

doi: 10.5862/MCE.62.4

Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями

Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars

*Аспирант А.Р. Гиздатуллин;
аспирант Р.Р. Хусаинов;
д-р техн. наук, профессор В.Г. Хозин;
канд. техн. наук, доцент Н.М. Красникова,
Казанский государственный архитектурно-
строительный университет, г. Казань, Россия*

*G.A. Gizdatullin;
R.R. Khusainov;
V.G. Khozin;
N.M. Krasnikova,
Kazan State University of Architecture and
Engineering, Kazan, Russia*

Ключевые слова: полимеркомпозитная арматура (ПКА); стальная арматура; прочность; модуль упругости; трещиностойкость; сборные бетонные изделия

Key words: Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) bars, steel reinforcement, strength, modulus of elasticity, crack resistance, prefabricated concrete manufactures

Аннотация. Приведены результаты исследований бетонных конструкций, работающих на упругом основании: дорожных плит, плит под цепные приводы и станки-качалки на нефтепромыслах; конструкции армированы полимеркомпозитной арматурой взамен стальной. Были изготовлены и испытаны опытные образцы изделий, армированных полимеркомпозитной арматурой, аналогичные по геометрическим параметрам железобетонным изделиям, и проведена сравнительная оценка соответствия изделий требованиям по несущей способности и трещиностойкости. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по применению полимеркомпозитной арматуры в сборных бетонных изделиях. Установлено, что ее применение для армирования бетонных конструкций целесообразно, за исключением нескольких видов особо нагруженных конструкций, в которых необходимо существенное уменьшение существующего шага между стержнями и сохранение площади сечения растянутой арматуры.

Abstract. The given paper presents the results of the research on concrete constructions reinforcing by polymer composite reinforcement (FRP) instead of the steel one functioning on the elastic basis such as road slabs, slabs for chain drives and for pumping machines used at the oil fields. The experimental samples of reinforced FRP products, which are similar to reinforced concrete products due to their geometric parameters, have been manufactured and tested. The comparative assessment of the samples products conformity required in accordance to bearing strength and crack resistance has been also conducted. Based on the obtained results, the recommendations for usage of FRP in prefabricated concrete products have been developed. It was concluded that the usage of FRP for reinforcing process of concrete constructions is reasonable except for the use of several types of overloaded constructions where a significant reduction of an existing gap between the bars and saving the tensile reinforcing area is necessary.

Введение

Поиск путей замещения стальной арматуры в железобетонных конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных средах, является актуальной задачей. Полимеркомпозитная арматура (ПКА), обладающая высокой стойкостью к коррозии при высокой прочности на растяжение, является одним из наиболее эффективных вариантов такой замены [1, 2].

Стержни ПКА состоят из одноосноориентированных волокон (стеклянных, базальтовых, углеродных, арамидных), связанных в монолит прочным отвержденным сетчатым полимером (как правило, эпоксидным). Волокна обеспечивают ПКА высокую механическую прочность при растяжении. Функции полимера с меньшим модулем упругости и высокой адгезией к волокну Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2(62). С. 32-41.

заключаются в распределении и передаче напряжений от внешней нагрузки волокнам и защите их от механических повреждений и отрицательного влияния внешних факторов, включая агрессивные среды [3–5].

ПКА начала применяться в строительстве с 70-х годов XX века: в конструкциях из легких бетонов (ячеистых бетонов, арболита и др.), а также в фундаментах, сваях, электролизных ваннах, балках и ригелях эстакад, опорных конструкциях конденсаторных батарей, плитах крепления откосов, безизоляторных траверсах и других конструкциях.

В 1975 г. в СССР закончено строительство первого в мире клееного деревянного моста длиной 9 м, балки которого с поперечным сечением 20х60 см изготовлены из древесины и армированы четырьмя предварительно напряженными пучками из четырех стеклопластиковых стержней диаметром 4 мм. Второй мост в СССР со стеклопластиковой арматурой построен в 1981 г. в Приморском крае через р. Шкотовка. Пролетное строение моста состоит из шести металлических двутавров №45, предварительно напряженных затяжками из 12 стеклопластиковых стержней диаметром 6 мм.

В Германии с начала 80-х годов стеклопластиковую арматуру стали применять для армирования бетонных мостов. Так, в г. Дюссельдорфе автодорожный двухпролетный мост шириной 15 м на Уленбергштрассе, армированный стеклопластиковыми стержнями, был открыт для движения в 1987 г. Несущие конструкции пролетов были армированы 59 пучками стеклопластиковых стержней, состоящими из 19 прутков диаметром 7.5 мм с предварительным напряжением.

Арматура «V-ROD» компании Pultrall (Канада) использовалась в постройке моста на шоссе I-65 в округе Ньютон (Newton County), штат Индиана. Мост состоит из трех пролетов, длиной 58 м, шириной 10.5 м, с армированием ПКА. Полотно моста толщиной 200 мм армировано стальной арматурой с антикоррозионным эпоксидным покрытием в нижней зоне, а в верхней зоне использованы полимеркомпозитные стержни «V-ROD» в связи с тем, что в этой половине плиты очень высока вероятность контакта с противогололедными солями.

Следует отметить, что в России долгое время единственным документом, регламентирующим расчет и проектирование конструкций с использованием ПКА, были «Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой» Р-16-78 [6], основанные на исследованиях, проведенных в 60-х–70-х годах под руководством Н.П. Фролова [7]. В настоящее время с ростом спроса и объема производства работ с применением ПКА введены в действие ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» [8] и приложение Л к СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [9], в которых даны термины и определения ПКА, области применения, классификации, общие требования, методика расчета конструкций.

При этом в России, в отличие от зарубежных стран [10, 11], база экспериментальных конструкций или объектов, изготовленных с применением ПКА, за которыми осуществляется мониторинг, минимальна. Это, безусловно, сдерживает внедрение ПКА в тех областях строительства и на тех объектах, где это экономически целесообразно, в первую очередь, исходя из коррозионной стойкости данного материала.

Между тем, согласно зарубежным исследованиям и нормативным документам [12–14], применение ПКА в настилах мостов [15–17], переправ, в конструкциях автомобильных парковок позволяет значительно увеличить долговечность сооружений [18–21].

Постановка задачи

Цель работы – исследовать механическое поведение (разрушение и деформирование) сборных бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитной арматурой.

Вначале был выполнен перерасчет армирования серийно выпускаемых железобетонных изделий путем замены стальной рабочей арматуры на ПКА. Далее были изготовлены опытные образцы изделий из подвижных бетонных смесей по существующей заводской технологии и испытаны по известной методике статического нагружения с целью оценки их прочности и соответствия нормативным требованиям.

Методы и результаты

Для изготовления опытных образцов применена полимеркомпозитная арматура ООО НПК «Армастек-Идея» (г. Лениногорск, Республика Татарстан), изготовленная из стеклянного ровинга и

Gizdatullin G.A., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnyh konstrukcyj, armirovannyh polykompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars]. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 2. Pp. 32-41. doi: 10.5862/MCE.62.4

полимерного связующего на основе эпоксидных смол. Технология производства – метод пултрузии – протяжкой ровинга, пропитанного жидким связующим, через фильеру круглого сечения с одновременной обмоткой сформированного стержня по спирали тонким жгутом [4].

Физико-механические характеристики арматуры по результатам испытаний, проведенных согласно ГОСТ 31938-2012 [8], представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики арматуры композитной полимерной АКС-10 диаметром 10 мм

№ п/п	Измеряемый показатель, ед. изм.	Нормативное значение показателя	Обозначение нормативной документации на производство	Среднее значение
1	Диаметр арматуры, мм	10	ГОСТ 31938-2012	10,05
2	Предел прочности при растяжении, МПа	800		1182,08
3	Модуль упругости при растяжении, МПа	50 000		52937,12
4	Предел прочности сцепления с бетоном (при 20 °С), МПа	12		15,12
5	Снижение прочности при растяжении после выдержки в щелочной среде, %	не более 25		4,24
6	Предел прочности сцепления с бетоном после выдержки в щелочной среде, МПа	10		11,96

Были изготовлены и испытывались следующие изделия:

- дорожные плиты 2ПЗ0-18-30;
- дорожные плиты 1ПЗ0-18-30;
- плиты ПСК-СКД размером 5.6x1.4x0.20 м;
- балки БСК-СКД размером 5.6x1.25x0.20 м;
- фундаментные плиты ПЦ-60;
- фундаментные плиты ПЦ-80.

Характер работы всех изделий (за исключением элементов балки днища для станка-качалки БСК-СКН [22]) одинаков – восприятие нагрузки, равномерно распределенной по площади плит, лежащих на упругом основании – уплотненном грунте. Элементы БСК работают как балки-стенки, передающие вертикальную нагрузку от станков-качалок на фундаментную плиту, при этом растягивающие усилия в этих элементах практически отсутствуют.

В результате анализа первоначальных схем армирования и фактической работы конструкций, было предложено альтернативное армирование с использованием ПКА. Стальная рабочая арматура была заменена на ПКА по критерию равнопрочности при растяжении, с сохранением общего количества стержней и их расположения в опалубочной форме. Определение расчетного сопротивления ПКА выполнено в соответствии с методикой, представленной в [6, 7], по формуле:

$$R_{af} = \frac{R_a^H \cdot m_{ai}}{K_a} \quad (1)$$

где K_a – коэффициент безопасности по арматуре, принимаемый для арматуры ПКА равным при расчете конструкций по предельным состояниям первой группы и $\xi \geq \xi_R$ 1.30;

R_a^H – нормативное сопротивление арматуры, принимаемое как наименьшее контролируемое значение временного сопротивления разрыву по результатам испытаний;

m_{ai} – коэффициент условий работы, принимаемый в соответствии с табл. 3 [6];

$m_{a,\delta}$ – учитывающий продолжительное приложение напряжения, составляет 0.65;

$m_{a,t}$ – учитывающий влияние тепловлажностной обработки при изготовлении бетонных конструкций не более 6 ч при температуре пара 60 °С, составляет 0.9.

$$R_{af} = \frac{1182 \cdot 0,65 \cdot 0,9}{1,3} = 532 \text{ МПа}$$

Расчетное сопротивление стальной арматуры принято в соответствии с [23] равным 355 МПа.

В результате подбора равнопрочной замены стержни стальной арматуры заменены на ПКА в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2. Замена стальной арматуры на ПКА, принятая для опытных образцов

№ п/п	Диаметр стального стержня, мм	Диаметр стержня ПКА, мм
1	Ø 8, А400	Ø 6 АКС
2	Ø 10, А400	Ø 8 АКС
3	Ø 12, А400	Ø 10 АКС
4	Ø 14, А400	Ø 12 АКС
5	Ø 16, А400	Ø 14 АКС

Изготовление арматурных сеток и пространственных каркасов, закрепление закладных деталей выполнялось при помощи вязальной проволоки Ø1.4 мм. Толщина защитных слоев обеспечивалась инвентарными фиксаторами либо предварительно изготовленными бетонными подкладками. Шаг стержней, расположение закладных деталей, толщина защитных слоев относительно первоначальных не менялись.

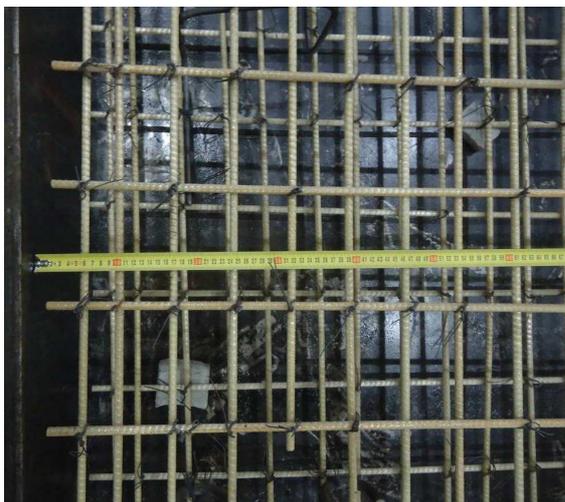


Рисунок 1. Армирование фундаментной плиты ПЦ-80



Рисунок 2. Армирование плиты ПСК1-СКН

Ввиду повышенной гибкости арматурных каркасов, выполненных из ПКА, была применена бетонная смесь с подвижностью П4 [24]:

- фундаментная плита ПЦ-80, ПЦ-60 – БСТ В25 П4Ф75 по ГОСТ 7473-10;
- плита дорожная для постоянных дорог 1П – БСТ В 30 П4Ф200W4 по ГОСТ 7473-10;
- плита дорожная для временных дорог 2П – БСТ В22,5П4Ф150W2 по ГОСТ 7473-10;
- комплект БСК, ПСК – БСТ В22,5 П4Ф150 по ГОСТ 7473-10.

При разработке схем испытаний, критериев соответствия конструкций предъявляемым требованиям учитывались значения контрольных нагрузок в соответствии с проектными данными, а также требованиями ГОСТ 21924.2-84 [25], ГОСТ 8829-77 [26].

Схемы испытаний дорожных плит приняты по ГОСТ 21924.2-84. Плита считалась выдержавшей испытание при выполнении двух условий:

- не происходит разрушения плиты: разрыв или проскальзывание растянутой арматуры, смятие или срез бетона сжатой зоны при достижении контрольной нагрузки по прочности;

Gizdatullin G.A., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnyh konstrukcyj, armirovannyh polykompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars]. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 2. Pp. 32-41. doi: 10.5862/MCE.62.4

- максимальная ширина раскрытия трещин не превышает предельно допустимой величины 0.2 мм при достижении контрольной нагрузки по трещиностойкости.

Общая схема испытания дорожных плит приведена на рисунке 3.

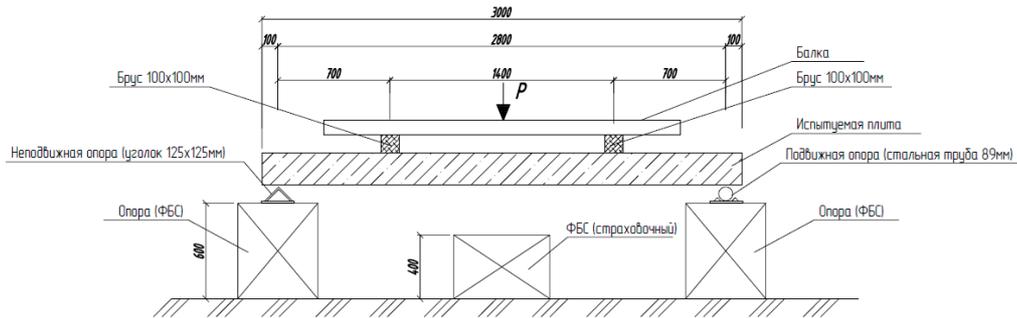


Рисунок 3. Схема испытаний дорожных плит

Анализ характера работы конструкций балок днища (БСК-СКД) и плит (ПСК-СКД) под станки-качалки показал, что за счет равномерного приложения нагрузки растягивающие усилия в изделиях практически отсутствуют. Максимальные нагрузки на данные элементы возникают от собственного веса изделий при погрузочно-разгрузочных работах, монтаже элементов в проектное положение [27–29].

В связи с этим возможные динамические нагрузки на изделия заменяются статическими с коэффициентом динамичности (перегрузки) $K \approx 2$, что достигается уменьшением расстояния между опорами и увеличением консольных участков конструкций до $1/3 L$ (вместо проектного $1/4 L$). Максимальный изгибающий момент, возникающий от собственного веса конструкций при проектном расположении опор на расстоянии $1/4 L$, составляет:

$$M = \frac{P \cdot L^2}{32} \quad (2)$$

При испытаниях изгибающий момент увеличивается:

$$M = \frac{P \cdot L^2}{8} \quad (3)$$

где P – собственный вес 1 п.м. изделий;
 L – длина изделий.

Кроме того, плиты ПСК-СКД и балки БСК-СКД, имеющие меньшую толщину – 200 мм, после длительной выдержки нагружаются дополнительной нагрузкой 480 кг на консоли для проверки сохранности конструкций при коэффициенте перегруза $K \approx 2.5$.

Элементы считаются выдержавшими испытания при выполнении условия: максимальная ширина раскрытия трещин после выдержки в течение 60 мин под собственным весом и дополнительной нагрузкой (для ПСК-СКД, БСК-СКД) не превышает предельно допустимой величины 0.5 мм.

Схема проведения испытания элементов приведена на рисунке 4.

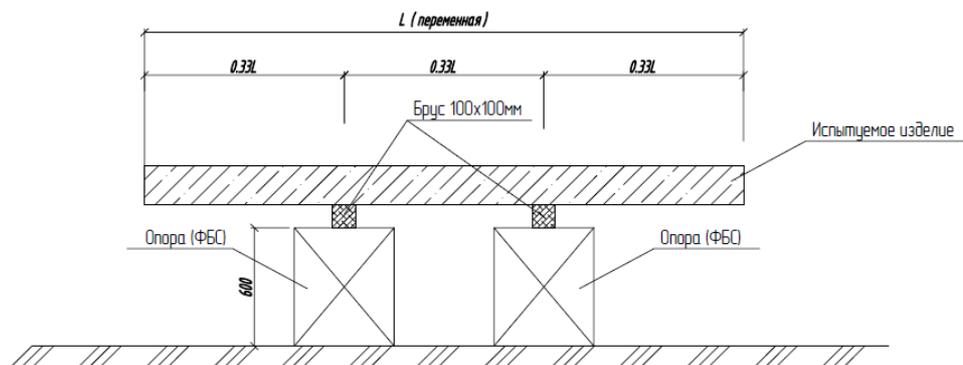


Рисунок 4. Схема проведения испытаний элементов ПСК-СКД, БСК-СКД

Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2(62). С. 32-41.

В ходе анализа расчетных схем плит ПЦ-60 и ПЦ-80 [30] установлено, что на фундаментные плиты устанавливаются цепные приводы, в зависимости от функционирования которых на плиты действуют три группы нагрузок: рабочие, нерабочие и ремонтные.

При разработке схем испытаний и определении величин контрольных нагрузок принято, что в рабочем состоянии плиты должны соответствовать критериям по первой и второй группам предельных состояний. При проверке трещиностойкости контролируется ширина и высота раскрытия трещин, что обусловлено необходимостью обеспечения целостности конструкций. Максимальная высота развития трещин по толщине изделия лимитируется значением $(h-2as) = 240$ мм. Кроме того, для случая непроектных воздействий, плиты должны соответствовать требованиям по первой группе предельных состояний при коэффициенте перегруза $K = 2$. Приложение нагрузок на плиты осуществляется на расстоянии $\frac{1}{4}$ пролета от опор.

Для плит ПЦ-60 и ПЦ-80 величины максимальных изгибающих моментов M_x в рабочем состоянии составляют 6.62 тм. и 11.03 тм. соответственно.

Плита считается выдержавшей испытание при выполнении двух условий:

- не происходит разрушения плиты (разрыв или проскальзывание растянутой арматуры, смятие или срез бетона сжатой зоны при достижении контрольной нагрузки по прочности);
- при достижении контрольной нагрузки по трещиностойкости максимальная ширина раскрытия трещин не превышает предельно допустимой величины 0.5 мм, высота развития трещин не превышает максимальной величины $(h-2as) = 240$ мм.

Принципиальная схема испытаний фундаментной плиты под станок-качалку представлена на примере изделия ПЦ-60 на рисунке 5.

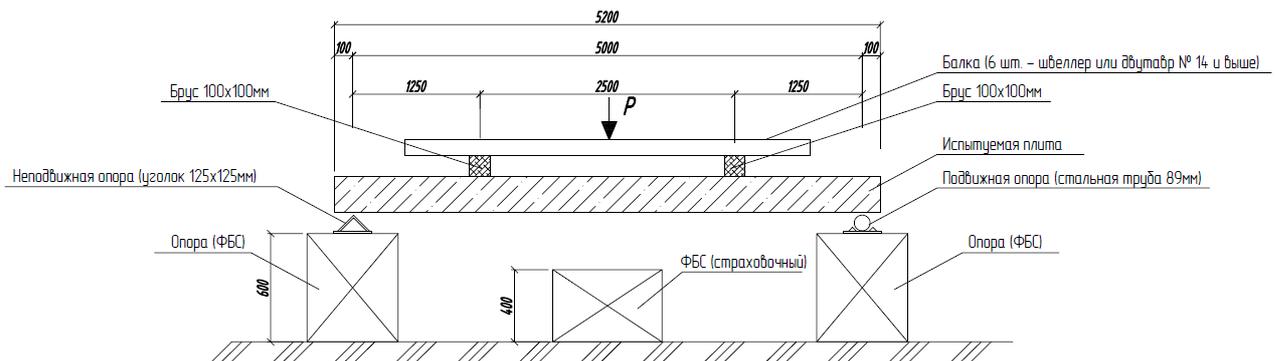


Рисунок 5. Схема испытаний фундаментной плиты ПЦ-60

Данные о контрольных нагрузках и критериях соответствия конструкций предъявляемым требованиям приведены в таблице 3.

Таблица 3. Данные о контрольных нагрузках и критериях соответствия для опытных изделий

№ п/п	Марка изделия	Контрольная нагрузка по трещиностойкости (2 группа пред. состояний), т	Предельные значения		Контрольная разрушающая нагрузка (1 группа пред. состояний), т
			$a_{крс}$, мм	$h_{крс}$, мм	
1	1П30.18-30	6.1	0.2	-	11
2	2П30.18-30	3.8	0.2	-	7
3	ПСК-СКД 5.6x1.4x0.20 м	собственный вес консолей 1/3 длины изделия + ($P = 0.48$ т)	0.5	-	-
4	БСК-СКД 5.6x1.25x0.20 м				-
5	Фундаментная плита ПЦ-60	12	0.5	240	30
6	Фундаментная плита ПЦ-80	16	0.5	240	40

Gizdatullin G.A., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnyh konstrukcyj, armirovannyh polykompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars]. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 2. Pp. 32-41. doi: 10.5862/MCE.62.4

После набора бетоном отпускной прочности на специально изготовленных испытательных стендах заводов проведены испытания изделий нагружением. Результаты испытаний изделий (рис. 6) приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты испытания изделий

№ п/п	Наименование образца	Нагрузка N, кг (время действия T, мин)	Результаты испытания			Требование
			Прогиб, f, мм	Ширина раскрытия трещин, $a_{срс}$, мм	Высота трещины, h ($a_{срс}$), мм	
1	2	3	4	5	6	7
1	1П30.18-30	6000	20	0.9	н.д.	$a_{срс}$ не более 0.2 мм
		11000	57	1.8	н.д.	
2	2П30.18-30	3800	3	0.2	н.д.	$a_{срс}$ не более 0.2 мм
		7300	36	1.8		
3	ПСК	480 (15)	0	0.4	н.д.	$a_{срс}$ не более 0.5 мм
4	БСК	480 (15)	1	0.4	н.д.	$a_{срс}$ не более 0.5 мм
5	ПЦ-60	12386	66	1.6	260	$a_{срс}$ не более 0.5 мм, $h_{срс}$ не более 240 мм
		28386	разрушение плиты			
6	ПЦ-80	18200	156	1.9	260	$a_{срс}$ не более 0.5 мм, $h_{срс}$ не более 240 мм
		36200	разрушение плиты			

а)



б)



Рисунок 6. Испытания плит ПЦ-80. а) Контрольная нагрузка по трещиностойкости 16 т. Ширина раскрытия трещин до 1.9 мм. б) Нагрузка 34.2 т, предшествующая разрушающей

По результатам испытаний опытных изделий, армированных ПКА, установлено, что предъявляемым критериям по прочности и трещиностойкости удовлетворяют следующие элементы: дорожные плиты 2П30-18-30, плита ПСК-СКД размерами 5.6x1.4x0.20 м, балка БСК-СКД размерами 5.6x1.25x0.20 м.

Критериям по трещиностойкости не удовлетворяют дорожные плиты 1П30-18-30 – в данных плитах при контрольной нагрузке 6.1 т произошло раскрытие трещин до ширины 0.9...1.3 мм, что превышает максимально допустимую в соответствии с ГОСТ 21924.2-84 величину 0.2 мм. При этом Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2(62). С. 32-41.

разрушение плит при контрольной нагрузке по прочности не произошло, что свидетельствует о соответствии плит прочностным требованиям.

Критериям по прочности и трещиностойкости не удовлетворяют фундаментные плиты ПЦ-60 и ПЦ-80 – в данных конструкциях при контрольных нагрузках по трещиностойкости 12 т и 16 т произошло раскрытие трещин до ширины 1.6...2.0 и 1.7...1.9 мм соответственно, что превышает максимально допустимую величину 0.5 мм. Контрольные нагрузки по прочности 30 и 40 т не были достигнуты из-за разрушения изделий. Характер разрушения плит ПЦ-60 – по наклонной трещине в месте ослабления сечения отверстием 500x1250 мм, что обусловлено повышенной деформативностью и, как следствие, высотой раскрытия трещин у изделий, армированных ПКА. Характер разрушения плит ПЦ-80 – по нормальным сечениям в середине пролета. Таким образом, для данных конструкций замена стальной арматуры на полимеркомпозитную, подобранную исходя из принципа равнопрочности, не обеспечивает первоначальных эксплуатационных свойств ввиду низкого модуля упругости композитной арматуры, что приводит к повышенной деформативности у конструкций с ее использованием.

Заклучение

1. По результатам испытаний показано, что ПКА может успешно применяться для армирования сборных бетонных конструкций, работающих на упругом основании. При этом экономический эффект достигается как за счет минимальных расходов при изготовлении конструкций, так и в ходе эксплуатации за счет увеличенного срока их службы в агрессивных средах по сравнению с традиционной стальной арматурой.

2. Установлено, что в наиболее нагруженных конструкциях, таких как дорожные плиты марки ПЗ30-18-30, фундаментные плиты ПЦ-60, ПЦ-80, замену рабочей стальной арматуры на ПКА выполнить по принципу равнопрочности без дополнительных изменений в схеме армирования с сохранением эксплуатационных свойств изделий невозможно.

Для сохранения требуемой несущей способности необходима корректировка схемы армирования конструкций путем увеличения площади сечения растянутой арматуры либо более эффективного использования потенциала ПКА. Как установлено в [31], при увеличении удельной поверхности растянутой арматуры (снижении диаметра стержней при сохранении их суммарной площади) существенно возрастает жесткость изгибаемых конструкций, армированных ПКА. Данная особенность ПКА, объясняемая нелинейным распределением напряжений при растяжении [7], и должна в дальнейшем учитываться для более эффективного использования ее высоких прочностных свойств.

Литература

1. Кустикова Ю.О. Напряженно-деформированное состояние сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном: дис. канд. техн. наук. М.: МГСУ. 2014. 187 с.
2. Блазнов А.Н., Волков Ю.П., Луговой А.Н., Савин В.Ф. О химической стойкости стеклопластиковой арматуры // Проектирование и строительство в Сибири. 2003. №3(15). С. 34-37.
3. Бенмокрэйн Б. *Применение композитной арматуры в бетонных конструкциях*. FACI, FCSCE, FIIFC, FCAE. Шербрук, Квебек, 379с.
4. Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Ку克林 А. Н., Хуснутдинов А. М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры // Инженерно-строительный журнал. 2014. №3. С. 40-47.
5. Кузеванов Д.В. Научно-технический отчет «Конструкции с композитной неметаллической арматурой. Обзор и анализ зарубежных и отечественных нормативных документов». [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.niizhb2.ru/Article/nka2012.pdf> (дата обращения 12.01.2016 г.).
6. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. Р-16-78. М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1978. 21с.

References

1. Kustikova Yu.O. *Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye stsepleniya bazaltoplastikovoy armatury s betonom: dis. kand. tekhn. nauk.* [Stress-strain state of the friction between basalt plastic armature and concrete]. Moscow: MGSU. 2014. 187 p. (rus)
2. Blaznov A.N., Volkov Yu.P., Lugovoy A.N., Savin V.F. O khimicheskoy stoykosti stekloplastikovoy armatury [About chemical properties of fiberglass armature]. *Proyektirovaniye i stroitelstvo v Sibiri*. 2003. No. 3(15) Pp. 34-37. (rus)
3. Benmokreyn B. *Primeneniye kompozitnoy armatury v betonnykh konstruksiyakh* [The appliance of composite armature in concrete constructions]. FACI, FCSCE, FIIFC, FCAE. Sherbruk, Kvebek, 379 p. (rus)
4. Gizdatullin A. R., Khozin V. G., Kuklin A. N., Khusnutdinov A. M., *Osobennosti ispytaniy i kharakter razrusheniya polimerkompozitnoy armatury* [Features of testing and character of destruction of polymercomposite armature]. *Magazine of Civil Engoneering*. 2014. №3. Pp. 40-47. (rus)
5. Kuzevanov D.V. *Nauchno-tekhnicheskiiy otchet «Konstruksii s kompozitnoy nemetallicheskooy armaturoy. Obzor i analiz zarubezhnykh i otechestvennykh normativnykh dokumentov»* [Technical-scientific report: "Constructions with composite non-metallic armature] [online] URL: <http://www.niizhb2.ru/Article/nka2012.pdf> (accessed: 12 January 2016). (rus)

Gizdatullin G.A., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnykh konstruksiy, armirovannykh polykompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars]. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 2. Pp. 32-41. doi: 10.5862/MCE.62.4

7. Фролов Н.П.. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции // Стройиздат. М. 1980. 102 с.
8. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. М., 2013. 14 с.
9. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., 2013. 155 с.
10. CAN/CSA-S6-06 Fibre Reinforced Structures. Canadian Highway Bridge Design Code. Canadian Standards Association. 2006. Pp. 693-728.
11. ACI 440.1R-06"Report on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures", ACI Committee 440, American Concrete Institute.
12. AASHTO GFRP-1 (2009) "AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings", American Association of State Highway and Transportation Officials
13. *Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC)*. Concrete Engineering Series 82. Japan Society of Civil Engineers. 2008. 113 p.
14. *Guide for the design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars*. CNR-DT. Rome. 2007. 203p.
15. Hassan T., Abdelrahman A., Tadros G., Rizkalla S. Fibre reinforced polymer reinforcing bars for bridge decks. *Canadian journal of civil engineering*. 2000. No. 27. Pp. 839-849.
16. El-Salakawy E., Kassem C., Benmokrane B. Field application of frp composite bars as reinforcement for bridge decks. *4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. Québec, Canada, 5-8 June 2002.
17. Benmokrane B., El-Salakawy E., Cherrak Z., Wiseman A. Fibre-reinforced polymer composite bars for the structural concrete slabs of a Public Works and Government Services Canada parking garage. *Canadian journal of civil engineering*. 2004. No.31. Pp. 732-748.
18. Phillips K.A., Harlan M., Roberts-Wollmann C.L., Cousins-Charlottesville T.E. *Performance of a bridge deck with glass fiber reinforced polymer bars as the top mat of reinforcement: final contract report*. 2005. 68p.
19. Shahidi F. *Bond degradation between FRP bars and concrete under sustained loads: thesis for the dissertation*. 2003. 239 p.
20. Banson A.K. *Precast bridge deck joints using frp and ultra-high performance concrete: a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering Science*. Ontario, Canada. 2013. 132 p.
21. Kim Y.H., Gardoni P., Trejo D. Time-Variant Capacity and Reliability of GFRP-Reinforced Bridge Decks. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Ancona, Italy. 28-30 June 2010.
22. Рабочие чертежи № ПГ 88-15 для изготовления балок и плит БСК-СКД, ПСК-СКД, выполненные ООО «АРСУ».
23. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. М., 1994. 14 с.
24. Красникова Н.М., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. Опыт внедрения мелкозернистых бетонов при производстве дорожных плит // Инженерно-строительный журнал. 2014. №7. С.46-54.
25. ГОСТ 21924.2-84*. Плиты железобетонные с ненапрягаемой арматурой для покрытий городских дорог. Конструкция и размеры.-М., 1985. 13 с.
6. Rekomendatsii po raschetu konstruksiy so stekloplastikovoy armaturoy. R-16-78. [Recommendations for analysis of structures with fiberglass reinforcement]. Moscow, NIIZhB Gosstroya SSSR, 1978. 21 p
7. Frolov N.P. *Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnyye konstruksii*[Fiberglass armature and fiberglass concrete constructions]. Stroyizdat. Moscow. 1980. 102p. (rus)
8. GOST 31938-2012. Armatura kompozitnaya polimernaya dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy. M., 2013. 14 p.
9. SP 63.13330.2012 Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. – M., 2013. 155 s.
10. CAN/CSA-S6-06 Fibre Reinforced Structures. Canadian Highway Bridge Design Code. Canadian Standards Association. 2006. Pp. 693-728.
11. ACI 440.1R-06 (2006) "Report on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures", ACI Committee 440, American Concrete Institute
12. AASHTO GFRP-1 (2009) "AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings", American Association of State Highway and Transportation Officials
13. *Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC)*. Concrete Engineering Series 82. Japan Society of Civil Engineers. 2008. 113 p.
14. *Guide for the design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars*. CNR-DT. Rome. 2007. 203p.
15. Hassan T., Abdelrahman A., Tadros G., Rizkalla S. Fibre reinforced polymer reinforcing bars for bridge decks. *Canadian journal of civil engineering*. 2000. No. 27. Pp. 839-849.
16. El-Salakawy E., Kassem C., Benmokrane B. Field application of frp composite bars as reinforcement for bridge decks. *4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. Québec, Canada, 5-8 June 2002.
17. Benmokrane B., El-Salakawy E., Cherrak Z., Wiseman A. Fibre-reinforced polymer composite bars for the structural concrete slabs of a Public Works and Government Services Canada parking garage. *Canadian journal of civil engineering*. 2004. No.31. Pp. 732-748.
18. Phillips K.A., Harlan M., Roberts-Wollmann C.L., Cousins-Charlottesville T.E. *Performance of a bridge deck with glass fiber reinforced polymer bars as the top mat of reinforcement: final contract report*. 2005. 68p.
19. Shahidi F. *Bond degradation between FRP bars and concrete under sustained loads: thesis for the dissertation*. 2003. 239 p.
20. Banson A.K. *Precast bridge deck joints using frp and ultra-high performance concrete: a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering Science*. Ontario, Canada. 2013. 132 p.
21. Kim Y.H., Gardoni P., Trejo D. Time-Variant Capacity and Reliability of GFRP-Reinforced Bridge Decks. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Ancona, Italy. 28-30 June 2010.
22. *Rabochiye chertezhi No PG 88-15 dlya izgotovleniya balok i plit BSK-SKD* [Drafts No PG 88-15 for fabrication of beams and slabs BSK-SKD] PSK-SKD. ООО «АРСУ». (rus).
23. GOST 5781-82. Stal goryachekatanaya dlya armirovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy. Tekhnicheskiye usloviya. M., 1994. 14 s.
24. Krasnikova N.M., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G. Opyt vnedreniya melkozernistykh betonov pri proizvodstve dorozhnykh plit [Implementation experience

Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2(62). С. 32-41.

26. ГОСТ 8829-85. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости.-М., 1986. 26 с.
27. Барабаншиков Ю.Г., Беляева С.В. Модуль упругости пултрузионного стеклопластика // Фундаментальные исследования в технич. университетах. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. – С. 312-313.
28. Теплова Ж.С., Киски С.С., Стрижкова Я.Н. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №9 (24). С. 49-70.
29. Барабаншиков Ю.Г., Беляева С.В. Исследование стеклопластиковой арматуры для бетона. Фундаментальные исследования в технич. университетах. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. – С. 332-333.
30. Рабочие чертежи «Приустьевая площадка», лист II – АС-41, II – АС-43, «Куст 1727а. Фундамент под станок качалку ПЦ-60» лист 10978-2-АС, лист ФП-ПЦ 6005 выполненные институт ТатНИПИнефть.
31. Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н. Особенности деформирования и разрушения бетонных балок, армированных композитной арматурой различных диаметров. Доклад VIII Академические чтения РААСН, г. Казань, 2014 г.
- of fine-grained concrete in production of road slabs] *Magazine of Civil Engineering*. 2014. No7. Pp.46-54. (rus)
25. GOST 21924.2-84*. Plity zhelezobetonnyye s nenapryagayemoy armaturoy dlya pokrytiy gorodskikh dorog. Konstruktsiya i razmery.-М., 1985. 13 s.
26. GOST 8829-85. Konstruktsii i izdeliya betonnyye i zhelezobetonnyye sbornyye. Metody ispytaniy nagruzheniem i otsenka prochnosti, zhestkosti i treshchinostoykosti.-М., 1986. 26 s.
27. Barabanshchikov Yu.G., Belyayeva S.V. Modul uprugosti pultruzionnogo stekloplastika [Elastic modulus of pultruded feberglass]. *Fundamentalnyye issledovaniya v tekhnich. universitetakh*. St. Petersburg.: Izd-vo SPbGPU. 2005. Pp. 312-313. (rus)
28. Teplova Zh.S., Kiski S.S., Strizhkova Ya. N. Stekloplastikovaya armatura dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy [Fiberglass armature for concrete construction reinforcement]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 9(24). Pp. 49-70. (rus)
29. Barabanshchikov Yu.G., Belyayeva S.V. Issledovaniye stekloplastikovoy armatury dlya betona. *Fundamentalnyye issledovaniya v tekhnich. universitetakh*. St. Petersburg.: Izd-vo SPbGPU. 2006. Pp. 332-333. (rus)
30. Rabochiye chertezhi «Priusteyevaya ploshchadka», list II – AS-41, II – AS-43, «Kust 1727a. Fundament pod stanok kachalku PTs-60» list 10978-2-AS, list FP-PTs 6005 vypolnennyye institut TatNIPIneft.
31. Gizdatullin A.R., Khozin V.G., Kuklin A.N. Osobennosti deformirovaniya i razrusheniya betonnykh balok, armirovannykh kompozitnoy armaturoy razlichnykh diametrov [Deformation and destruction features of concrete beams with composite reinforcement various width] *Doklad VIII Akademicheskiye chteniya RAASN*, Kazan. 2014.

Антон Ринатович Гиздатуллин,
+7(917)2874466; эл. почта: antonchiks@mail.ru
Равиль Ринатович Хусаинов,
+7(987)2370069; эл. почта:
ravvv_56rus@mail.ru
Вадим Григорьевич Хозин,
+7(843)5104734; эл. почта: borigor83@list.ru
Наталья Михайловна Красникова,
+7(927)4298559; эл. почта: knm0104@mail.ru

Anton Gizdatullin,
+7(917)2874466; antonchiks@mail.ru
Ravil Khusainov,
+7(987)2370069; ravvv_56rus@mail.ru
Vadim Khozin,
+7(843)5104734; borigor83@list.ru
Natalia Krasnikova,
+7(927)4298559; knm0104@mail.ru

© Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М., 2016

Gizdatullin G.A., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnykh konstruksiy, armirovannykh polykompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars]. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 2. Pp. 32-41. doi: 10.5862/MCE.62.4