

Особенности проектирования монолитных бетонных фундаментных плит с композитной полимерной арматурой

Константин Львович Кудяков^{1,2}, Андрей Викторович Бучкин¹

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; г. Москва, Россия;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. За последнее десятилетие увеличилась доля бетонных конструкций, армированных композитной полимерной арматурой (АКП), что связано в том числе с развитием нормативно-технической базы в данном направлении. Присущие АКП особенности, во многом обусловленные свойствами ее компонентов, которые необходимо учитывать на всех этапах строительства и эксплуатации здания, приводят к некоторым изменениям в традиционных для железобетона подходах к проектированию конструкций и технологии их возведения.

Материалы и методы. Выполнен обзор отечественного опыта применения арматуры композитной полимерной при строительстве монолитных бетонных фундаментов. Рассмотрен пример проектно-конструкторских решений фундаментной плиты, на основе анализа которого был осуществлен подбор армирования из АКП по результатам расчетов по первой и второй группам предельных состояний.

Результаты. Обозначены особенности проектирования, которые следует учитывать при расчете фундаментных плит из бетона, армированного АКП. На конкретном примере монолитной бетонной фундаментной плиты показано влияние учета фактических механических характеристик АКП на результаты расчетов по прочности и трещиностойкости. Результаты расчетов, выполненные по различным редакциям нормативных документов, актуальным на период с 2014 по 2023 г., наглядно демонстрируют развитие нормативной базы в части учета свойств АКП в армированных бетонных конструкциях.

Выводы. При рациональном подходе к процессам проектирования возможно разрабатывать проекты бетонных фундаментных плит на упругом основании с применением АКП, отвечающие требованиям нормативных документов по надежности. Имеется возможность полного исключения металлических элементов (арматуры, изделий, закладных деталей) в таких конструкциях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: арматура композитная полимерная, АКП, стеклокомпозитная арматура, неметаллическая стержневая арматура, армированные бетонные конструкции, проектирование монолитных фундаментных плит

Благодарности. Авторы выражают благодарность указанным в статье организациям за предоставленные материалы и информацию.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кудяков К.Л., Бучкин А.В. Особенности проектирования монолитных бетонных фундаментных плит с композитной полимерной арматурой // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 6. С. 892–905. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.892-905

Автор, ответственный за переписку: Константин Львович Кудяков, konst_k@mail.ru.

Design of monolithic concrete foundation slabs with FRP reinforcement

Konstantin L. Kudyakov^{1,2}, Andrey V. Buchkin¹

¹ Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after: A.A. Gvozdeva JSC “Research Center “Construction”; Moscow, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Over the past decade, the share of concrete structures reinforced with composite polymer reinforcement (FRP) has increased, which is due, among other things, to the development of the regulatory and technical framework in this direction. The inherent features of FRP, largely determined by the properties of its components, which must be taken into account at all stages of construction and operation of the building, lead to some changes in the traditional approaches to the design of structures and the technology of their construction.

Materials and methods. A review of domestic experience in the use of composite polymer reinforcement in the construction of monolithic concrete foundations is carried out. An example of design and construction solutions of a foundation plate is

considered. On the basis of its analysis, the selection of reinforcement from FRP was carried out according to the results of calculations for the first and second groups of limit states.

Results. Design features that should be taken into account when calculating foundation slabs made of concrete reinforced with FRP are indicated. The concrete example of a monolithic concrete foundation slab shows the effect of taking into account the actual mechanical characteristics of FRP on the results of strength and crack resistance calculations. The results of calculations carried out according to various editions of regulatory documents relevant for the period from 2014 to 2023 clearly demonstrate the development of the regulatory framework in terms of taking into account the FRP properties in reinforced concrete structures.

Conclusions. With a rational approach to design processes, it is possible to develop projects of concrete foundation slabs on an elastic base using FRP that meet the requirements of regulatory documents on reliability. It is possible to completely exclude metal elements (fittings, products, embedded parts) in such structures.

KEYWORDS: fibre reinforcement polymer rebar, FRP, GFRP, non-metal core reinforcement, reinforced concrete structures, design of monolithic foundation slabs

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the organizations indicated in the paper for the materials and information provided.

FOR CITATION: Kudyakov K.L., Buchkin A.V. Design of monolithic concrete foundation slabs with FRP reinforcement. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(6):892-905. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.892-905 (rus.).

Corresponding author: Konstantin L. Kudyakov, konst_k@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность использования конструкций, армированных композитной полимерной арматурой (АКП), при армировании бетонных конструкций зданий и сооружений определяется наличием у АКП ряда особенностей, которые необходимо учитывать на всех этапах строительства и эксплуатации здания. Эти особенности также приводят к некоторым изменениям в традиционных для железобетона подходах к проектированию конструкций и технологии их возведения и вызывают настороженность к данному материалу у многих проектных и строительных организаций. Это усугубляется обилием информации в открытых источниках, которая неполно или недостоверно описывает действительные характеристики и особенности АКП, а также ее достоинства и недостатки в сравнении с традиционной стальной арматурой. Широко распространены так называемые «таблицы равнопрочной замены»,

в которых отражены содержащие ошибки результаты (данными таблицами пользоваться недопустимо). Совокупность этих факторов приводит к тому, что инженеры при разработке проектных решений в основном прибегают к традиционным материалам. Тем не менее рациональное и обоснованное применение АКП при армировании бетонных и фибробетонных конструкций перспективно [1–20].

Непосредственной областью применения АКП является армирование бетонных фундаментов. Использование АКП отмечается как в частном, так и в промышленно-гражданском строительстве (рис. 1).

Имеется и уникальный опыт строительства фундаментов под многоэтажные офисные, производственные и жилые здания:

- фундаментная плита 7-этажного офисного здания, основное армирование плиты из АКП, г. Москва, ул. Вере́йская, 2013 г. (рис. 2);



a



b





Рис. 1. Общий вид бетонных фундаментов, армированных АКП от различных производителей, для малоэтажных зданий (использованы фотоматериалы из открытых интернет-ресурсов): *a* — ООО «Гален» (URL: <https://www.galencomposite.ru/>); *b* — АО «ХЭЛП Композит» (URL: <https://helpcomposite.ru/>); *c* — ГК «Армпласт» (URL: <https://arm-plast.ru/>); *d* — ООО «КОМПОЗИТ ГРУПП ЧЕЛЯБИНСК» (URL: <http://compositgroup74.ru/>); *e* — ООО «Композит 21» (URL: <https://21kompozit.ru/>)

Fig. 1. General view of concrete foundations reinforced with FRP from various manufacturers for low-rise buildings (photo materials from open Internet resources were used): *a* — “Galen” LLC (URL: <https://www.galencomposite.ru/>); *b* — “HELP Composite” JSC (URL: <https://helpcomposite.ru/>); *c* — “Armplast” Group of Companies (URL: <https://arm-plast.ru/>); *d* — “KOMPOZIT GROUP CHELYABINSK” LLC (URL: <http://compositgroup74.ru/>); *e* — “Kompozit 21” LLC (URL: <https://21kompozit.ru/>)

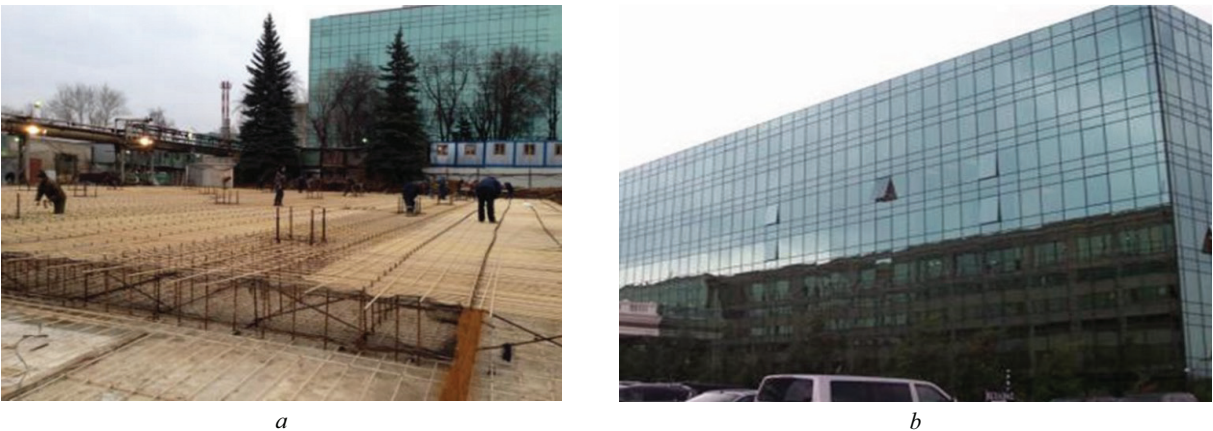


Рис. 2. Армирование фундаментной плиты (*a*) и офисного здания по ул. Вере́йская, г. Москва (*b*) (фотоматериалы предоставлены Ассоциацией «Композитные строительные материалы» (до 2015 г. — Ассоциация ОПИНКА «Неметаллическая композитная арматура»))

Fig. 2. Reinforcement of the foundation slab (*a*) and the office building in Vereyskaya st., Moscow (*b*) (photo materials provided by the Association “Composite Building Materials” (until 2015 — the Association of Non-metallic Composite Reinforcement))



Рис. 3. Общий вид армирования фундаментной плиты (а) и офисного здания по ул. Буракова, г. Москва (б) (фотоматериалы предоставлены Ассоциацией «Композитные строительные материалы»)

Fig. 3. General view of reinforcement of the foundation slab (a) and the office building in Burakova st., Moscow (b) (photo materials provided by the Association “Composite Building Materials”)



Рис. 4. Фундаментные плиты (а) и производственное здание под швейный цех по ул. Голубева, г. Ижевск (б) (фотоматериалы предоставлены ООО «КомАР»)

Fig. 4. Foundation slabs (a) and the production building for the sewing workshop in Golubeva St., Izhevsk (b) (photo materials provided by KomAR LLC)



Рис. 5. Общий вид армирования фундаментной плиты 15-этажного жилого дома в ЖК «Саларьево Парк», г. Москва (URL: <https://galencomposite.ru/>; URL: <https://mgsu.ru>)

Fig. 5. General view of the reinforcement of the foundation slab of a 15-storey residential building in the residential complex “Salarievo Park”, Moscow (URL: <https://galencomposite.ru/>; URL: <https://mgsu.ru>)



Рис. 6. Армирование фундаментной плиты 17-этажного жилого дома в ЖК «Дрожжино-2», д. Дрожжино, Московская обл. (URL: <https://galencomposite.ru/>)

Fig. 6. Reinforcement of the foundation slab of a 17-storey residential building in the residential complex “Drozhzhino-2”, Drozhzhino village, Moscow region (URL: <https://galencomposite.ru/>)

- фундаментная плита 4-этажного офисного здания, основное армирование плиты из АКП, г. Москва, ул. Буракова, 2013 г. (рис. 3);

- фундаментные плиты хранилищ, Мурманская обл., 2015 г. [13];

- фундаментная плита 4-этажного производственного здания под швейный цех, основное армирование плиты из АКП, г. Ижевск, ул. Голубева, 2018 г. (рис. 4);

- фундаментная плита 15-этажного жилого дома, основное армирование плиты из АКП, г. Москва, д. Саларьево, 2017 г. (рис. 5) [12];

- фундаментная плита 6-секционного 17-этажного жилого дома, основное армирование верхней зоны плиты из АКП, Московская обл., д. Дрожжино, 2016 г. (рис. 6).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Стальная арматура имеет статистически обоснованную, весьма широкую и при этом достаточно жесткую классификацию по механическим характеристикам. Иная ситуация сложилась с АКП, показатели и качество которой могут зависеть от множества факторов: сырье, состав, технология производства, контроль качества и прочее. Нормами допускается при расчетах конструкций принимать значения механических характеристик АКП, определенные с обеспеченностью не менее 0,95 по результатам испытаний в соответствии с ГОСТ 32492, но не ниже величин, указанных в ГОСТ 31938 и СП 295.1325800. Фактические показатели прочности и деформативности АКП, выполненной по ГОСТ 31938, могут отличаться от обозначенных в нормах величин. Например, прочность при растяжении арматуры стеклокомпозитной (АСК) может варьироваться в диапазоне от 800 МПа (минимальное значение по СП 295.1325800 — 800 МПа; в ГОСТ 31938–2022 — 1000 МПа) до 1100–1250 МПа, а модуль упругости при растяжении от 50 до 57 ГПа. Таким образом, наличие подтвержденных данных о фактических механических характеристиках той

или иной АКП (паспорт качества, протоколы испытаний, результаты приемо-сдаточных испытаний и прочее) может существенно влиять на результаты инженерных расчетов [14–16].

Проектирование бетонных конструкций с АКП несколько отличается от традиционных подходов, применяемых к железобетонным конструкциям, и имеет свою специфику [17–28]. Ниже приведены некоторые ее проявления, существенно влияющие на результаты подбора параметров армирования АКП в изгибаемых бетонных элементах на упругом основании.

Исходя из опыта проектирования пролетных изгибаемых бетонных конструкций с АКП, преобладающим фактором, влияющим на окончательный подбор количества рабочей продольной АКП, являются результаты расчета конструкций по 2-й группе предельных состояний, в частности — расчетные значения деформаций и ширины раскрытия трещин [28–34].

В связи с этим немаловажным является новое изложение п. 6.2.10 СП 295.1325800.2017, приведенное в соответствующем Изменении № 1 (введено в действие 16.06.2021). В соответствии с ним для прямоугольных сечений упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона W_{pl} допускается принимать равным произведению упругого момента сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения W_{red} и коэффициента γ , который учитывает неупругие свойства бетона растянутой зоны сечения:

$$W_{pl} = \gamma \cdot W_{red},$$

где $\gamma = 1,73 - 0,005 \cdot (B - 15)$; B — числовая характеристика класса бетона по прочности на осевое сжатие.

Так, для армированных АКП конструкций из бетона класса В25, с учетом положений Изменения № 1 к СП 295.1325800.2017, величина коэффициента γ увеличивается с 1,3 (в соответствии с предыдущей редакцией документа) до 1,68, что приводит к аналогичному увеличению расчетного значения момента образования трещин M_{crc} . В свою очередь, это приводит к уменьшению ве-

личины коэффициента ψ_f , учитывающего неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами, и, как следствие, происходит снижение расчетных значений ширины продолжительного и непродолжительного раскрытия трещин $\alpha_{срс}$. Таким образом, по результатам расчетов конструкций по второй группе предельных состояний требуемая площадь продольной рабочей арматуры может уменьшаться.

При расчетах изгибаемых бетонных конструкций с АКП, помимо прочих требований СП 295.1325800, необходимо уделять особое внимание соблюдению следующих положений, учитывающих особенности АКП и имеющих отличия от аналогичных требований для железобетонных конструкций:

- учитывая снижение прочности АКП при длительном действии нагрузки, при расчетах конструкций рекомендуется дополнительно выполнять проверку по предельным состояниям первой группы при действии только постоянных и длительных нагрузок. При таких расчетах следует применять сопротивление АКП растяжению при длительных нагрузках R_{fd} (п. 5.2.7 СП 295.1325800);
- при наличии трещин в сечении изгибаемого элемента должно выполняться условие $M_{ult} \geq 1,5M_{crc}$ (п. 6.1.3 СП 295.1325800);
- АКП обладает высокой коррозионной стойкостью. В связи с этим толщина защитного слоя бетона для рабочей АКП в монолитных конструкциях, в том числе в фундаментах, должна составлять не менее 25 мм (п. 8.2.2 СП 295.1325800);
- в изгибаемых элементах величина процента рабочего армирования μ_f должна быть не менее 0,13 % (п. 8.2.5 СП 295.1325800);
- при должном обосновании и соблюдении качества строительных работ допускается не устраи-

вать вторичную защиту от коррозии для бетонных конструкций с АКП.

Рассмотрим варианты армирования монолитной бетонной фундаментной плиты на упругом грунтовом основании. Толщина фундаментной плиты 800 мм, бетон класса по прочности на сжатие В25. Исследованы стальная арматура класса А500С по ГОСТ Р 52544–2006 и АСК по ГОСТ 31938–2022. Для АСК приняты минимально допустимые ($R_{f,n} = 1000$ МПа; $E_f = 50$ ГПа) и повышенные ($R_{f,n} = 1150$ МПа; $E_f = 55$ ГПа) значения механических характеристик с учетом имеющейся на рынке строительных материалов РФ арматуры.

В качестве исходных данных использованы сведения из проектной документации (многоэтажный жилой дом), в которой было рассмотрено 2 варианта армирования фундаментной плиты: полностью из стальной арматуры (вариант 1) и комбинированное армирование из стальной арматуры и АСК (вариант 2). Кроме этого, принимались во внимание результаты анализа конечно-элементной модели фундаментной плиты, выполненные с учетом проектных нагрузок и фактических коэффициентов постели, вычисленных по данным инженерно-геологических изысканий.

Исходные данные для разработки вариантов армирования фундаментной плиты приняты следующими (табл. 1):

Вариант 1. Принят в соответствии с проектной документацией. Проектные решения разработаны с учетом требований актуального на тот момент СП 63.13330.2012. Рассмотрена только стальная арматура класса А500С.

Вариант 2. Разработан по результатам расчетного обоснования замены проектных решений армирования фундамента стальной арматурой на АСК с учетом допусков и требований Приложения Л

Табл. 1. Исходные параметры для разработки вариантов армирования фундаментной плиты

Table 1. Initial parameters for the development of reinforcement options for the foundation slab

Параметры Parameters		Варианты армирования фундаментной плиты (толщина плиты 800 мм, класс бетона В25) The reinforcement options for the foundation slab (slab thickness 800 mm, concrete class B25)			
		Вариант 1 (по проекту) Option 1 (by project)	Вариант 2 (по проекту) Option 2 (by project)	Вариант 3 Option 3	Вариант 4 Option 4
Вид армирования плиты Type of the slab reinforcement	Фоновая арматура верхней зоны, шаг 200 мм Main reinforcement of the upper zone, 200 mm pitch	A500C по ГОСТ Р 52544–2006	АСК по ГОСТ 31938–2012 (введен в действие 01.01.2014) GFRP according to GOST 31938–2012 (in effect since 01.01.2014)	АСК по ГОСТ 31938–2012 GFRP according to GOST 31938–2012	АСК по ГОСТ 31938–2022 (введен с 01.09.2022) GFRP according to GOST 31938–2022 (in effect since 01.09.2022)
	Дополнительная арматура усиления верхней зоны, шаг 200 мм Additional reinforcement of the upper zone, 200 mm pitch	A500C according to GOST R 52544–2006			

Параметры Parameters		Варианты армирования фундаментной плиты (толщина плиты 800 мм, класс бетона В25) The reinforcement options for the foundation slab (slab thickness 800 mm, concrete class B25)			
		Вариант 1 (по проекту) Option 1 (by project)	Вариант 2 (по проекту) Option 2 (by project)	Вариант 3 Option 3	Вариант 4 Option 4
Вид армирования плиты Type of the slab reinforcement	Фоновая арматура нижней зоны, шаг 200 мм Main reinforcement of the lower zone, 200 mm pitch	A500C по ГОСТ Р 52544–2006 A500C according to GOST R 52544–2006	A500C по ГОСТ Р 52544–2006 A500C according to GOST R 52544–2006	АСК по ГОСТ 31938–2012 GFRP according to GOST 31938–2012	АСК по ГОСТ 31938–2022 (введен с 01.09.2022) GFRP according to GOST 31938–2022 (in effect since 01.09.2022)
	Дополнительная арматура усиления нижней зоны, шаг 200 мм Additional reinforcement of the lower zone, 200 mm pitch				
	Гнутые элементы контура, шаг 200 мм Bent contour elements, 200 mm pitch				
Величина защитного слоя бетона (верхняя и нижняя зоны плиты), мм The value of the protective layer of concrete (upper and lower zones of the slab), mm		40	40	25	25
Применяемый нормативный документ для расчетов плиты и подбора арматуры Applicable regulatory document for slab calculations and rebar selection		СП 63.13330.2012 SP 63.13330.2012	Изменение № 1 к СП 63.13330.2012 (введено 13.07.2015) Amendment No. 1 to SP 63.13330.2012 (in effect since 13.07.2015)	СП 295.1325800.2017 (введен 12.01.2018) SP 295.1325800.2017 (in effect since 12.01.2018)	Изменение № 1 к СП 295.1325800.2017 (введено с 16.06.2020) Amendment No. 1 to SP 295.1325800.2017 (in effect since 16.06.2020)
Механические характеристики арматуры Mechanical characteristics of the reinforcement	Нормативные Regulatory	$R_{s,n} = 500$ МПа; $E_s = 200$ ГПа $R_{s,n} = 500$ МПа; $E_s = 200$ ГПа	$R_{fn} = 1150$ МПа; $E_f = 55$ ГПа $R_{fn} = 1,150$ МПа; $E_f = 55$ ГПа	$R_{fn} = 1000$ МПа; $E_f = 50$ ГПа $R_{fn} = 1,000$ МПа; $E_f = 50$ ГПа	$R_{fn} = 1150$ МПа; $E_f = 55$ ГПа $R_{fn} = 1,150$ МПа; $E_f = 55$ ГПа
	Расчетные Design	$R_s = 435$ МПа; $R_{sc} = 400–435$ МПа $R_s = 435$ МПа; $R_{sc} = 400–435$ МПа	$R_f = 583,3$ МПа; $R_{fl} = 345$ МПа; $R_{fc} = 0$ $R_f = 583.3$ МПа; $R_{fl} = 345$ МПа; $R_{fc} = 0$	$R_f = 513,3$ МПа; $R_{fl} = 300$ МПа; $R_{fc} = 0$ $R_f = 513.3$ МПа; $R_{fl} = 300$ МПа; $R_{fc} = 0$	$R_f = 583,3$ МПа; $R_{fl} = 345$ МПа; $R_{fc} = 0$ $R_f = 583.3$ МПа; $R_{fl} = 345$ МПа; $R_{fc} = 0$

СП 63.13330.2012 (с Изменением № 1). Рассмотрена АСК с повышенными механическими характеристиками.

Вариант 3. Разработан с учетом допусков и требований СП 295.1325800.2017. Рассмотрена АСК с минимальными механическими характеристиками (по ГОСТ 31938–2022).

Вариант 4. Разработан с учетом допусков и требований СП 295.1325800.2017 (с Изменением № 1). Рассмотрена АСК с повышенными механическими характеристиками.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С учетом исходных данных и результатов расчетов по 1-й и 2-й группам предельных состояний

в соответствии с обозначенными выше нормативными документами разработаны варианты 3 и 4 для армирования фундаментной плиты (табл. 2, 3).

Принципиальная схема армирования плиты для вариантов 1 и 2 приведена на рис. 7; для вариантов 3 и 4 принята аналогичная схема армирования с учетом изменения толщины защитного слоя бетона, которая составила 25 мм.

Во всех рассмотренных вариантах армирования в верхней зоне плиты трещины не образуются. В вариантах 1 и 2 в нижней зоне плиты образуются нормальные трещины с шириной раскрытия до 0,2 мм, что не превышает предельные значения по СП 63.13330. В вариантах 3 и 4 в нижней зоне плиты образуются

Табл. 2. Результаты подбора АКП для вариантов 3 и 4 по результатам расчетов фундаментной плиты по 1-й и 2-й группам предельных состояний и с учетом конструктивных требований

Table 2. The results of the selection of FRP for options 3 and 4 based on the results of calculations of the foundation slab for 1 and 2 groups of limit states and taking into account design requirements

Номер варианта подбора арматуры Number of the fitting selection option	Характеристики композитной арматуры и некоторые расчетные зависимости Characteristics of GFRP reinforcement and some design dependencies	Зона поперечного сечения плиты Zone of the cross section of the slab	Требуемые площади продольной рабочей АСК в фундаментной плите и соответствующие им варианты подбора армирования (величин защитного слоя бетона 25 мм) The required areas of the longitudinal GFRP in the foundation slab and their corresponding options for the selection of reinforcement (the value of the protective layer of concrete 25 mm)			Результаты подбора армирования плиты (АСК): фоновая и дополнительная арматура (при необходимости) The results of the selection of slab reinforcement (GFRP): main and additional reinforcement (if necessary)	
			по результатам расчетов плиты по предельным состояниям при действии максимального изгибающего момента, возникающего в ее нормальных сечениях According to the results of slab calculations according to the limit states under the action of the maximum bending moment in its normal cross-sections				по минимальным конструктивным требованиям СП 295.1325800.2017 (п. 8.2.5) / according to the minimum design requirements of CP 295.1325800.2017 (p. 8.2.5)
			I группы ULS		II группы SLS		
			от действия расчетной полной нагрузки from the action of the design full load	от действия только постоянных и длительных расчетных нагрузок from the action of only constant and long-term design loads	от действия нормативной полной нагрузки from the action of the regulatory full load		
Вариант 3 (по СП 295.1325800.2017) Option 3 (according to CP 295.1325800.2017)	$R_{f,n} = 1000 \text{ МПа};$ $E_f = 50 \text{ ГПа};$ $R_f = 513,3 \text{ МПа};$ $R_{cl} = 300 \text{ МПа};$ $\bar{W}_{pl} = 1,3 \bar{W}_{red}$ $R_{f,n} = 1,000 \text{ МПа};$ $E_f = 50 \text{ ГПа};$ $R_f = 513,3 \text{ МПа};$ $R_{cl} = 300 \text{ МПа};$ $\bar{W}_{pl} = 1,3 \bar{W}_{red}$	Верх Top	611 мм ² , Ø13 мм, шаг 200 мм 611 мм ² , Ø13 мм, 200 mm pitch	866 мм ² , Ø15 мм, шаг 200 мм 866 мм ² , Ø15 мм, 200 mm pitch	– ($M_{cr} > M_{max}$)	Ø16 мм, шаг 200 мм Ø16 mm, 200 mm pitch	
		Низ Bottom	1316 мм ² , Ø13 мм, шаг 200 мм + Ø13 мм, шаг 200 мм 1,316 мм ² , Ø13 мм, 200 mm pitch + Ø13mm, 200 mm pitch	1842 мм ² , Ø16 мм, шаг 200 мм + Ø16 мм, шаг 200 мм 1,842 мм ² , Ø16 мм, 200 mm pitch + Ø16 mm, 200 mm pitch	2833 мм ² , Ø16 мм, шаг 200 мм + Ø22 мм, шаг 200 мм 2,833 мм ² , Ø16 мм, 200 mm pitch + Ø22 mm, 200 mm pitch		Ø16 мм, шаг 200 мм + Ø22 мм, шаг 200 мм Ø16 mm, 200 mm pitch + Ø22 mm, 200 mm pitch
Вариант 4 (по СП 295.1325800.2017 с Изменениями № 1) / Option 4 (according to CP 295.1325800.2017 with Amendment No. 1)	$R_{f,n} = 1150 \text{ МПа};$ $E_f = 55 \text{ ГПа};$ $R_f = 583,3 \text{ МПа};$ $R_{cl} = 345 \text{ МПа};$ $\bar{W}_{pl} = 1,68 \bar{W}_{red}$ $R_{f,n} = 1,150 \text{ МПа};$ $E_f = 55 \text{ ГПа};$ $R_f = 583,3 \text{ МПа};$ $R_{cl} = 345 \text{ МПа};$ $\bar{W}_{pl} = 1,68 \bar{W}_{red}$	Верх Top	532 мм ² , Ø12 мм, шаг 200 мм 532 мм ² , Ø12 мм, 200 mm pitch	753 мм ² , Ø14 мм, шаг 200 мм 753 мм ² , Ø14 мм, 200 mm pitch	– ($M_{cr} > M_{max}$)	994,5 мм ² , Ø16 мм, шаг 200 мм 994,5 мм ² , Ø16 мм, 200 mm pitch	Ø16 мм, шаг 200 мм Ø16 mm, 200 mm pitch
		Низ Bottom	1144 мм ² , Ø12 мм, шаг 200 мм + Ø12 мм, шаг 200 мм 1,144 мм ² , Ø12 мм, 200 mm pitch + Ø12 mm, 200 mm pitch	1602 мм ² , Ø15 мм, шаг 200 мм + Ø15 мм, шаг 200 мм 1,602 мм ² , Ø15 мм, 200 mm pitch + Ø15 mm, 200 mm pitch	1820 мм ² , Ø16 мм, шаг 200 мм + Ø16 мм, шаг 200 мм 1,820 мм ² , Ø16 мм, 200 mm pitch + Ø16 mm, 200 mm pitch		

Примечание: в таблице приведены результаты подбора армирования фундаментной плиты с учетом ее геометрических параметров и максимальных значений изгибающего момента от действия внешних нагрузок; подбор арматуры по результатам расчета по 2-й группе предельных состояний осуществлен по критерию допустимой ширины продолжительного и непродолжительного раскрытия трещин a_{cr} , равной 0,5 и 0,7 мм соответственно.

Notes: the table shows the results of the selection of the foundation slab reinforcement taking into account its geometric parameters and the maximum values of the bending moment from the action of external loads; the based on the SLS calculation results selection of reinforcement was carried out according to the criterion of the permissible width of long-term and short-term crack opening a_{cr} , equal to 0.5 and 0.7 mm, respectively.

нормальные трещины с шириной продолжительного раскрытия до 0,5 мм, что не превышает предельные значения по СП 295.1325800. В связи с чем в вариантах армирования 3 и 4 из конструктивного решения нижней зоны фундаментной плиты рекомендуется полностью заменить стальные элементы и детали на их аналоги из АСК.

Из табл. 2 можно отметить, что минимальные значения требуемой площади АСК получены по результатам расчетов по 1-й группе предельных состояний, среди которых наиболее неблагоприятные результаты соответствуют воздействию только постоянной и длительной расчетных нагрузок.

Подбор арматуры для рассматриваемой плиты осуществлен по максимальным значениям требуемой площади АСК, которым соответствуют результаты расчетов по 2-й группе предельных состояний.

При этом для незначительно нагруженных бетонных элементов без трещин преобладающим фактором при подборе АСК также могут являться конструктивные требования ($\mu_f \geq \mu_{f,min}$).

Комплексный учет всех особенностей АКП, развитие технологии ее производства (промышленное изготовление гнутых изделий из АКП); применение АКП с повышенными механическими характеристиками и их учет в расчетах, а также развитие нормативно-технической базы позволяют разрабатывать проекты фундаментных бетонных плит под многоэтажные здания с полной заменой стальной арматуры на АКП (табл. 3).

Из анализа табл. 3 возникает справедливый вопрос об экономической целесообразности производства бетонных фундаментов, армированных АКП. Оценка полного экономического эффекта

Табл. 3. Результаты подбора армирования фундаментной плиты для вариантов 1–4

Table 3. Results of the selection of the foundation slab reinforcement for options 1–4

Армирование Reinforcement	Результаты подбора армирования фундаментной плиты с учетом результатов расчетов и конструктивных требований The results of the selection of foundation slab reinforcement taking into account the calculation results and design requirement			
	Вариант 1 (по проекту) Option 1 (by project)	Вариант 2 (по проекту) Option 2 (by project)	Вариант 3 Option 3	Вариант 4 Option 4
		$R_{f,n} = 1150 \text{ МПа},$ $E_f = 55 \text{ ГПа}$ $R_{f,n} = 1,150 \text{ МПа},$ $E_f = 55 \text{ ГПа}$	$R_{f,n} = 1000 \text{ МПа},$ $E_f = 50 \text{ ГПа}$ $R_{f,n} = 1,000 \text{ МПа},$ $E_f = 50 \text{ ГПа}$	$R_{f,n} = 1150 \text{ МПа},$ $E_f = 55 \text{ ГПа}$ $R_{f,n} = 1,150 \text{ МПа},$ $E_f = 55 \text{ ГПа}$
	по СП 63.13330.2012 according to CP 63.13330.2012	по СП 63.13330.2012 (с Изменениями № 1) according to CP 63.13330.2012 (with Amendment No. 1)	по СП 295.1325800.2017 according to CP 295.1325800.2017	по СП 295.1325800.2017 (с Изменениями № 1) according to CP 295.1325800.2017 (with Amendment No. 1)
Фоновая арматура верхней зоны Main reinforcement of the upper zone	Ø20 A500C, шаг 200 Ø20 A500C, 200 pitch	Ø15 ACK, шаг 200 Ø15 GFRP, 200 pitch	Ø16 ACK, шаг 200 Ø16 GFRP, 200 pitch	Ø16 ACK, шаг 200 Ø16 GFRP, 200 pitch
Фоновая арматура нижней зоны Main reinforcement of the lower zone		Ø20 A500C, шаг 200 Ø20 A500C, 200 pitch		
Гнутые элементы контура Bent contour elements				
Дополнительная арматура нижней зоны Additional reinforcement of the lower zone		Ø22 ACK, шаг 200 Ø22 GFRP, 200 pitch		



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Falikman V.R., Rozentahl N.K., Stepanova V.F. New Russian norms and codes on protection of building structures against corrosion // High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet. 2017. Pp. 2135–2143. DOI: 10.1007/978-3-319-59471-2_244
2. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5–18. EDN MGOLLW.
3. Берлинов М.В., Берлинова М.Н. Длительная эксплуатация железобетонной балки на грунтовом основании с учетом коррозионных повреждений // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 19–27. EDN KFAQUU.
4. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Степанов А.Ю. Арматура композитная полимерная и композитные полимерные изделия. М. : ООО «Бумажник», 2023. 170 с. EDN GVCSCX.
5. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. М., 2013. 200 с. EDN FTRSWT.
6. Manalo A., Mutsuyoshi H., Nagamoto N., Murata M., Lapshinov A., Litvinov E. FRP Reinforced Concrete Around the World, Part 2 Initiatives for acceptance and safe implementation: Australia, Japan, and Russian Federation // International Journal of Lightweight Concrete. 2022. Vol. 6. Pp. 47–53.
7. Manalo A.C., Mendis P., Bai Y., Jachmann B., Sorbello C.D. Fiber-reinforced polymer bars for concrete structures: state-of-the-practice in Australia // Journal of Composites for Construction. 2021. Vol. 25. Issue 1. DOI: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0001105
8. Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р. Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 30–38. EDN ZWUFXJ.
9. Наджибуллохи Р., Рахмонов А.Д. Экспериментальное исследование работы бетонных конструкций, армированных неметаллической композитной арматурой // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2018. Т. 61. № 1. С. 71–77. EDN ZDLWSE.
10. Лапишинов А.Е. Обследование и контроль качества конструкций армированных и усиленных композитными полимерными материалами // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения : мат. VIII междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 129–135. EDN YQYBVG.
11. Лапишинов А.Е., Калашников А.Ю. Обследование технического состояния фундаментной плиты, армированной стеклокомпозитной арматурой, с помощью георадара // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения : мат. IX науч.-практ. конф. 2018. С. 133–139. EDN YYXQQP.
12. Kakusha V., Kornev O., Kovalev M., Lapshinov A., Litvinov E. GFRP-reinforced foundation slab design for 15 story residential building // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. Vol. 326. EDN GMTEIN.
13. Курлапов Д.В., Милютин Б.Г., Хабаров А.В. Техническое обследование фундаментных плит, армированных композитной арматурой // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 9 (61). С. 69–73. EDN YSFCYU.
14. Римшин В.И., Меркулов С.И. О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26. EDN VZDPWN.
15. Ганзий Ю.В. Идентификация опасностей получения некачественной продукции из полимерного композитного материала на примере строительной композитной арматуры // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2018. Т. 21. № 3. С. 13–19. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-13-19. EDN XZIBGX.
16. Плевков В.С., Балдин И.В., Кудяков К.Л., Невский А.В. Прочность и деформативность арматуры композитной полимерной при статическом и кратковременном динамическом растяжении и сжатии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5 (58). С. 91–101. EDN WVPXYT.
17. Плевков В.С., Тамразян А.Г., Кудяков К.Л. Прочность и трещиностойкость изгибаемых фибробетонных элементов с преднапряженной стеклокомпозитной арматурой при статическом и кратковременном динамическом нагружении : монография. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. 204 с. EDN PLFMCY.
18. Кудяков А.И., Плевков В.С., Белов В.В., Невский А.В., Кудяков К.Л. Технология и состав углеородофибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей // Вопросы материаловедения. 2016. № 1 (85). С. 66–72. EDN WANUNL.
19. Кудяков В.А., Кудяков А.И., Лукьянчиков С.А., Кудяков К.Л. Управление технологическими процессами производства модифицированных бетонов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6 (65). С. 116–126. EDN ZWJBCF.
20. Nevsky A., Kudyakov K., Danke I., Kudyakov A., Kudyakov V. Improvement of cement concrete strength properties by carbon fiber additives // AIP Conference Proceedings. 2016. DOI: 10.1063/1.4937875
21. Falikman V., Solovyov V., Nurtidinov M. Mechanical properties and durability of FRC with glass-polymer composite fiber // FIB 2018 — Proceedings for

the 2018 fib Congress: Better, Smarter, Stronger. 2019. Pp. 2490–2500. EDN SZSFHL.

22. *Mukhamediev T.A., Falikman V.R.* Design of externally bonded FRP systems for strengthening of concrete structures // Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting IV. 2015. Pp. 183–184. DOI: 10.1201/b18972-116

23. *Тамразян А.Г., Федорова Н.В.* Оценка надежности железобетонных конструкций, усиленных углепластиковым внешним армированием // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 226–231. EDN YRWXXF.

24. *Маилян Д.Р., Георгиев С.В.* К определению прогибов гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек, усиленных в поперечном направлении композитными материалами // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 32–41. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.32-41. EDN WQETQQ.

25. *Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В.* К расчету по прочности изгибаемых конструкций из бетона с композитной полимерной арматурой // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 4 (267). С. 18–22. EDN WHMCOH.

26. *Мухамедиев Т.А.* К расчету конструкций из бетона с полимерной композитной арматурой // Вестник НИИЦ Строительство. 2020. № 4 (27). С. 65–71. DOI: 10.37538/2224-9494-2020-4(27)-65-71. EDN SOQOZY.

27. *Мухамедиев Т.А.* Изменения в своде правил по проектированию конструкций из бетона с полимерной композитной арматурой // Вестник НИИЦ Строительство. 2021. № 3 (30). С. 51–55. DOI: 10.37538/2226-9696-2021-3(30)-51-55. EDN VIDGQT.

28. *Бегунова Н.В., Грахов В.П., Возмищев В.Н., Кислякова Ю.Г.* Сравнительная оценка результатов испытаний бетонных балок с композитной арматурой

и расчетных данных // Наука и техника. 2019. Т. 18. № 2. С. 155–163. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-2-155-163. EDN ZBFCNL.

29. *Захиду М.З., Никулин А.И.* Определение трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов с применением преднапряженной композитной арматуры // Наука и инновации в строительстве : сб. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 59–64. EDN RIWAAE.

30. *Белуцкий И.Ю., Сим А.Д.* К оценке трещиностойкости железобетонных изгибаемых элементов, армированных композитной арматурой // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2016. № 4 (43). С. 95–102. EDN YGJESN.

31. *Кузьмин Д.А., Ивасюк И.М., Тишков Е.В.* Сравнение изгибаемых бетонных элементов, армированных стальной и стеклопластиковой арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 12. С. 35–40. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.12.35-40. EDN KVQRWN.

32. *Лапишинов А.Е., Борисов А.В.* Безопасность применения изгибаемых бетонных конструкций, армированных стеклокомпозитной арматурой // Композиты и наноструктуры. 2020. Т. 12. № 1 (45). С. 25–30. EDN FIYPDI.

33. *Ветрова О.А.* Экспериментальные исследования деформативности бетонных балок, армированных композитной арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. Т. 24. № 1. С. 103–114. DOI: 10.21869/2223-1560-2020-24-1-103-111. EDN KLKOCX.

34. *Антаков И.А.* Особенности работы изгибаемых элементов с композитной полимерной арматурой под нагрузкой // Жилищное строительство. 2018. № 5. С. 15–18. EDN XQKXFB.

Поступила в редакцию 31 августа 2023 г.

Принята в доработанном виде 19 октября 2023 г.

Одобрена для публикации 14 декабря 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Константин Львович Кудяков** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций; **Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»**; г. Москва, 109428, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5; доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26; РИНЦ ID: 778166, Scopus: 56487882600, ResearcherID: E-3400-2016, ORCID: 0000-0002-4786-3132; konst_k@mail.ru;

Андрей Викторович Бучкин — кандидат технических наук, заместитель заведующей лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций; **Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»**; г. Москва, 109428, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5; РИНЦ ID: 859377, Scopus: 2148726351; andibuch@inbox.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Falikman V.R., Rozentahl N.K., Stepanova V.F. New Russian norms and codes on protection of building structures against corrosion. *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*. 2017; 2135-2143. DOI: 10.1007/978-3-319-59471-2_244
2. Tamrazian A.G. Methodology for the analysis and assessment of the reliability of the state and prediction the service life of reinforced concrete structures. *Reinforced Concrete Structures*. 2023; 1(1):5-18. EDN MGOLLW. (rus.).
3. Berlinov M.V., Berlinova M.N. Long-term exploitation of a reinforced concrete beam on a ground base with corrosion damage. *Reinforced Concrete Structures*. 2023; 1(1):19-27. EDN KFAQUU. (rus.).
4. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Khudyakov K.L., Stepanov A.Yu. *Composite polymer fittings and composite polymer products*. Moscow, LLC "Bumazhnik", 2023; 170. EDN GVCSCX. (rus.).
5. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. *Composite polymer reinforcement*. Moscow, 2013; 200. EDN FTRSWT. (rus.).
6. Manalo A., Mutsuyoshi H., Nagamoto N., Murata M., Lapshinov A., Litvinov E. FRP reinforced concrete around the world, Part 2 Initiatives for acceptance and safe implementation: Australia, Japan, and Russian Federation. *International Journal of Lightweight Concrete*. 2022; 6:47-53.
7. Manalo A.C., Mendis P., Bai Y., Jachmann B., Sorbello C.D. Fiber-reinforced polymer bars for concrete structures: state-of-the-practice in Australia. *Journal of Composites for Construction*. 2021; 25(1). DOI: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0001105
8. Khozin V.G., Gizdatullin A.R. Compatibility of polymer-composite reinforcement with cement concrete in structures. *Construction Materials*. 2017; 11:30-38. EDN ZWUFXJ. (rus.).
9. Najibullohi R., Rakhmonov A.D. Experimental investigation of concrete constructions armored of non-metallic composite armature. *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*. 2018; 61(1):71-77. EDN ZDLWSE. (rus.).
10. Lapshinov A.E. Inspection and quality control of reinforced and strengthened structures with FRP structures. *Survey of Buildings and Structures: problems and ways to solve them Materials : VIII International Scientific and practical conference*. 2017; 129-135. EDN YQYBVG. (rus.).
11. Lapshinov A.E., Kalashnikov A.Yu. The GPR inspection of foundation slab reinforced with GFRP bars. *Survey of buildings and structures: problems and ways Their solutions : IX International Scientific and Practical Conference 2018*. 2018; 133-139. EDN YYXQQP. (rus.).
12. Kakusha V., Kornev O., Kovalev M., Lapshinov A., Litvinov E. GFRP-Reinforced Foundation Slab Design for 15 Story Residential Building. *American Concrete Institute, ACI Special Publication*. 2018; 326. EDN GMTEIN.
13. Kurlapov D.V., Milutin B.G., Habarov A.V. Technical survey of foundation slabs reinforced with composite rebars. *Construction and Industrial Safety*. 2017; 9(61):69-73. EDN YSFCHY. (rus.).
14. Rimshin V.I., Merkulov S.I. About normalization of characteristics of rod non-metallic composite reinforcement. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 5:22-26. EDN VZDPWN. (rus.).
15. Ganziy Yu.V. Danger identification of receiving the low-quality production from polymeric composite material on the example of constructive composite fittings. *Bulletin of Kalashnikov ISTU*. 2018; 21(3):13-19. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-13-19. EDN XZIBGX. (rus.).
16. Plevkov V.S., Baldin I.V., Kudyakov K.L., Nevskii A.V. Strength and deformability of polymer composites under tensile and compressive loads. *Journal of Construction and Architecture*. 2016; 5(58):91-101. EDN WVPXYT. (rus.).
17. Plevkov V.S., Tamrazyan A.G., Kudyakov K.L. *Strength and crack resistance of bent fiber-concrete elements with prestressed glass composite reinforcement under static and short-term dynamic loading : monograph*. Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2021; 204. EDN PLFMCY. (rus.).
18. Kudyakov A.I., Plevkov V.S., Belov V.V., Kudyakov K.L., Nevskii A.V. Technology and composition of carbon-fiber-reinforced concrete with high homogeneity of strength properties. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2016; 1(85):66-72. EDN WANUNL. (rus.).
19. Kudyakov V.A., Kudyakov A.I., Lukyanchikov S.A., Kudyakov K.L. Industrial process control in modified concrete technology. *Journal of Construction and Architecture*. 2017; 6(65):116-126. EDN ZWJBCF. (rus.).
20. Nevsky A., Kudyakov K., Danke I., Kudyakov A., Kudyakov V. Improvement of cement concrete strength properties by carbon fiber additives. *AIP Conference Proceedings*. 2016. DOI: 10.1063/1.4937875
21. Falikman V., Solovyov V., Nurtadinov M. Mechanical properties and durability of FRC with glass-polymer composite fiber. *FIB 2018 — Proceedings for the 2018 fib Congress: Better, Smarter, Stronger*. 2019; 2490-2500. EDN SZSFHL.
22. Mukhamediev T.A., Falikman V.R. Design of externally bonded FRP systems for strengthening of concrete structures. *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting IV*. 2015; 183-184. DOI: 10.1201/b18972-116
23. Tamrazyan A.G., Fedorova N.V. Reliability assessment of reinforced concrete structures, strengthening by external reinforcement with carbon fiber. *Proceedings of Higher Educational Institutions*. 2016; 6(366):226-231. EDN YRWXXF. (rus.).

24. Mailyan D.R., Georgiev S.V. To the definition the deflections of flexible non-centrally compressed reinforced concrete struts strengthened in the transverse direction with composite materials. *Reinforced Concrete Structures*. 2023; 2(2):32-41. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.32-41. EDN WQETQQ. (rus.).

25. Mukhamediev T.A., Kuzevanov D.V. On the calculation of the strength of bent structures made of concrete with composite reinforcement. *Construction mechanics and calculation of structures*. 2016; 4(267):18-22. EDN WHMCOH. (rus.).

26. Mukhamediyev T. To the calculation of concrete structures with polymer composite reinforcement. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2020; 4(27):65-71. DOI: 10.37538/2224-9494-2020-4(27)-65-71. EDN SOQOZY. (rus.).

27. Mukhamediyev T. Changes in the code of rules for the design of structures made of concrete with polymer composite reinforcement. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021; 3(30):51-55. DOI: 10.37538/2226-9696-2021-3(30)-51-55. EDN VIDGQT. (rus.).

28. Begunova N.V., Grahov V.P., Vozmishchev V.N., Kislyakova J.G. Comparative evaluation of results on test of concrete beams with fiberglass rebar and calculated data. *Science and Technology*. 2019; 18(2):155-163. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-2-155-163. EDN ZBFCNL. (rus.).

29. Zahidi M.Z., Nikulin A.I. Determination of crack resistance of bent reinforced concrete elements using prestressed composite reinforcement. *Science and Innovations in Construction : collection of reports of the III International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of V.G. Shukhov BSTU*. 2019; 59-64. EDN RIWAAE. (rus.).

30. Belutsky I.Yu., Sim A.D. Evaluation of fracture toughness of concrete flexural members reinforced by composite armature. *Bulletin of Pacific National University*. 2016; 4(43):95-102. EDN YGJESN. (rus.).

31. Kuzmin D.A., Ivasyuk I.M., Tishkov Ye.V. Comparative analysis of bending concrete elements reinforced with steel and fiber-glass reinforcement. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 12:35-40. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.12.35-40. EDN KVQRWN. (rus.).

32. Lapshinov A.E., Borisov A.V. Safety under bending of concrete with glass-fibre composite reinforcement. *Composites and Nanostructures*. 2020; 12(1):25-30. EDN FIYPDI. (rus.).

33. Vetrova O.A. Pilot studies of concrete beams deformability reinforced with composite reinforcement. *Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(1):103-114. DOI: 10.21869/2223-1560-2020-24-1-103-111. EDN KLKOCX. (rus.).

34. Antakov I.A. Features of behavior of flexural members with composite polymeric reinforcement under load. *Housing Construction*. 2018; 5:15-18. EDN XQKXFB. (rus.).

Received August 31, 2023.

Adopted in revised form on October 19, 2023.

Approved for publication on December 14, 2023.

B I O N O T E S: **Konstantin L. Kudyakov** — Candidate of Technical Sciences, leading researcher at the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures; **Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after. A.A. Gvozdeva JSC “Research Center “Construction”**; 6 2 Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 778166, Scopus: 56487882600, ResearcherID: E-3400-2016, ORCID: 0000-0002-4786-3132; konst_k@mail.ru;

Andrey V. Buchkin — Candidate of Technical Sciences, deputy head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete structures; **Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after. A.A. Gvozdeva JSC “Research Center “Construction”**; 6 2 Institutskaya st., Moscow, 109428, Russian Federation; ID RSCI: 859377, Scopus: 2148726351; andibuch@inbox.ru.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare no conflict of interest.