

ПРИМЕНЕНИЕ АРМАТУРЫ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ДЛЯ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ С АНКЕРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ НА ФУНДАМЕНТАХ

В.Н. Николаев, директор ЗАО «РПП» (торговая марка «INFIX»);
В.Ф. Степанова, профессор, д. т. н., зав. лабораторией НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Исследованию свойств арматуры композитной полимерной (АКП) и разработке нормативно-технической документации на ее изготовление и применение уделено достаточно много внимания в отечественной и зарубежной литературе[1-4]. За последние годы разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия». Разработаны ГОСТы на методы испытания арматуры, находятся в работе СП по расчёту и проектированию бетонных конструкций, армированных АКП.

На строительном рынке появилось много арматуры различных производителей, выпускающих АКП сомнительного качества, но объёмы применяемых в строительстве бетонных конструкций, армированных АКП, растут крайне медленно. Одной из причин этого является отсутствие испытаний опытно-экспериментальных конструкций для реальных условий эксплуатации. Кроме того, отмечая положительные свойства арматуры [5], указывают на её недостаток – низкий модуль упругости при растяжении (в сравнении со стальной арматурой). Хочется обратить внимание на то, что это не недостаток, а свойство материала, которое надо эффективно использовать.

Прежде всего, свойства АКП можно максимально реализовать в предварительно напряжённых конструкциях. Но производители АКП хотят, используя простую по сравнению с производством стальной арматуры технологию, получить «короткие» деньги, то есть быструю окупаемость, не вкладывая дополнительных средств в испытания конструкций и разработку специальных проектов для бетонных конструкций, армированных АКП.

Николаев Валерий Николаевич работает над данной проблемой более 15 лет. Арматура, которую он разработал, прошла испытания в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева на соответствие ГОСТ 31938-2012 [7], на арматуру выдан сертификат соответствия.

Известно, что железобетонные стойки опор контактной сети, произведенные в соответствии с ГОСТ 19330-2013 [8] подвержены электрохимической коррозии, вызываемой блуждающими токами. АКП является диэлектриком, диамагнитна, поэтому применение ее в конструкциях, подвергающихся воздействию блуждающих токов, является целесообразным. Также применение АКП эффективно в конструкциях, работающих под воздействием агрессивных сред (см. таблицу 1).

Таблица 1 - Технические характеристики напрягаемой композитной арматуры и арматуры металлической

Технические характеристики	Композитная арматура	Арматура металлическая А-III (А400) ГОСТ 5781-82	Арматура металлическая А-IV (А600) ГОСТ 5781-82
Временное сопротивление разрыву, МПа	1050	590	883
Теплопроводность, Вт/(м·К)	менее 0,46	56	56
Плотность, г/см ³	1,6-2,2	7,8	7,8

Модуль упругости, ГПа	55	200	200
Электрическая проводимость	диэлектрик	проводник	проводник
Магнитная характеристика	не намагничивается	намагничивается	намагничивается
Огнестойкость, °С	до 300	до 600	до 600
Показатели надёжности	высокая коррозионная и химическая устойчивость	корродирует и химически не устойчива	корродирует и химически не устойчива

По заданию ОАО «РЖД» и при участии АО «РОСНАНО» Николаевым Валерием Николаевичем были разработаны стойки опор контактной сети на базе стержневого армирования преднапряженной композитной диэлектрической арматурой. Опытные образцы данных стоек опор, соответствующих требованиям ГОСТ 19330, были изготовлены на ОАО «Мелеузовский завод ЖБК» (г. Мелеуз Республика Башкортостан). Было изготовлено 6 опор с композитным армированием и 2 опоры с металлическим армированием, характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики опытных образцов стоек опор контактной сети

Номер опоры	Арматура	Величина преднапряжения, тс
1-6	Преднапряжённая композитная диаметром 15,7 мм, 12 стержней	108
183 и 185	Преднапряженная металлическая А-IV (А600) диаметром 14 мм, 12 стержней Ненапряженная металлическая А-III (А400) диаметром 14 мм, 8 стержней	108

Для предварительного напряжения композитной арматуры использовались специальные анкерные устройства [6], которые позволяют надёжно анкеровать арматуру с усилием более 40 % от разрывного усилия и производить быструю замену арматуры. На рисунке 1 представлена фотография арматурного каркаса с анкерами.



Рисунок 1 - Монтаж композитной преднапряжённой арматуры с анкерами



Рисунок 2 - Стойка опоры контактной сети с композитным армированием

Для проведения испытаний изготовленным стойкам опор с композитным армированием были присвоены номера с 1 по 6, пара опор с металлическим армированием была испытана под номерами 183 и 185.

Опоры № 1-2 использовали для проведения стендовых испытаний на «Мелеузовском заводе ЖБК». Непосредственно после изготовления опоры с композитным армированием под номерами 3 и 6 были направлены на ресурсные испытания в ОАО «ВНИИЖТ» (г. Щербинка Московской области), после чего были возвращены в г. Мелеуз. Контрольная пара № 4-5 с композитным армированием, а также пара железобетонных стоек № 183 и 185 были применены для определения методом сравнения результатов ресурсных испытаний.

Ресурсные испытания во «ВНИИЖТ» проводили при вибрационном увеличении нагрузок на стойки. Нагрузку прилагали к консоли, рабочая длина которой составляла 2,5 м, установленной на высоте 8 м от основания опоры. Статическая нагрузка составляла 2250 кгс, динамическая – 600 кгс, частота колебаний – (0,5-0,7) Гц. Количество циклов нагружения составило 1 млн.

Схема приложения нагрузки приведена на рисунке 3.

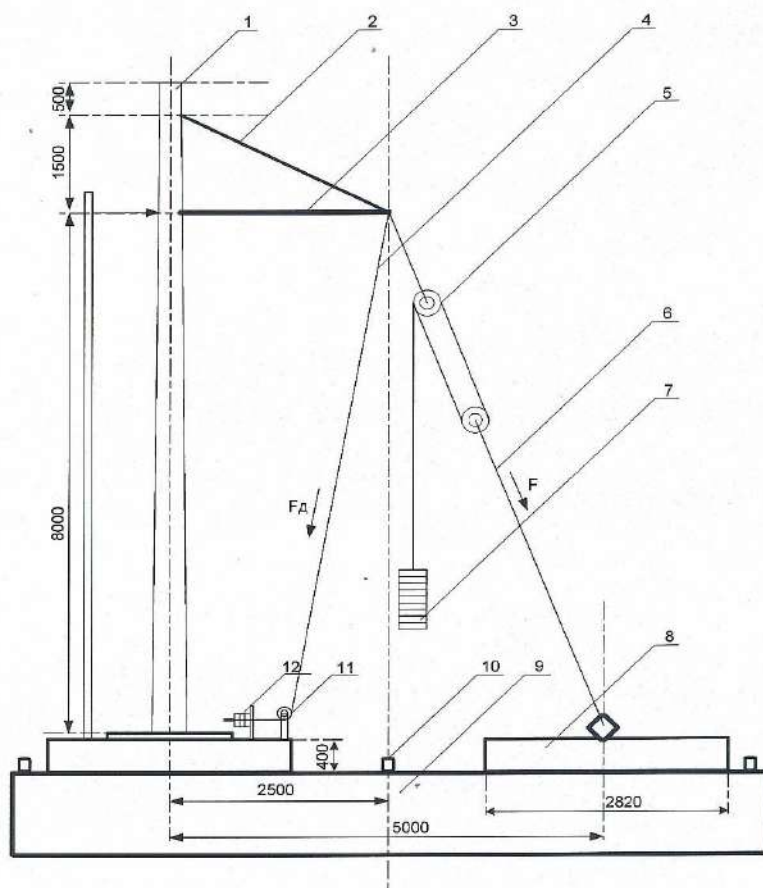


Рисунок 3 – Схема вибрационного нагружения стоек:

1 – стойка; 2 – консоль; 3 – тяга консоли; 4 – трос; 5 – полипласт; 6 – оттяжка;
7 – грузы; 8 – плита; 9 – основание; 10 – проушина; 11 – ролик; 12 – пульсатор

Динамическую нагрузку создавали с использованием пульсатора (рисунок 4).

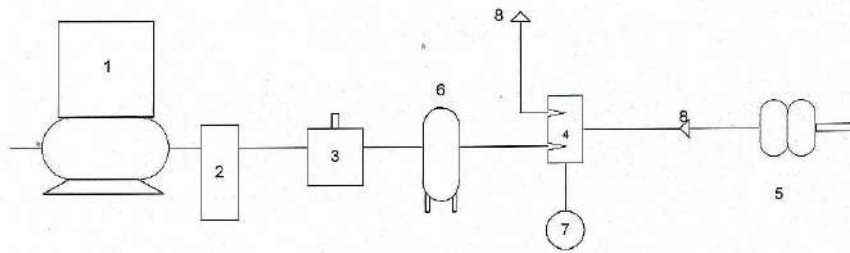


Рисунок 4 – Блок-схема пульсатора:

1 – компрессор с ресивером; 2 – фильтр; 3 – регулятор давления; 4 – пневмораспределитель; 5 – пневмоцилиндр; 6 – ресивер; 7 – таймер управления; 8 – глушитель

До вибрационного нагружения были проведены испытания по определению прямолинейности и жесткости стоек. Для стойки ССА 100.7-4.1 ЭМИ № 3:

- отклонение от прямолинейности – 4 мм (не более 10 мм по нормативному документу (НД));
- отклонение на уровне контактного провода (УКП) при приложении нормативного изгибающего момента – 61 мм (не более 125 мм по НД).

Для стойки ССА 100.7-4.1 ЭМИ № 6:

- отклонение от прямолинейности – 5 мм (не более 10 мм по НД);
- отклонение на уровне контактного провода при приложении нормативного изгибающего момента – 67 мм (не более 125 мм по НД).

Во время вибрационного нагружения регистрировали количество циклов нагружения и отклонение стойки от прямолинейного положения на УКП при статической нагрузке (см. рисунок 5 и таблицу 3).

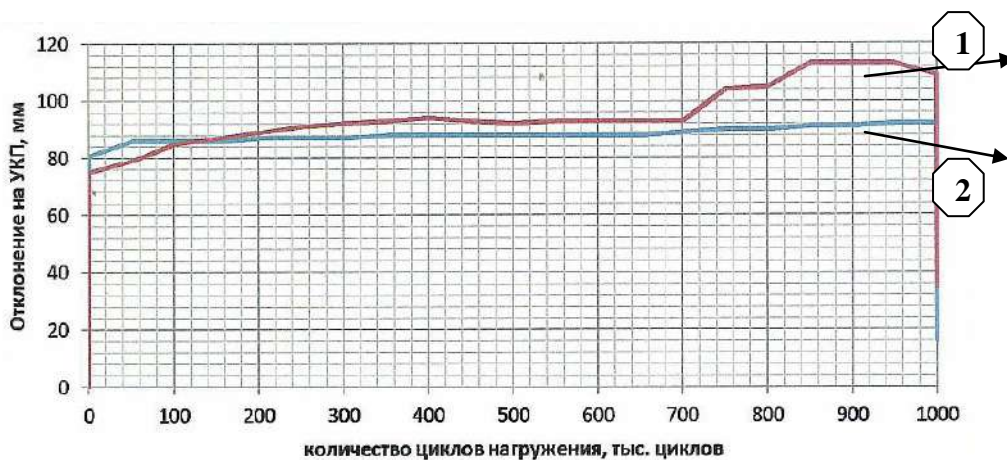


Рисунок 5 – Зависимость отклонения стойки на УКП от количества циклов нагружения: красный цвет (1) – стойка № 6; синий цвет (2) – стойка № 3

Таблица 3 – Прогиб стойки на УКП в зависимости от циклов нагружения

Количество циклов нагружения, тыс. циклов	Отклонение от ненагруженного состояния на УКП при статической нагрузке, мм		Примечание
	Стойка № 3	Стойка № 6	
0	72	62	
0,25	81	75	
50	86	79	
100	86	85	
150	86	87	

200	87	89	
250	87	91	
300	87	92	
350	88	93	
400	88	94	
450	88	93	
500	88	92	
550	88	93	
600	88	93	
650	88	93	
700	89	93	
750	90	104	
800	90	105	
850	91	113	
900	91	113	
950	92	113	
1000	92	109	
1000	16	35	Снятие статической нагрузки

Испытания стоек нагружением для оценки показателей их прочности, жесткости и трещиностойкости проводили в соответствии с:

- величиной усилия натяжения троса до величины, установленной по динамометру при испытаниях;
- схемой испытания железобетонных стоек для оценки показателей их прочности, жесткости и трещиностойкости;
- определением величины прогиба стойки в плоскости приложения контрольной нагрузки (с точностью до 1 мм для каждой ступени расчетной нагрузки на уровне контактного провода).

Нагрузку на испытываемую стойку подавали ступенями 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,9; 0,95 и 1,0 М_н (нормативный изгибающий момент), предварительно зафиксировав посредством линейки начальное положение стойки П_н на уровень контактного провода (УКП). Стойку выдерживали после приложения каждой ступени нагрузки в течение 10 мин., до значения 1,0 М_н. На этой ступени нагрузки фиксировали конечное положение стойки П_к на УКП. По измеренным значениям положений стойки на УКП вычисляли прогиб стойки по формуле:

$$\Delta П = П_н - П_к$$

Затем увеличивали нагрузку на стойке ступенями 1,05, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5 и 1,6 М_н. Стойка считается выдержавшей испытания, если при нагрузке, соответствующей К_{без} = 1,6, стойка не разрушилась.

Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 19330 на двух стойках, армированных композитной арматурой, прошедших вибрационное нагружение, на двух стойках, армированных композитной арматурой, без вибрационного нагружения и на двух новых железобетонных стойках без вибрационного нагружения. Обобщенные данные по железобетонным стойкам и стойкам, армированным композитной арматурой, приведены в таблице 4.

На стойки опор (№ 4 и № 6), армированные композитной арматурой, нагрузку давали до разрушения стоек соответственно 40,3 кН и 40,8 кН, что соответствует 2,0 М_н. На стойках опор (№ 3 и № 5), армированных композитной арматурой, проверяли прямолинейность после проведения испытаний, которая составила 6 мм и 4 мм соответственно, что находится

в пределах, допускаемых нормативной документацией. На всех стойках (кроме разрушившихся) после снятия нагрузок трещины закрылись.

Таблица 4 – Результаты механических испытаний стоек опор контактной сети

Характеристика, измеряемый показатель	Стойки без виброн нагружения				Стойки с композитным армированием после виброн нагружения	
	Композитное армирование		Железобетонные			
	Номер стойки					
	4	5	183	185	3	6
Прогиб на УПК при 1,0 М _н , мм (не более 125 мм по НД)	99	90	82	73	91	89
Проверка прочности (1,6 М _н)	Разрушения нет					
Нагрузка, соответствующая началу образования трещин, кН	28,8 (1,4 М _н)	30,7 (1,5 М _н)	28,4 (1,4 М _н)	28,6 (1,4 М _н)	24,7 (1,2 М _н)	26,6 (1,3 М _н)
Нагрузка, при которой ширина раскрытия трещин 0,15 мм, кН	33,3 (1,6 М _н)	34,5 (1,7 М _н)	35,5 (1,7 М _н)	36,0 (1,7 М _н)	32,8 (1,6 М _н)	34,0 (1,7 М _н)
Нагрузка, соответствующая разрушению стойки, кН	40,3 (2,0 М _н)	–	–	–	–	40,8 (2,0 М _н)
Закрытие трещин после снятия нагрузки	–	Да	Да	Да	Да	–
Остаточная деформация после снятия нагрузки (непрямолинейность) (не более 10 мм по НД)	–	4	–	–	6	–

На рисунке 7 представлена разрушенная целостность бетонной оболочки (композитная арматура цела и находилась в состоянии упругой деформации)



Рисунок 6 - Стойка опоры № 4 на испытательном стенде перед разрушением опоры



Рисунок 7 - Стойка опоры № 4 на испытательном стенде после разрушения

Выводы

1 Вибрационное нагружение не оказало существенного влияния на свойства стоек опор, армированных композитной арматурой:

- во время вибрационного нагружения стоек, армированных композитной арматурой, видимых повреждений не выявлено, прогиб стойки на уровне контактного провода от приложения нормативного изгибающего момента находился в допустимых пределах;

– стойки опор без вибрационного нагружения и прошедшие вибронгружение соответствуют требованию ГОСТ 19330 по трещиностойкости.

2 Стойки, армированные композитной арматурой, после вибрационного нагружения и приложения контрольных нагрузок восстанавливают свою прямолинейность. Прямолинейность стоек соответствует требованиям ГОСТ 19330.

3 Прогиб на УКП при приложении нормативного изгибающего момента у стоек, армированных композитной арматурой, до и после вибрационного нагружения удовлетворяет требованиям ГОСТ 19330.

4 Все исследуемые стойки опор до и после вибрационного нагружения обеспечивают коэффициент безопасности по разрушению ($1,6 M^H$).

Таким образом, разработана технология преднапряжения и анкерования композитной арматуры, позволяющая армировать бетонные изделия и производить продукты высокого качества, которые обладают преимущественными характеристиками в сравнении с железобетонными изделиями. Полученные результаты подтвердили возможность применения бетонных стоек опор контактной сети РЖД, армированных преднапряженной композитной арматурой. Для дальнейшего развития работы необходимо разработать рабочие чертежи по замене стальной арматуры на арматуру композитную полимерную и Технические условия на опоры контактной сети РЖД, а также технологический регламент по их изготовлению.

Список литературы

- [1] Степанова В.Ф., Степанов Ю.А., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная:- М. 2013, с.120-170.
- [2] Лапшинов А.Е. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах// Вестник МГСУ.-2015 -№ 10, с. 96-106.
- [3] [http://www.compositesworld.com/articles/\(619\)](http://www.compositesworld.com/articles/(619)).
- [4] Aftab A.M., Kennelt W.N., State of the Art of FRP and SHM Application in Bridge Structures in Canada// Composite Research Journal, vol. 2, issue 2, spr. 2008, p. 60-69.
- [5] <http://ruspolytec.ru/kompozity-v-stroitelstve-uprugij-modul-zainteresovannosti>.
- [6] Патент на полезную модель 109172, Анкерное устройство для композитной арматуры, опубликовано 10.10.2011. Бюллетень № 28.
- [7] ГОСТ 31938-2012 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций.
- [8] ГОСТ 19330-2013 «Стойки для опор контактной сети железных дорог. Технические условия».