



Т. Е. ГОРДЕЕВА
Б. Д. ПУЧКОВ

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ НА КОМПОЗИТНУЮ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКЕ

ON THE ADVANTAGES OF REPLACING STEEL REINFORCEMENT
WITH COMPOSITE IN A REINFORCED BEAM

Рассмотрено применение композитной арматуры в композитобетонной балке. Проанализирована работа изгибаемой однопролетной шарнирно опертой балки. Проведен сравнительный анализ работы балки со стальной арматурой, а также композитной. Проведено экономическое обоснование полученных результатов эксперимента. Предложен наиболее оптимальный вариант применения композитной арматуры в конструкции.

The article discusses the use of composite reinforcement in a composite concrete beam. The work of a bent single-span articulated beam is analyzed. A comparative analysis of the work of the beam with steel reinforcement, as well as composite. The economic substantiation of the obtained experimental results is carried out. The most optimal variant of the use of composite reinforcement in the construction is proposed.

Ключевые слова: композитная арматура, стеклопластиковая арматура, базальтопластиковая арматура, композитобетонная балка

Keywords: composite reinforcement, fiberglass reinforcement, basalt-plastic reinforcement, composite-concrete beam

Изучение работы новых материалов ведёт к развитию отрасли. В строительстве в XX столетии появился новый вид арматуры – композитная арматура.

Исследователи рассматривают вариант замены стальной арматуры на современную композитную стеклопластиковую либо базальтопластиковую. Композитная арматура более долговечна по сравнению со стальной, что увеличивает срок службы всей конструкции. Однако ее высокая стоимость требует анализа целесообразности армирования конструкций этим видом арматуры.

Композитная арматура – относительно новый материал на строительном рынке. Она производится из стеклопластиковых, базальтопластиковых, углепластиковых, арамидовых и комбинированных волокон [1]. Арматура,

выполненная из таких материалов, имеет некоторые показатели, превосходящие стальную в два-три раза. Вопрос внедрения композитной арматуры рассматривался многими исследователями с разных позиций. В сравнительной табл. 1 [2] показаны характеристики стальной арматуры класса А400, стеклопластиковой и базальтопластиковой арматур.

Композитная арматура обладает сопоставимыми со стальной арматурой сцепными свойствами [3], а для повышения адгезионных свойств на поверхность стержня напыляют песочное покрытие.

О целесообразности использования композитной арматуры в железобетонных конструкциях говорил А. М. Уманский [4]. Он отмечает, что композитная арматура имеет большие перспективы для применения в конструкциях морских

Таблица 1

Сравнительная таблица характеристик стальной и композитной арматуры

Критерий оценивания	Металлическая арматура А400	Неметаллическая стеклопластиковая арматура	Неметаллическая базальтопластиковая арматура
Используемый материал	Сталь 35ГС, 25ГС и др.	Стекланные волокна, связанные полимером	Базальтовые волокна, связанные полимером
Прочность при растяжении	360 МПа	1200 МПа	1300 МПа
Модуль упругости	200 000 МПа	43 000 МПа	45 000 МПа
Удлинение относительное	25 %	2,2 %	2,2 %
Экологичность	Экологична	Экологична (имеется санитарно-эпидемиологическое заключение, не выделяет вредных и токсичных веществ)	
Срок службы	По строительным нормам	Минимум 80 лет	
Коррозийная стойкость к агрессивным средам	Корродирует с выделением продуктов ржавчины	Устойчива к коррозии, нержавеющий материал первой группы химической стойкости, в том числе к щелочной среде бетона	
Поведение под нагрузкой, зависимость «напряжение-деформация»	Кривая линия, переходящая в площадку текучести под нагрузкой	Прямая линия, упруго-линейная зависимость	
Теплопроводность	Теплопроводна	Низкая теплопроводность	
Электропроводность	Электропроводна	Нетеплопроводна – диэлектрик	
Область применения	По строительным нормам	Возможно использование во всех видах строительства, рекомендации НИИЖБ	
Длина	От 6 до 12 м	Любая, по желанию заказчика	
Плотность	7,6 т/м ³	1,9 т/м ³	
Недостатки	Коррозия, высокая стоимость	Вероятность приобретения фальсифицированного товара при обращении к нелегальным поставщикам	

гидротехнических сооружений. А. М. Уманский обуславливает её преимущество тем, что композитная базальтопластиковая арматура имеет высокую химическую стойкость, низкий удельный вес, высокую прочность на разрыв, а также отсутствие требований по огнестойкости для гидротехнических сооружений. Применение композитной арматуры в гидротехническом строительстве может решить проблему коррозии стальной арматуры. Так, в своем исследовании Н.П. Фролов отмечает [5], что стальная арматура в конструкциях заводов синтетических волокон начинает корродиро-

вать в среднем через 4–5 лет, а на комбинатах минеральных удобрений срок службы железобетонных конструкций в среднем сокращается до 7 лет. Это связано с тем, что конструкции подвергаются обильным воздействиям серной кислоты, сероводорода и сернистого газа различных концентраций. В железобетонных конструкциях под воздействием таких сред происходит разрушение защитного слоя бетона и коррозия стальной арматуры.

В исследовании проведено сравнение армированных стальной балки с различными видами композитной арматуры.

Эксперимент проведен на математических моделях в программном комплексе ЛИРА-СА-ПР 2019 демо-версия.

В программу заносится балка с габаритными размерами 200x400x6000 мм. Бетон конструкции класса В15. Расчётная схема балки – однопролётная шарнирно опертая балка (рис. 1). Равномерно распределённая нагрузка действует сверху вниз. Нагрузка складывается из двух компонентов: полезная нагрузка – 1 т/м; собственный вес – 0,2 т/м. Итого суммарная равномерно распределённая нагрузка на балку составляет $q = 1,2$ т/м.

В эксперименте принимаются фиксированные показатели: расчётная схема, размеры сечения балки, действующие нагрузки, бетон конструкции.

По результатам расчёта получены следующие расчётные усилия в балке: максимальный момент M_u в середине пролёта составляет 5,4 т·м (рис. 2); поперечная сила Q_z на опорах составляет 3,6 т (рис. 3).

Для опытов 1, 3, 5, 7, 8, 9 расстояние до центра тяжести рабочей арматуры принимается 40 мм. В опытах 2, 4, 6 испытываются балки с расстоянием до центра тяжести 60 мм.

При расположении стержней в сечении необходимо учитывать требования СП 63.13330.2018, п. 10.3, где указаны требования к армированию железобетонной балки, а именно минимальные расстояния между стержнями арматуры, требования к величине защитного слоя бетона. Соблюдение данного пункта необходимо для обеспечения совместной работы арматуры с бетоном, а также качественного

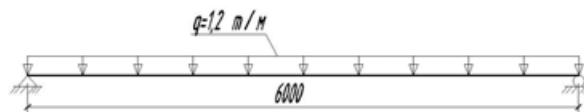


Рис. 1

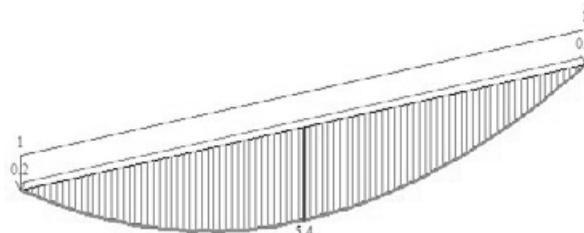


Рис. 2

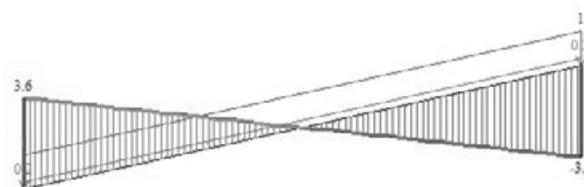


Рис. 3

изготовления конструкции, связанного с укладкой и уплотнением бетонной смеси.

Расчётные характеристики для стальной арматуры приняты в соответствии с СП 63.13330.2018.

Расчётные характеристики для композитной арматуры приняты в соответствии с СП 295.1325800.2017.

Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные характеристики композитной арматуры

Номер опыта	Класс арматуры	Расстояние до ц.т. арматуры, мм	Диаметр подобранной арматуры	
			I группа предельных состояний	II группа предельных состояний
1	А400 (стальная)	a = 40	2 Ø18 ($A_s = 5,09 \text{ см}^2$)	2 Ø20 ($A_s = 6,28 \text{ см}^2$)
2		a = 60	4 Ø14 ($A_s = 6,16 \text{ см}^2$)	4 Ø16 ($A_s = 8,04 \text{ см}^2$)
3	АСК800 (стеклокомпозитная)	a = 40	2 Ø16 ($A_s = 4,02 \text{ см}^2$)	2 Ø28 ($A_s = 12,3 \text{ см}^2$)
4		a = 60	4 Ø12 ($A_s = 4,52 \text{ см}^2$)	8 Ø14 ($A_s = 12,31 \text{ см}^2$)
5	АБК800 (базальтокомпозитная)	a = 40	2 Ø14 ($A_s = 3,08 \text{ см}^2$)	2 Ø28 ($A_s = 12,3 \text{ см}^2$)
6		a = 60	4 Ø10 ($A_s = 3,14 \text{ см}^2$)	8 Ø14 ($A_s = 12,31 \text{ см}^2$)
7	АУК1400 (углекompозитная)	a = 40	2 Ø10 ($A_s = 1,57 \text{ см}^2$)	2 Ø20 ($A_s = 6,28 \text{ см}^2$)
8	ААК1400 (арамидокompозитная)	a = 40	2 Ø14 ($A_s = 3,08 \text{ см}^2$)	2 Ø25 ($A_s = 9,82 \text{ см}^2$)
9	АКК1000 (комбинированная)	a = 40	2 Ø16 ($A_s = 4,02 \text{ см}^2$)	2 Ø25 ($A_s = 9,82 \text{ см}^2$)

Примечание. В скобках указана расчётная площадь подобранной арматуры.

Балки, армированные стержнями класса АУК1400, ААК1400 и АКК1000, в связи с высокой стоимостью погонного метра не рассчитывались при расстоянии до центра тяжести рабочей арматуры 60 мм.

При расчёте стоимости изготовления одной балки не будет учитываться стоимость работ по армированию и бетонированию балки, бетона и доставки материалов. При сравнении необходимо уточнить, что на данный момент на российском рынке цена за погонный метр углекомпозитной (АУК1400), арамидокомпозитной (ААК1400) и комбинированной (АКК1400) арматуры варьируется в пределах 800–1100 р./п.м. Из этого можно сделать вывод, что ввиду высо-

кой стоимости армирование из углеродного, арамидного и комбинированного волокна распространения не получило.

Стоимость гнутых элементов отличается от стоимости прямого стержня, так как гнутый элемент производится только на заводе-изготовителе. В среднем завод-изготовитель увеличивает стоимость погонного метра прямого стержня на 20 % при одном загибе стержня.

Необходимо отметить, что чем больше в сечении располагается арматурных стержней и элементов, тем выше получается стоимость работ для одной балки.

Расчёт стоимости приведён в табл. 3.

Таблица 3

Расчет стоимости работ

Номер опыта	Диаметр и вид арматуры	Требуемое количество, п.м	Стоимость, р./п.м	Итого	Всего
1	2Ø20 А400	11,9	96	1 142,40	2 017,68
	2Ø12 А400	11,9	36	428,40	
	Ø8 А240	23,52	19	446,88	
2	4Ø16 А400	23,8	64	1 523,20	2 398,48
	2Ø12 А400	11,9	36	428,40	
	Ø8 А240	23,52	19	446,88	
3	2Ø28 АСК800	11,9	175,6	2 089,64	2 825,90
	2Ø10 АСК800	11,9	17,4	207,06	
	Ø8 АСК800	23,52	22,5	529,20	
4	8Ø14 АСК800	47,6	39,4	1 875,44	3 234,56
	4Ø10 АСК800	23,8	17,4	414,12	
	2Ø8 АСК800	42	22,5	945,00	
5	2Ø28 АБК800	11,9	245,39	2 920,14	3 840,01
	2Ø10 АБК800	11,9	24,54	292,03	
	Ø8 АБК800	23,52	26,694	627,84	
6	8Ø14 АБК800	47,6	47,7	2 270,52	3 975,72
	4Ø10 АБК800	23,8	24,54	584,05	
	2Ø8 АБК800	42	26,694	1 121,15	

Вывод. Результаты исследования показали, что оптимальным аналогом для замены стальной арматуры на композитную является базальтокомпозитная арматура АБК800. По характеристикам она превосходит АСК800.

Исходя из экономического сравнения, необходимо отметить, что композитную арматуру невозможно заменить во всех типах конструк-

ций. Следовательно, её применение будет обосновано в тех случаях, когда условия эксплуатации конструкции являются агрессивными и для арматуры необходимы такие свойства, как экологичность, коррозионная стойкость, низкая теплопроводность, химическая стойкость, а также возможность поставки арматуры в бухтах, в которых длина стержня в среднем составляет 50 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Окольникова Г.Э., Герасимов С.В. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве // Строительство и архитектура. 2015. № 3. С. 14–21.

2. Имомназаров Т.С., Аль Сабри Сахар А.М., Дирие М.Х. Применение композитной арматуры // Системные технологии. 2018. №27. С. 24–29.

3. Хозин В.Г., Пискунов А.А., Гиздауллин А.Р., Ку克林 А.Н. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // Известия КГАСУ. 2013. №23. С. 214–220.

4. Уманский А.М. Совершенствование методов расчёта конструкций морских гидротехнических сооружений из композитобетона с использованием базальтопластиковой арматуры: дис. ... канд. техн. наук. Владивосток; М., 2017.

5. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стекло-пластбетонные конструкции. М., 1980. 104 с.

3. Khozin V. G., Piskunov A. A., Gizdaullin A. R., Kuklin A. N. The adhesion of polymer composite reinforcement with cement concrete. *Izvestiya KGASU* [News of the KSUAE], 2013, no. 23, pp. 214–220. (in Russian)

4. Umansky A.M. *Sovershenstvovanie metodov raschyota konstrukcij morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij iz kompozitobetona s ispol'zovaniem bazal'toplastikovoij armatury* [Improvement of calculation methods for structures of marine hydraulic structures from composite concrete using basalt-plastic reinforcement. Cand. Diss.]. Moscow, 2017.

5. Frolov N.P. *Stekloplastikovaya armatura i steklo-plastbetonnye konstrukcii* [Fiberglass reinforcement and glass-plastic constructions: a textbook]. M., 1980, 104 p.

REFERENCES

1. Okolnikova G.E., Gerasimov S.V. Prospects for the use of composite reinforcement in construction. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Construction and Architecture], 2015, no. 3, pp. 14–21. (in Russian)

2. Imomnazarov TS, Al Sabri Sahar A.M., Dirie M.Kh. The use of composite reinforcement. *Sistemnye tekhnologii* [System Technologies], 2018, no. 27, pp. 24–29. (in Russian)

Об авторах:

ГОРДЕЕВА Татьяна Евгеньевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры стоимостного инжиниринга и технической экспертизы зданий и сооружений Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: ftgs-sgasu@mail.ru

GORDEEVA Tatyana E.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Cost Engineering and Technical Expertise of Buildings and Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: ftgs-sgasu@mail.ru

ПУЧКОВ Борис Дмитриевич

инженер 2 категории ЗАО Нефтехимпроект 199026, Россия, г. Санкт-Петербург В.О., 26-линия, 15, корп. 2 E-mail: puchkov.bd@mail.ru

PUCHKOV Boris D.

Engineer of 2 Category ZAO Neftekhimproekt 199026, Russia, Saint-Petersburg Vasil'yevskiy Ostrov, 26th Line, E-mail: puchkov.bd@mail.ru

Для цитирования: Гордеева Т. Е., Пучков Б. Д. О целесообразности замены стальной арматуры на композитную в железобетонной балке // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 3. С. 4–8. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.1.

For citation: Gordeeva T.E., Puchkov B.D. On the Advantages of Replacing Steel Reinforcement with Composite in a Reinforced Concrete Beam. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 3, Pp. 4–8. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.1.