

Research Article

Received: April 21, 2023

Accepted: May 19, 2023

Published: May 26, 2023

ISSN 2304-6295

Effectiveness of replacing steel reinforcement of concrete floor slab with composite reinforcement

Iakovlev, Nikita Artemovich^{1*} Vatin, Nikolai Ivanovich¹ Volkov, Evgenii Vitalievich² Vasilev, Pavel Alexandrovich³ Beliaev, Aleksei Vladimirovich⁴

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation; nik_yakovlev@list.ru (I.N.A.); vatin@mail.ru (V.N.I.)

² JSC "QIWI", Moscow, Russian Federation; volkoevg@mail.ru (V.E.V.)

³ LLC "Prox", St. Petersburg, Russian Federation; Paul13v@gmail.com (V.P.A.)

⁴ LLC "Lidval", St. Petersburg, Russian Federation; 2315050@mail.ru (B.A.V.)

Correspondence:* email nik_yakovlev@list.ru; contact phone [+79811915449](tel:+79811915449)

Keywords:

Fiber-reinforced polymer bars; Fiberglass; Steel rebar; Cost reduction; Monolithic ground floor; Underground parking; Concrete construction

Abstract:

The object of research is composite polymer reinforcement, specifically fiberglass rebar. This material has advantages over traditional rebar. Corrosion, for example, is the main problem of steel reinforcement, while composite rebar is resistant to it. Other merits and demerits of composite reinforcement are also considered. Monolithic concrete structures reinforced with composite rebars have increased durability because they are resistant to water or aggressive media. This is relevant, for example, for building foundations and monolithic structures of underground parking. It can be assumed that composite rebars are economically more beneficial than steel ones due to their physical and mechanical properties. The purpose of the study is to estimate the economic efficiency of using composite polymer reinforcement in the monolithic floor of the underground parking instead of steel reinforcement. **Method.** The research method used in the work is analytical calculation of the required quantity of both types of reinforcement for monolithic floor slab under given loads and their comparison. **Results.** It is determined that the replacement of steel reinforcement with FRP rebar reduces the cost of materials by 33%. Moreover, other factors that reduce costs at construction sites when composite reinforcement is used are also given.

1 Introduction

Композитная арматура становится все более востребованной в сфере строительства. За счет своих уникальных свойств она постепенно становится полноценным аналогом стальной арматуре, а направление по замене традиционной арматуре на композитную активно исследуется. Хотя первые попытки применения неметаллической арматуры были предприняты еще в годы СССР, и тогда же были разработаны рекомендации по расчету конструкций с ее использованием [1].

Композитные полимерные материалы на данный момент активно развиваются на российском строительном рынке. Из них производятся трубы [2], опоры, водоотводные лотки [3] и др. Проводятся исследования по усилению слабых грунтов сваями из композитных материалов [4]–[6]. Несомненно, эти материалы со временем существенно расширят спектр строительных материалов в различных отраслях строительной индустрии.

Iakovlev, N.; Vatin, N.; Volkov, E.; Vasilev, P.; Beliaev, A.

Effectiveness of replacing steel reinforcement of concrete floor slab with composite reinforcement; 2023; *AlfaBuild*; 28 Article No 2802. doi: 10.57728/ALF.28.2

Композитная арматура представляет собой структуру из армирующих волокон (нитей ровинга), скрепленных отвержденной эпоксидной или полиэфирной смолой. Волокна арматуры воспринимают образом растягивающие усилия. Полимерное связующее же передает напряжения между волокнами и является защитой от внешней среды [7].

Существуют следующие виды композитной арматуры в зависимости от используемых ровингов [8]:

- стеклокомпозитная (АСК);
- базальтокомпозитная (АБК);
- углекомпозитная (АУК);
- арамидокомпозитная (ААК);
- комбинированная (АКК).

Технология производства позволяет при использовании разных волокон получать арматуру с отличающимися свойствами, что позволяет подбирать максимально рациональное решение под каждый конкретный случай.

На основании многолетних исследований был разработан комплекс нормативных документов регламентирующих применение неметаллической композитной арматуры и изделий из нее для целей строительства [9]–[11].

Основным преимуществом композитной арматуры является ее высокая коррозионная стойкость от воздействия влаги и агрессивных жидкостей. Коррозия – главная уязвимость стальной арматуры (см. рис. 1), ей важно быть защищенной от внешних коррозионных сред, что приводит к дополнительным расходам. Неметаллическая арматура в свою очередь стойка к коррозии, за счет чего можно не использовать антикоррозионную защиту и уменьшить величину защитного слоя бетона. Также благодаря данному свойству композитной арматуры существенно увеличивается срок службы бетонных армированных конструкций [7], [12]–[14].



Fig. 1 – Damage of reinforced concrete bridge structure as a result of rebar corrosion [7]

Рис. 1 – Повреждение железобетонных конструкций моста в результате коррозии арматуры [7]

Из других физико-механических и физико-химических свойств данной арматуры, являющихся ее преимуществами, можно выделить [7], [12], [15]–[18]:

- высокий предел прочности на растяжение (в 2–4 раза выше, чем у стальной арматуры);
- упругопластический характер удлинения во всем диапазоне нагрузок (нет предела текучести, как у стали);
- малое удлинение при разрыве;
- малый удельный вес (легче металлической арматуры в 4–10 раз), который позволяет облегчить бетонные конструкции и использовать неметаллическую арматуру для армирования легких конструкций из ячеистых бетонов;



- низкая теплопроводность (в 100 раз меньше, чем у стали), что снижает теплопотери через конструкции здания;
- коэффициент линейного расширения близок к соответствующему для бетона;
- морозостойкость;
- магнитная инертность;
- диэлектрические свойства;
- радиопрозрачность.

В таблице 1 приведено сравнение характеристик стальной и композитной арматуры [12], [16].

Table 1. Comparison of rebar characteristics
Таблица 1. Сравнение характеристик арматуры

Характеристика	Ед. изм.	Стальная арматура класс А400С	Композитная арматура
Предел прочности при растяжении	МПа	390	от 800 (АСК, АБК) от 1400 (АУК, ААК)
Модуль упругости	ГПа	200	40-74 (АСК, АБК)
Относительное удлинение	%	14-25	1.5-2.5
Коэффициент теплопроводности	Вт/(м*К)	46	0.35-0.5
Коэффициент линейного расширения	$A \cdot 10^{-5}/^{\circ}C$	13-15	9-12
Удельный вес	г/см ³	7.8	1.8-2.1
Коррозионная стойкость	-	низкая	не корродирует
Равнопрочная замена диаметра	мм	10	8
		14	10
		20	16
Долговечность	-	в соответствии со строительными нормами	не менее 50 лет

Также преимуществом является возможность изготовления композитной арматуры любой длины. Она поставляется в бухтах, что позволяет работать с необходимой длиной, избавиться от перепусков (стыков) горизонтальных стержней и тем самым сэкономить на материале [16].

Несмотря на свои преимущества, композитная арматура имеет и некоторые недостатки. Как видно из таблицы 1, модуль упругости существенно меньше, чем у стальной арматуры. Данное обстоятельство осложняет применение композитной арматуры в изгибаемых элементах, так как в таком случае наблюдаются существенные прогибы [19], [20]. Балки, армированные композитной арматурой могут не удовлетворять требованиям жесткости и трещиностойкости при обеспечении прочности [21]–[23]. Вдобавок к этому авторами [24] отмечается расхождение результатов испытаний балок с композитной арматурой и расчетов по своду правил СП 295.1325800.2017 [9].

Кроме того при температурах от 75 до 170 °С происходит стеклование полимерной матрицы, из-за чего ухудшаются физико-механические свойства неметаллической арматуры и нарушается сцепление с бетоном. Поэтому температура эксплуатации ограничена 60 °С. При низких же температурах наблюдается повышенная хрупкость композитных стержней [15], [16].

В соответствии с работами [25], [26] огнестойкость конструкций, армированных композитной арматурой ниже, в сравнении со стальной. Так для балки сечением 220x250 мм и защитным слоем 20 мм огнестойкость со стальным армированием составила 85 минут, а для ее аналога со стеклопластиковой арматурой – 38 минут.

Рассмотренные свойства композитной арматуры определяют область ее применения (см. рис. 2): строительство промышленных объектов, гидротехнических сооружений, конструкций под воздействием агрессивных сред, транспортных сооружений, мостов, гражданских зданий (при отсутствии повышенных требований огнестойкости) [7], [12], [15], [16], [19].

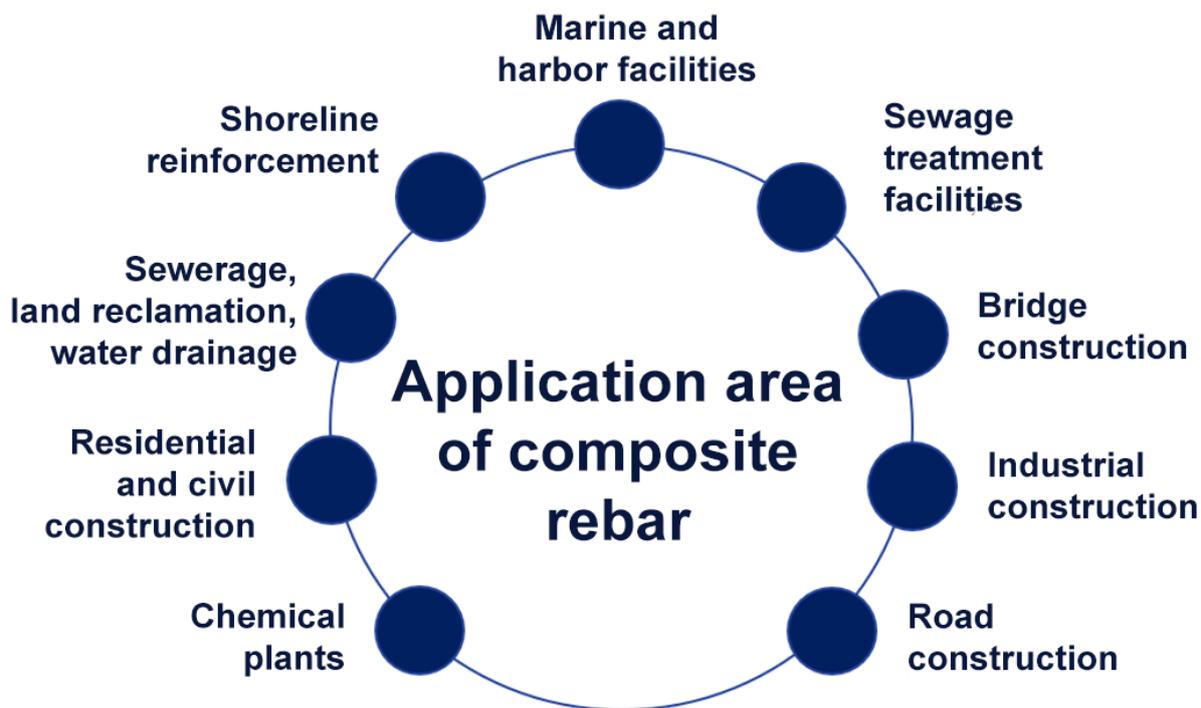


Fig. 2 – Application area of composite rebar

Рис. 2 – Область применения композитной арматуры

За счет вышеперечисленных особенностей композитной арматуры наблюдается повышенный интерес к ней, появляются новые разработки. Так например, арматура, обмоточный жгут которой навит на стержень с малым углом (от 1 до 10°) [27], неметаллическая арматура с абразивной обсыпкой для повышения прочности [28], обмоткой из нержавеющей проволоки [29], каркас из композитной арматуры с синусоидально изогнутыми стержнями [30].

Существуют исследования по применению предварительно напряженной композитной арматуры [31]. Также есть исследования указывающие на целесообразность комбинированного армирования изгибаемых элементов композитной и стальной арматурой [19], [32].

Авторы статьи [33] утверждают, что применение композитной арматуры вместо стальной может снизить затраты на 20-50%. Это становится возможным за счет следующих факторов:

- снижение расхода арматуры при равнопрочной замене;
- экономия на логистике;
- экономия на погрузочно-разгрузочных работах;
- снижение энергозатрат;
- увеличение производительности труда;
- сокращение количества технологических операций;
- снижение нагрузки на фундаменты от веса бетонных конструкций, армированных композитной арматурой;
- уменьшение использования теплоизоляционных материалов;
- уменьшение затрат на капитальный ремонт вследствие увеличения долговечности конструкций.

Однако на данный момент существует не так много данных о конкретных примерах сравнения композитной арматуры и стальной в монолитных фундаментах и полах.

Цель исследования: оценить примерную экономическую эффективность использования композитной полимерной арматуры в монолитном полу подземного паркинга вместо стальной арматуры.

Для поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассчитать требуемый диаметр для стальной арматуры в монолитном полу подземного паркинга от заданных нагрузок, а также для композитной арматуры при равнопрочной замене;



2. Осуществить расчет стоимости по материалу для обоих типов арматуры и экономии при замене стальной арматуры на композитную;
3. Рассмотреть другие факторы, влияющие на экономическую эффективность неметаллической арматуры, но не учтенные в расчетах.

2 Materials and Methods

Метод, применяемый в данном исследовании: аналитические расчеты армирования монолитного пола подземного паркинга.

Приняты следующие исходные данные для расчетов. Для получения конкретных и наглядных результатов расчеты проведены на примере объекта, представляющего собой малоэтажное здание с подземной автостоянкой. Рассчитываемая конструкция – монолитный железобетонный пол подземного паркинга, состоящего из трех помещений:

1. Помещение А:
 - Толщина монолитного пола – 25 см;
 - Площадь – 7350 м²;
2. Помещение Б:
 - Толщина монолитного пола – 25 см;
 - Площадь – 4400 м²;
3. Помещение В:
 - Толщина монолитного пола – 20 см;
 - Площадь – 160 м²;

В результате расчета требуется подобрать армирование монолитного пола для стальной и композитной арматуры и сравнить их стоимость.

Для расчета монолитного пола всех помещений принят класс бетона В25. Нагрузка не превышает 1 т/м² с учетом нагрузки от покрытия и полезной нагрузки от автомобилей.

Шаг арматуры составляет 200 мм. Исходя из этого расход арматуры принят 20 п.м. на 1 м² пола с учетом верхнего и нижнего армирования в двух направлениях.

В расчете металлическая арматура принята класса А400. Она будет сравниваться со стеклопластиковой арматурой (АСК).

3 Results and Discussion

По результатам проведенного расчета были получены диаметры арматуры, представленные в таблице 2.

Table 2. Calculated diameters of reinforcement
Таблица 2. Расчетные диаметры арматуры

Помещение	Диаметр стальной арматуры класса А400, мм	Диаметр стеклопластиковой арматуры, мм
Помещение А	12	8
Помещение Б	10	8
Помещение В	10	8

Как видно из таблицы 2, в результате замены стальной арматуры на стеклопластиковую наблюдается уменьшение ее диаметра. При этом полностью соблюдаются прочностные характеристики монолитного пола.

Далее был проведен экономический расчет стоимости арматуры из обоих материалов для монолитного пола. В расчете учитывался запас в 15% на перехлест и обрезку стальной арматуры. Как уже было сказано ранее, при использовании композитной арматуры нет необходимости в устройстве перехлестов, так как есть возможность производить ее любой длины. Поэтому для данной арматуры принят запас 5% на обрезку арматуры.

Результаты экономических расчетов представлены в таблице 3. Данные о ценах взяты из открытых источников.



Table 3. Reinforcement cost calculation
Таблица 3. Расчет стоимости арматуры

Материал	Пом.	Площадь пола, м ²	Длина, м	Длина с учетом запаса, м	Диаметр, мм	Цена за п.м., руб.	Стоимость, тыс. руб.
Сталь (A400С)	Пом. А	7350	147000	169050	12	27	4564.35
	Пом. Б	4400	88000	101200	10	23	2327.60
	Пом. В	160	3200	3680	10	23	84.64
ИТОГО							6976.59
Композит (АСК)	Пом. А	7350	147000	154350	8	18.6	2870.91
	Пом. Б	4400	88000	92400	8	18.6	1718.64
	Пом. В	160	3200	3360	8	18.6	62.50
ИТОГО							4652.05

В итоге экономия на материале при замене стальной арматуры на композитную для монолитного пола составит:

$$6976.59 - 4652.05 = 2324.54 \text{ thousand rubles}$$

Данная сумма составляет 33% от стоимости стальной арматуры.

Стоит отметить несколько других аспектов, влияющих на эффективность применения композитной арматуры.

При использовании неметаллической арматуры произойдет существенная экономия на логистике. Для транспортировки общего объема стальной арматуры (примерно 235 т) потребуется 12 крупнотоннажных автомобиля (каждый грузоподъемностью 20 т). Для транспортировки композитной арматуры общим весом 31 т потребуется лишь 2 таких же автомобиля.

Композитную арматуру из-за малого веса можно разгружать без применения тяжелых машин, механизмов и кранов. Это так же позитивно сказывается на сроках проведения работ.

Дополнительно, использование композитной арматуры существенно снижает нагрузки фундаментов и всей бетонной конструкции на грунт и, соответственно, это приводит к общему снижению количества необходимых для компенсации этой нагрузки материалов и работ, и, суммарно в целом, удешевляет общие затраты на строительство.

4 Conclusions

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Композитная арматура является инновационным материалом на строительном рынке. По сравнению с традиционной она имеет как существенные преимущества, такие как коррозионная стойкость, легкий вес, высокая прочность на растяжение, так и недостатки, ограничивающие ее применение (малый модуль упругости, ограничение по температуре и др.).

2. Рассчитаны требуемые диаметры арматуры в монолитном полу подземной автостоянки от заданной нагрузки. В результате принята стальная арматура диаметром 10-12 мм. При равнопрочной замене на композитную арматуру требуемый диаметр уменьшился до 8 мм.

3. Проведен расчет экономической выгоды по материалу от замены стальной арматуры на композитную. В итоге экономия от использования композитной арматуры вместо стальной равняется 2.324 млн рублей, что составляет 33% от стоимости последней. Данный результат обусловлен разницей арматуры в цене, большой длиной композитной арматуры, которая позволяет избежать дополнительного расхода на нахлесты, а также уменьшением диаметров при равнопрочной замене. Полученный результат показывает, что использовать композитную арматуру в конструкциях монолитных полов и фундаментов экономически выгодно, и что такая арматура является полноценным аналогом стальной арматуры.

4. В работе также рассмотрены другие факторы, за счет которых использование композитной арматуры позволяет снизить затраты, такие как экономия на транспортировке, облегчение и ускорение погрузочно-разгрузочных работ и другие.

References

1 R-16-78/RDTICRC. Rekomendacii Po Raschetu Konstrukcii so Stekloplastikovoi Armaturoi.

Iakovlev, N.; Vatin, N.; Volkov, E.; Vasilev, P.; Beliaev, A.

Effectiveness of replacing steel reinforcement of concrete floor slab with composite reinforcement; 2023; *AlfaBuild*; 28 Article No 2802. doi: 10.57728/ALF.28.2



- RDTICRC. <https://docs.cntd.ru/document/1200112094>.
- 2 Aminov, L.A. (2022) The Use of Fiberglass Pipes to Improve the Pipeline System. *Kompozitnyi Mir*, 201–206. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48071505>.
- 3 Vasiutkin, E.S., Galushko, M.M., Lazarev, I.G., Dzhalalov, A.I. and Burin, D.L. (2022) Prochnostnoi Raschyot Podvesnogo Mostovogo Lotka Iz Polimernyh Kompozicionnyh Materialov. *Putevoi Navigator*, 50–53. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48698591>.
- 4 Mirsayapov, I., Nurmukhametov, R., Vasyutkin, E. and Burin, D. (2021) FEA Analysis of Fiberglass Piles' Bearing Capacity at Water Saturated Soft Clay. *Lecture Notes in Civil Engineering*, **150**, 391–401. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72404-7_38.
- 5 Nurmukhametov, R.R., Vatin, N.I., Mirsayapov, I.T., Vasyutkin, E.S., Burin, D.L. and Vasyutkin, S.F. (2020) FRP Helical Micro Screw Pile with Cast Iron Pile Cap: Review. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **89**, 8903. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44510208>.
- 6 Nurmukhametov, R.R. (2019) Reduction of Water Saturated Clayey Soils' Deflections by Reinforcement. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **9**, 22–33. <https://doi.org/10.18720/CUBS.84.2>.
- 7 Tiptev, D.N. and Ovchinnikov, I.I. (2021) Applying Polymer Composite Reinforcement in Transport Construction. *Vestnik Evraziiskoi Nauki*, **13**, 29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46335335>.
- 8 Likhobabin, V.K., Rukavishnikova, A. V., Saxon, M.L. and Sukhanova, E.A. (2021) Modern Materials in Reinforcement of Concrete Structures and Their Efficiency. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 133–137. <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2021-38-4-133-137>.
- 9 Code of Practice SP 295.1325800.2017. Concrete Structures Reinforced with Polymer Composite Reinforcement. Design Rules. Russian Ministry of Construction, Moscow. <https://docs.cntd.ru/document/456096924>.
- 10 Russian State Standard GOST 31938-2022. Fiber-Reinforced Polymer Bars for Reinforcing Concrete Structures. General Specifications. Standartinform, Moscow. <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=245133>.
- 11 Russian State Standard GOST 31384-2017. Protection of Concrete and Reinforced Concrete Structures against Corrosion. General Technical Requirements. Standartinform, Moscow. <https://docs.cntd.ru/document/1200157129>.
- 12 Ali Al-Shiblawi, K. and Jarcev, V. (2017) Comparative Analysis of Operating Properties of Composite Plastic and Metal Reinforcement. *Innovacii v Nauke*, 78–81. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28928892>.
- 13 Abushanab, A. and Alnahhal, W. (2020) Performance of Basalt Fiber Reinforced Continuous Beams with Basalt FRP Bars. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/910/1/012004>.
- 14 Emparanza, A., Morales, C., Palacios, J., Caso, F. and Nanni, A. (2020) Durability Assessment of GFRP Rebars Exposed to High PH-Seawater. XV International Conference on Durability of Building Materials and Components. EBook of Proceedings, CIMNE, 1329–1336. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.040>.
- 15 Dyomin, A., Begunova, N. and Yakushev, N. (2023) Review and Analysis of the Results of Russian and Foreign Studies of the Properties of Composite Polymer Reinforcement under Temperature Influences. *Fotinskije Chteniia - 2022 (Osennee Sobranie)*, 66–71. <https://elibrary.ru/item.asp?id=50410293>.
- 16 Zhadanovsky, B.V. and Bazanov, V.E. (2023) Technological Features of Using Polymer Composite Reinforcements in Concrete Structures. *Stroitel'noe Proizvodstvo*, National Educational Center LLC, 126–132. https://doi.org/10.54950/26585340_2023_2_126.
- 17 Luhchenko, O., Nazhem, A. and Oreshkin, D. (2018) Peculiarities of Calculation and Design of Slabs on Elastic Cushion Reinforced with Non-Metallic Composite Reinforcement. MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002017>.
- 18 Panahi, M., Zareei, S.A. and Izadi, A. (2021) Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams through Externally Bonded FRP Sheets and near Surface Mounted FRP Bars. *Case Studies in Construction Materials*, Elsevier Ltd, **15**. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00601>.
- 19 Kinjawadekar, T.A., Patil, S. and Nayak, G. (2023) A Critical Review on Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars as Reinforcement in Flexural Members. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, Springer India, **104**, 501–516. <https://doi.org/10.1007/s40030-023-00729-6>.
- 20 Imjai, T., Garcia, R., Guadagnini, M. and Pilakoutas, K. (2020) Strength Degradation in Curved

Iakovlev, N.; Vatin, N.; Volkov, E.; Vasilev, P.; Beliaev, A.

Effectiveness of replacing steel reinforcement of concrete floor slab with composite reinforcement; 2023; *AlfaBuild*; **28** Article No 2802. doi: 10.57728/ALF.28.2



- Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars Used as Concrete Reinforcement. *Polymers*, **12**, 24–29. <https://doi.org/10.3390/POLYM12081653>.
- 21 Begunova, N. V. (2018) Prochnostnye i Deformativnye Harakteristiki Betonnyh Balok, Armirovannyh Polimerkompozitnoi Armaturoi. *Fotinskie chteniia*, 207–209. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32844459>.
- 22 Begunova, N. V. and Vozmishchev, V.N. (2017) Comparative Evaluation of Strength, Rigidity and Crack Resistance of Concrete Structures Reinforced with Fiberglass Rebar and Steel Rebar. *Intellekt. Sist. Proizv.*, **15**, 69. <https://doi.org/10.22213/2410-9304-2017-4-69-74>.
- 23 Hanan, A.K., Muttashar, M.D., Abid, S.R., Yosri, A.M., Alsharari, F. and Deifalla, A. farouk. (2023) Flexural Performance of Concrete Beams Internally Reinforced with Steel, Geogrid and GFRP Meshes. *Journal of Materials Research and Technology*, The Authors, **24**, 9156–9170. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.146>.
- 24 Begunova, N. V., Grahov, V.P., Vozmishchev, V.N. and Kislyakova, I.G. (2019) Comparative Evaluation of Results on Test of Concrete Beams with Fiberglass Rebar and Calculated Data. *Science & Technique*, Belarusian National Technical University, **18**, 155–163. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-155-163>.
- 25 Begunova, N. V. and Vozmishchev, V.N. (2018) Comparative Evaluation of Fire Resistance of Concrete Structures Reinforced with Fiberglass and Steel Rebar. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE), **15**, 48–53. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-2-48-53>.
- 26 Begunova, N. V. and Vozmishchev, V.N. (2021) Temperature Distribution Based on Fire Resistance Tests in Fiberglass Reinforced Concrete Beams. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE), **18**, 54–63. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-3-54-63>.
- 27 Murav'ev, I.L., Samoilo, S.D. and Pushkarev, S.A. (2015) Patent Russia RU 150070 U1 Armatura Kompozitnaia. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38368477>.
- 28 Murav'ev, I.L., Samoilo, S.D., Pushkarev, S.A. and Hafizov, L.H. (2016) Patent Russia RU 161634 U1 Stroitel'naia Kompozitnaia Armatura. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37565798>.
- 29 Rogatnev, I.F., Sokolov, O.O. and Minani, Z. (2023) Patent Russia RU 216128 U1 Armatura Kompozitnaia Polimernaia Povyshennogo Scepteniia. <https://elibrary.ru/item.asp?id=50131149>.
- 30 Murav'ev, I.L., Samoilo, S.D., Pozdniakov, A.B. and Tiunin, M.A. (2016) Patent Russia RU 159846 U1 Armaturnyi Karkas Kompozitobetonogo Stroitel'nogo Elementa. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37564032>.
- 31 Jokūbaitis, A. and Valivonis, J. (2023) Transfer Length vs. Slip of Prestressed Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. *Polymers*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, **15**, 1190. <https://doi.org/10.3390/polym15051190>.
- 32 Sethi, A.K., Kinjawadekar, T.A., Nagarajan, P. and Shashikala, A.P. (2020) Design of Flexural Members Reinforced with GFRP Bars. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/936/1/012036>.
- 33 Bystrov, E.A. and Redinov, L.I. (2018) Assessment of The Use of Composite Armature in Construction Projects. *Social'no-Ekonomicheskoe Upravlenie: Teoriia i Praktika*, 214–218. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36832972>.