с АСК серий «В»

и «Д», рассчитанных по двум группам предельных состояний, составили 58 и 69% от предела огнестойкости контрольных железобетонных плит серии «А»;

– пределы огнестойкости по потере целостности E и по потере теплоизолирующей способности не достигнуты во всех сериях огневых испытаний;

– при достижении предела огнестойкости бетонные плиты с АКП обрушаются, контрольные плиты со стальной арматурой не обрушаются, и после остывания прогиб плит уменьшается на 40%.

По результатам испытаний предпринята попытка расчетного обоснования огнестойкости бетонных плит с АСК на основе подходов к расчетной оценке огнестойкости железобетонных конструкций по СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности». Расчет показал, что принципиальные подходы к расчетной оценке огнестойкости по методикам СП 468.1325800.2019 неприменимы для расчетной оценки огнестойкости бетонных конструкций с АКП и оценка фактических пределов огнестойкости бетонных конструкций с АКП возможна только путем огневых испытаний.

Поскольку статистическая база данных по испытаниям бетонных конструкций с АСК на настоящий момент отсутствует, представленные исследования недостаточны для дальнейшей разработки расчетных методов оценки огнестойкости и требуют дальнейшего развития.

Выводы

1. Пределы огнестойкости бетонных плит с АСК составили 58–69% от предела огнестойкости железобетонных плит.

2. Критерии достижения предела огнестойкости по потере несущей способности железобетонных конструкций по ГОСТ 30247.1 неприменимы для бетонных конструкций с АСК.

3. Скорость нарастания прогибов бетонных плит с АСК в процессе огневого испытания практически

Список литературы

1. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 45–47.
2. Хорохордин А.М., Усачев А.М., Коротких Д.Н. Сравнительная оценка механических свойств полимерной композитной арматуры // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 71–75. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75
3. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. М.: АСВ, 2013. 200 с.
4. Плевков В.С., Тамразян А.Г., Кудяков К.Л. Прочность и трещиностойкость изгибаемых фибробетонных

одинакова и резко возрастает за 1–2 мин до обрушения при достижении критического прогиба $L/25$ – $L/35$.

4. При достижении предела огнестойкости бетонные плиты с АКП обрушаются. Обрушение бетонных плит происходит при нагреве АСК до температуры 300°C, носит хрупкий и внезапный характер.

5. Плиты, рассчитанные по первой группе предельных состояний, не выдерживают 100% проектного нагружения; в связи с этим равнопрочная замена стальной арматуры на АСК недопустима. Бетонные конструкции с АСК необходимо рассчитывать по двум группам предельных состояний по СП 295.1325800.2017.

6. Механизм разрушения плит с АСК отличается от железобетонных плит: бетонные плиты с АСК разрушаются из-за потери сцепления АСК с бетоном вследствие выгорания связующего, а железобетонные плиты разрушаются от образования пластического шарнира в пролете за счет снижения нормативного сопротивления растяжению арматуры до критического значения напряжения от нормативной нагрузки.

7. Существующие расчетные методы оценки огнестойкости железобетонных конструкций неприменимы для бетонных конструкций с АСК. Для бетонных конструкций с АКП необходимо проведение огневых испытаний применительно к конкретной конструкции, для каждого вида АКП и от конкретного производителя.

8. Распространение результатов огневых испытаний бетонных конструкций с АКП одного производителя на аналогичные конструкции с АКП других производителей не допускается.

References

1. Stepanova V. F., Stepanov A. Yu. Non-metallic composite rebar for concrete structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 45–47. (In Russian).
2. Khorokhordin A.M., Usachev A.M., Korotkih D.N. Comparative assessment of mechanical properties of polymer composite reinforcement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. (In Russian). 2018. No. 7, pp. 71–75. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75
3. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. *Armaturnaya kompozitnaya polimernaya* [Polymer composite reinforcement]. Moscow: ASV. 2013. 200 p.
4. Plevkov V.S., Tamrazyan A.G., Kudakov K.L. Prochnost' i treshchinostoykost' izgibaemykh fibrobetonnykh elementov s prednapryazhennoi steklokompozitnoi armaturoi pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении: monografiya [Strength and crack resistance of bendable fiber-concrete elements with prestressed glass composite reinforcement under static and short-term dynamic loading: monograph].

- элементов с преднапряженной стеклокомпозитной арматурой при статическом и кратковременном динамическом нагружении: Монография. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2021. 204 с.
5. Ширко А.В., Камлюк А.Н., Спишлязов А.В., Дробыш А.С. Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2015. № 2 (31). С. 59–65.
 6. Виноградова Н.А., Теплова Ж.С. Сдерживающие факторы использования композитной арматуры // *Молодой ученый*. 2016. № 17 (121). Ч. 1. С. 31–35.
 7. Милованов А.Ф. Железобетонные температуростойкие конструкции. М.: Издательство: НИИЖБ, 2005. 234 с.
 8. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. М.: Стройиздат, 1998. 304 с.
 9. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В. Экспериментальные и аналитические исследования огнестойкости сплошной бетонной плиты со стальной и композитной арматурой // *Пожарная безопасность*. 2013. № 2. С. 44–51.
 10. 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 им. М.Т. Калашникова, 2017. 132 с.
 11. Отчет по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе «Исследование бетонных конструкций, армированных фиброй композитной полимерной и арматурой композитной полимерной (АКП), на воздействие пожара». В 2 т.: Т. 1. М., 2019. 127 с.
 12. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Юрин Е.Ю. Изменение прочностных характеристик стеклокомпозитной арматуры при кратковременном температурном воздействии // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020. № 4 (27). С. 107–116.
 13. Blontrock H., Taerwe L., Matthys S. Properties of FRP at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members. *Proceedings of the 4th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-4)*. 1999, pp. 43–54.
 14. Dezfouli, Abdolkarim Abbasi. Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. 2003.
 15. Tanano H. Fire resistance of continuous fibre reinforced concrete. Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. Edited by L. Taewe. 1995, pp. 368–375.
 16. Аль-Шиблави К.А., Ярцев В.П. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств композитной пластиковой и металлической арматуры // *Инновации в науке: научный журнал*. 2017. № 6 (67). С. 78–80.
 - Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Publishing House. 2021. 204 p.
 5. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Spishlazov A.V., Drobysch A.S. Determination of the mechanical properties of composite reinforcement taking into account the temperature effect. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2015. No. 2 (31), pp. 59–65. (In Russian).
 6. Vinogradova N.A., Teplova Zh.S. Constraints on the use of composite rebar. *Molodoi uchenyi*. 2016. No. 17 (121). Part 1, pp. 31–35. (In Russian).
 7. Milovanov A.F. Zhelezobetonnye temperaturostoikiye konstruksii [Reinforced concrete temperature-resistant structures]. Moscow: Publishing house: NIIZhB. 2005. 234 p.
 8. Milovanov A.F. Stoikost' zhelezobetonnykh konstruksii pri pozhare [Resistance of reinforced concrete structures in case of fire]. Moscow: Sroyizdat. 1998. 304 p.
 9. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Experimental and analytical studies of fire resistance of a solid concrete slab with steel and composite reinforcement. *Pozharnaya bezopasnost'*. 2013. No. 2, pp. 44–51. (In Russian).
 10. Grakhov V.P., Zakharov A.I., Kislyakova Yu.G., Saidova Z.S. Upravlenie proektami v stroitel'stve s primeneniem kompozitnoi armatury: monografiya [Project management in construction with the use of composite reinforcement: monograph.]. Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov. 2017. 132 p.
 11. Report on research and development work "Investigation of concrete structures reinforced with polymer composite fiber and polymer composite reinforcement (ACP), on the impact of fire". Vol. 1. Moscow. 2019. 127 p.
 12. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Yurin E.Yu. Changes in the strength characteristics of glass composite reinforcement under short-term temperature exposure. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo»*. 2020. No. 4 (27), pp. 107–116. (In Russian).
 13. Blontrock H., Taerwe L., Matthys S. Properties of FRP at elevated temperatures with regard to fire resistance of reinforced concrete members. *Proceedings of the 4th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-4)*. 1999, pp. 43–54.
 14. Dezfouli, Abdolkarim Abbasi. Behaviour of GFRP rebars reinforced concrete elements under elevated temperature and fire. 2003.
 15. Tanano H. Fire resistance of continuous fibre reinforced concrete. Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. Edited by L. Taewe. 1995, pp. 368–375.
 16. Al'-Shiblavi K.A., Yartsev V.P. Comparative analysis of the performance properties of composite plastic and metal reinforcement. *Innovatsii v nauke: nauchnyi zhurnal*. 2017. No. 6 (67), pp. 78–80. (In Russian).