

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2017, Том 4, №2 / 2017, Vol 4, No 2 <http://t-s.today/issues/vol4-no2.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/05TS217.pdf>

DOI: 10.15862/05TS217 (<http://dx.doi.org/10.15862/05TS217>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Петропавловских О.К., Яруллин Р.Р., Умаров Б.Ш., Вольтер А.Р. Метод изготовления предварительно напряженных конструкций с композитным армированием и композитным фибробетоном // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №2 (2017)
<http://t-s.today/PDF/05TS217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/051TS217

For citation:

Zinnurov T.A., Piskunov A.A., Petropavlovskih O.K., Yarullin R.R., Umarov B.S., Volter A.R. [Method for manufacturing prestressed structures with composite reinforcement and composite fiber-reinforced concrete] Russian journal of transport engineering, 2017, Vol. 4, no. 2. Available at: <http://t-s.today/PDF/05TS217.pdf> (In Russ.)
DOI: 10.15862/05TS217

УДК 691

Зиннуров Тагир Альмирович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань¹
Старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
Кандидат технических наук
E-Mail: leongar@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=800952

Пискунов Александр Алексеевич

ООО ПБ «Инженер», Россия, Казань
Генеральный директор
Доктор технических наук, профессор
E-Mail: piskunov52@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=807388

Петропавловских Ольга Константиновна

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»
E-Mail: olga_konst@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=718574

Яруллин Ренат Раисович

ООО «Фрима», Россия, Казань
Директор
E-Mail: yarullin.renat.88@mail.ru

Умаров Булат Шавкатович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Студент магистратуры по направлению «Строительство»
E-Mail: bulkaumarov@rambler.ru

Вольтер Александр Рудольфович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Казань
Студент магистратуры по направлению «Строительство»
E-Mail: voltermail@mail.ru

¹ 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Метод изготовления предварительно напряженных конструкций с композитным армированием и композитным фибробетоном

Аннотация. Полимеркомпозитные материалы на сегодняшний день находят все более широкое применение в строительной индустрии. Их характеристики во многом превосходят свойства металла. Коррозионная стойкость, малый удельный вес, высокая прочность позволят им стать одними из основных строительных материалов.

Но все же полимеркомпозитные материалы обладают несколькими недостатками, одним из которых является меньший (по сравнению с металлом) модуль упругости, что приводит к большим деформациям нагруженных конструкций и ранним появлением трещин. Для решения этой проблемы предлагается использовать предварительное натяжения композитной арматуры.

В данной статье представлена технология изготовления предварительно напряженных бетонных конструкций с использованием композитной арматуры и композитного фибробетона.

Ключевые слова: композитная арматура; фибробетон; предварительное натяжение; анкеровка арматуры; анкер; коррозия арматуры

Введение

Быстрое развитие технологий и применения новых материалов в строительной отрасли ставит перед инженерами новые задачи, требующие обеспечения более жестких стандартов по производственным и эксплуатационным характеристикам. Снижение стоимости возведения, эксплуатации и межремонтного периода требует применения новых и инновационных видов строительных материалов и технологий.

В 20 веке железобетон зарекомендовал себя, как один из лучших материалов для строительства, более 90 процентов всех конструкций возводятся именно из железобетона. Он обладает высокими прочностными характеристиками, большим сроком службы и сравнительно небольшой ценой, поэтому зачастую является экономически выгодным при устройстве строительных конструкций.

Однако, слабым местом железобетона является металлическая арматура подверженная коррозии. Это касается транспортных сооружений, которые особенно подвержены воздействию агрессивной внешней среды в результате техногенных воздействий, постоянным динамическим нагрузкам, что может со временем привести к серьезным деформациям конструкций вплоть до полного или частичного разрушения. [1].

Для решения подобного рода задач проведено исследование новых полимеркомпозитных материалов для совместной работы с бетоном. Исследования и результаты испытаний на прочность, щелочестойкость, сцепления с бетоном показывают высокую эффективность полимеркомпозитных материалов и возможные перспективы применения в строительстве.

Особый интерес в этом направлении представляет применение предварительно напряженного армирования, а также конструкций из композитного фибробетона или фибробетона с композитной арматурой для повышения несущей способности сооружений.

Одним из серьезных недостатков конструкций, армированных композитной арматурой, является низкий модуль упругости (45-60 ГПа) по сравнению с металлической арматурой. Это приводит к большим деформациям нагруженных конструкций и раннему появлению трещин.

Опыт лабораторных исследований показал, что имеется два основных метода решения проблемы. Первый – это увеличение площади рабочей арматуры, что экономически не всегда может быть оправдано. Второй – предварительное натяжение стержней. [2]

В настоящее время в России и других странах проводится достаточно большое количество исследований различных конструкций с полимеркомпозитной арматурой [3-7].

Однако, отсутствие утвержденных норм и правил применения и методик расчета строительных конструкций сдерживает их применение в строительной практике.

1. Установка для натяжения предварительно напряженных арматурных стержней

Композитное армирование имеет определенные преимущества перед традиционной металлической арматурой, но оно также имеет и ряд отрицательных качеств, которые следует устранить для дальнейшего применения в строительстве.

Авторами работы разработана установка для натяжения и фиксации композитных арматурных стержней при изготовлении предварительно-напряженных элементов, строительных конструкций, используемых в транспортном и гражданском строительстве.

Целью разработки данного устройства было упрощение конструкции по сравнению с аналогами, минимизация ручного труда и возможность корректировки натяжения армирования за счет упоров болтового типа.

Установка состоит из опорной рамы, выполняющей роль упоров для крепления на ней фиксаторов. Внутри рамы располагается щитовая опалубка, для укладки бетонной смеси. Натяжение композитной арматуры производится специальной установкой, оснащенной домкратом с динамометром. Установка представляет собой подвижную и неподвижную платформу, усилие натяжения создается за счёт гидравлического домкрата. Последовательно натягивается каждый стержень до требуемой величины. При тестировании установки были опробованы различные уровни предварительного натяжения, результаты доказали, как работоспособность самой установки, так и специальных анкерных устройств.

Опорная рама (фиг. 1): сварная конструкция для упора анкеров. Усилие натяжения можно корректировать за счет упоров болтового типа (1) с пропуском арматуры внутри них. Металлическая оснастка подбирается расчетом в зависимости от усилия натяжения Щитовая опалубка (2) располагается внутри опорной рамы. Отверстия (3) для пропуска натягиваемых композитных стержней.

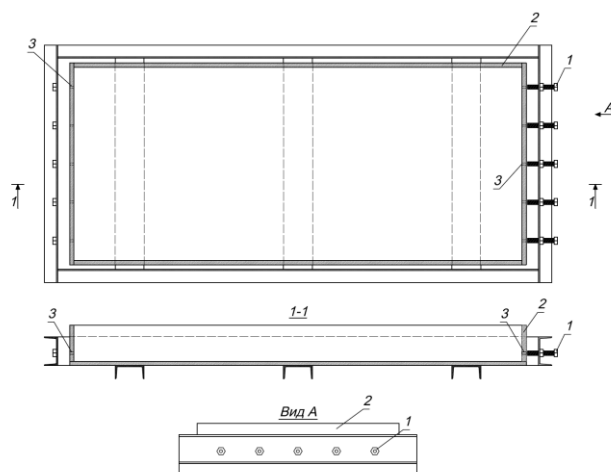


Рисунок 1. Опорная рама (рисунок авторов)
Figure 1. Support frame (figure of authors)



Рисунок 2. Опорная рама (фото авторов)
Figure 2. Support frame (photo of the authors)

Установка натяжения (фиг. 2): состоит из двух частей – подвижной (4) и неподвижной (5). Неподвижная часть имеет упор (6) для упирания натягивающего устройства (гидравлического домкрата) основанием. Шток домкрата в свою очередь передает усилие на подвижную часть.

Подвижная часть натягивающего устройства имеет захват для анкера (7).

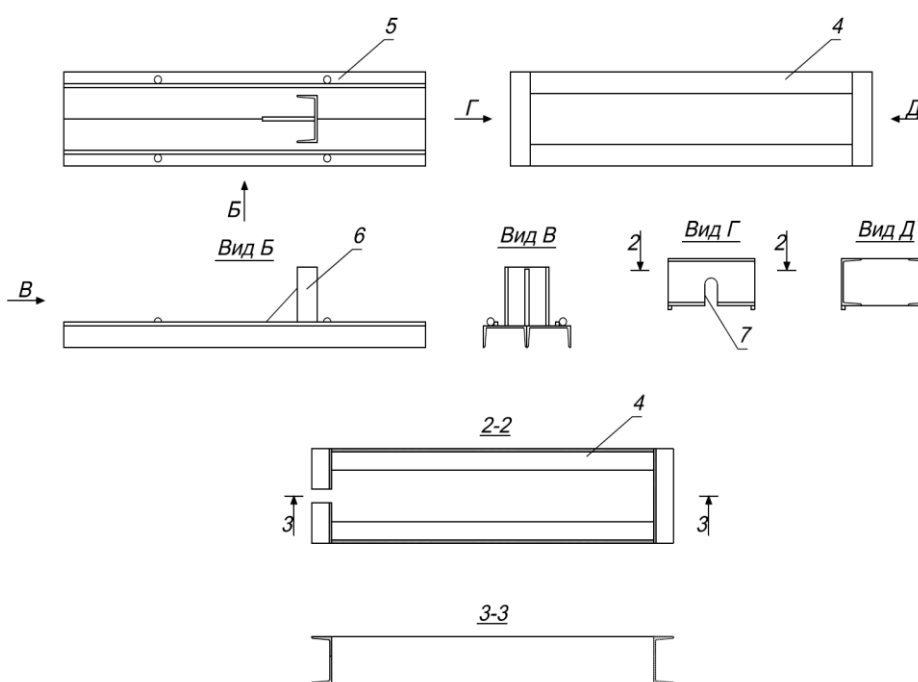


Рисунок 3. Установка натяжения (рисунок авторов)
Figure 3. Tension installation (figure of authors)



Рисунок 4. Установка натяжения (фото авторов)
Figure 4. Tension installation (photo of authors)

2. Анкерное устройство

Первые системы анкерки композитной арматуры основывались на методах анкерки металлических арматурных стержней (механическая анкерка) [8]. Большинство систем сочетало в себе металлические и композитные детали.

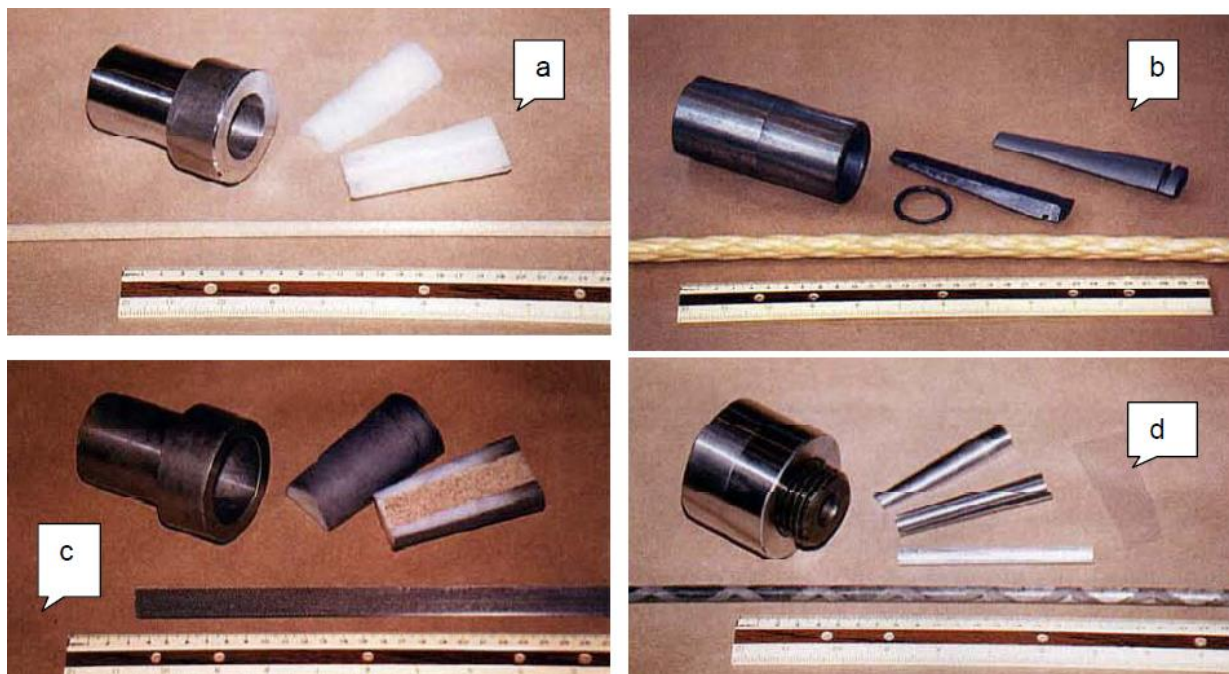


Рисунок 5. Анкера для композитной арматуры (фото авторов)
Figure 5. Anchor for composite reinforcement (photo of authors)

На сегодняшний день широко применяются два основных метода анкерки.

Принцип анкеровки первого метода заключается в фиксации стержня между двумя пластинами, усилие обжатия в которых создается с помощью болтового соединения [9] (фиг. 3).

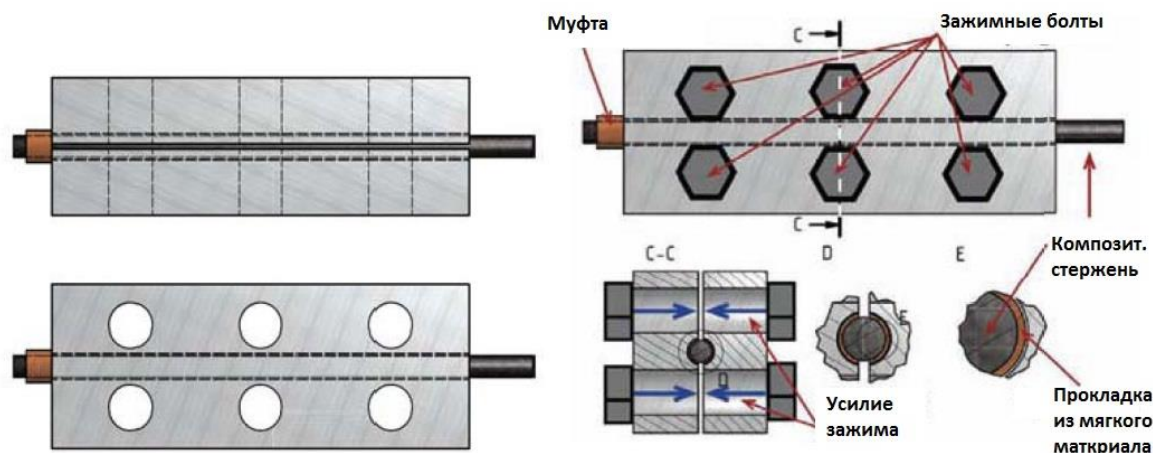


Рисунок 6. Принцип анкеровки фиксацией стержня между двумя пластинами (рисунок авторов)

Figure 6. Principle of anchoring by fixation of a rod between two plates (figure of authors)

Технологически более надежным способом анкеровки является метод заклинивания. Этот метод близок к классическим анкерным системам. Он использует усилие обжатия между напрягаемым стержнем и анкерным устройством для передачи усилия натяжения за счет заклинивания прокладок в металлическом корпусе анкера по мере увеличения усилия натяжения. Широко используется анкер, представленный на рис. 4.

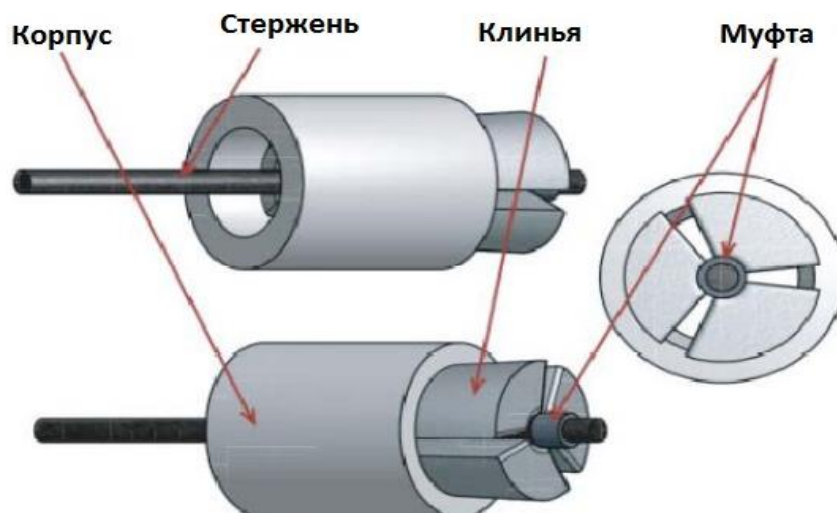


Рисунок 7. Анкеровка является методом заклинивания (рисунок авторов)

Figure 7. Anchoring is a method of jamming (figure of authors)

На основе принципов работы данной анкерной системы, было разработано усовершенствованное устройство по анкеровке композитной арматуры. Разработанный анкер обеспечивает большее усилие за счет использования трёх отдельных вкладышей объединенных между собой обжимными кольцами. Для равномерной передачи усилия натяжения анкер оснащается металлическим упором. В обжимной муфте имеется отверстие, выполненное в виде обратного конуса, в которое устанавливаются три вкладыша, в сложенном виде представляющих собой усеченный конус с центральным отверстием. Для лучшего

сцепления с композитной арматурой вкладыши изготавливаются из композитного материала. Для предотвращения взаимного смещения вкладышей по торцам объединенных вкладышей устанавливаются обжимные кольца.

Анкерное устройство включает металлическую цилиндрическую обжимную муфту 1 с упором для распределения усилия натяжения 6. Три вкладыша 3 в сложенном виде представляют собой усеченный конус с центральным отверстием 4, диаметр которого меньше диаметра обжимаемого стержня 5. Усеченный конус имеет угол наклона α по отношению к центральной оси меньше или равный углу наклона обжимной муфты β . На вкладышах имеется две выемки 7 предназначенные для скрытой установки обжимных колец 2, что обеспечит взаимную фиксацию и совместное проникновение вкладышей в муфту.

Минимальное количество используемых деталей в анкерном устройстве (три вкладыша, два обжимных кольца и муфта) обеспечивает максимальную простоту разборки, сборки и надежность работы конструкции.

Анкерное устройство работает следующим образом. Вкладыши 3 собираются непосредственно на арматурном стержне 5 и фиксируются обжимными кольцами 7. Вся эта конструкция протягивается и заклинивается в обжимной муфте 1. Тяговое устройство крепится к упору 6 на обжимной муфте и происходит непосредственное натяжение композитного стержня, что приводит к дальнейшему заклиниванию вкладышей 3 в обжимной муфте 1 и более полной анкеровке стержня в анкерном устройстве.

В последующем анкерное устройство может быть разобрано для повторного многократного использования.

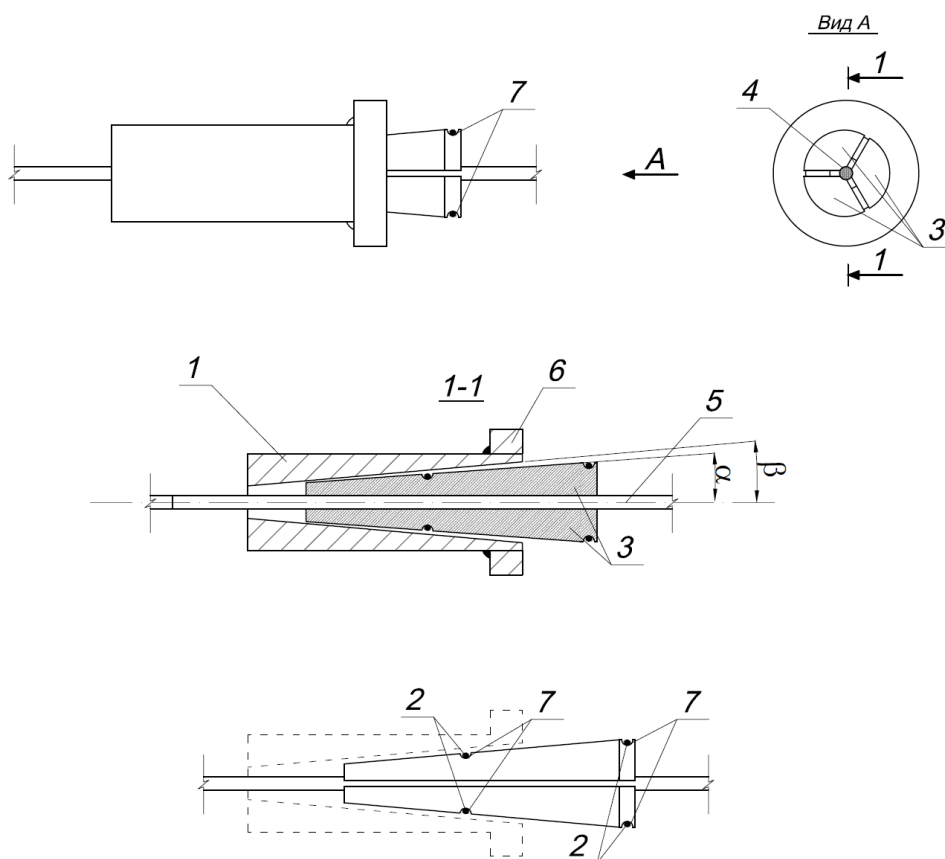


Рисунок 8. Анкерное устройство (рисунок авторов)
Figure 8. Anchor device (figure of authors)



Рисунок 9. Анкеровка арматуры после натяжения (фото авторов)
Figure 9. Anchoring of reinforcement after tension (photo of authors)

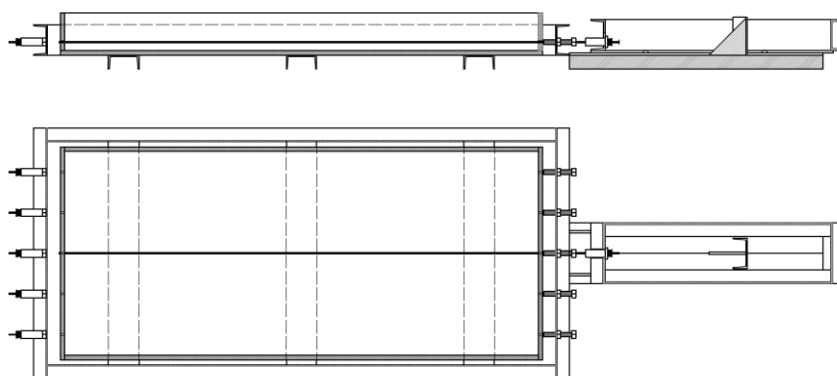


Рисунок 10. Установка в сборе (рисуно авторов)
Figure 10. Installation in the assembled condition (figure of authors)



Рисунок 11. Установка после заливки бетона в опалубку (фото авторов)
Figure 11. Installation after pouring of concrete in the formwork (photo of authors)

Выводы

По результатам проведенных работ предложенная нами технология изготовления предварительно напряженных элементов с композитным армированием доказала свою работоспособность и возможность многократного применения. Также, предложенная схема обеспечивает минимизацию ручного труда при натяжении арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Специальные бетоны. – М.: Инфра-Инженерия, 2012. – ISBN 978-5-9729-0046-6.
2. D. Ďurech. Anchoring method for prestressing of FRP reinforcement // Singapore, 2010. – 13 p.
3. Соловьев Н.П., Соловьев И.Н. Использование напрягающего бетона при изготовлении бетонных элементов с композитной арматуре // Материалы международной (VII Всероссийской) конференции НАСКР. – Чебоксары, 2012. – С. 107-111.
4. Климов Ю.А. Современная композитная базальтовая арматура для армирования бетонных конструкций // Научно технический сборник «Строительные материалы, изделия и санитарная техника». – Киев, 2010. – С. 16-19.
5. Iman Chitsazan, Mohsen Kobraei, Mohd Zamin Jumaat and Payam Shafigh. Экспериментальное исследование поведения прочности при изгибе бетонных балок армированных ПКА и сравнение предельного момента нагрузки с АСІ // Журнал гражданского строительства и строительных технологий, Том 1 (2), Декабрь 2010. – С. 27-42.
6. Toutanji, H., and Saafi, M. Поведение изгибаемых бетонных балок, армированных стеклопластиковой арматурой (СПКА) // Строительный журнал АСІ, Том 97, No. 5, Сентябрь-Октябрь 2000. С. 712-719.
7. Denviđ Lau, Hoat Joen Pam. Экспериментальное исследование гибридных бетонных балок армированных FRP // Строительные конструкции, Том. 32, 2010. – С. 3857-3865.
8. Nanni, A. – Bakis Ch.E. – Dickson, T.O.: Performance of Tendon Anchor Systems for Prestressed Concrete structures. PCI Journal, 01-02/1996.
9. Schmidt J.W., Täljsten B., Bennitz A, Cowi A.S. FRP tendon anchorage in post-tensioned concrete structures. Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II – Alexander et al (eds), ©2009 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-46850-3.
10. Хотеев В.А. Метод расчета трещиностойкости тоннельных обделок кругового очертания из фибробетона с использованием линейной механики разрушения. Москва – 2016. 137 с.

Zinnurov Tagir Almirovich

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan
E-Mail: leongar@mail.ru

Piskunov Aleksander Alekseevich

LLC Design Bureau «Inzhener», Russia, Kazan
E-Mail: piskunov52@mail.ru

Petropavlovskih Olga Konstantinovna

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan
E-Mail: olga_konst@mail.ru

Yarullin Renat Raisovich

LLC «Frima», Russia, Kazan
E-Mail: yarullin.renat.88@mail.ru

Umarov Bulat Shavkatovich

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan
E-Mail: bulkaumarov@rambler.ru

Volter Alexandr Rudolfovich

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan
E-Mail: voltermail@mail.ru

Method for manufacturing prestressed structures with composite reinforcement and composite fiber-reinforced concrete

Abstract. Today the polymer-composite materials are finding ever-widening applications in the construction industry. Their characteristics heavily exceed the metal properties. The corrosion resistance, low specific gravity and high strength are the constitutive advantages of this group of materials.

At the same time, the polymer-composite materials also have disadvantages, one of which is a smaller modulus of elasticity (in comparison with the metal), resulting in the large deformations of loaded structures and low cracking resistance. To reduce the deflections and increase the cracking resistance, it is suggested to use the pre-tensioning of composite reinforcement.

This article presents a technology for manufacturing prestressed concrete structures using the composite reinforcement and composite fiber-reinforced concrete.

Keywords: composite reinforcement; fiber-reinforced concrete; pre-tensioning; anchorage of reinforcement; anchor; reinforcement corrosion

REFERENCES

1. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. (2012). Spetsial'nye betony. [*Special Concretes.*] Moscow: Infra-Engineering. ISBN 978-5-9729-0046-6.
2. Ďurech D. (2010). *Anchoring method for prestressing of FRP reinforcement*. Singapore, p. 13.
3. Solov'ev N.P., Solov'ev I.N. (2012). Use of tensile concrete in the manufacture of concrete elements with composite reinforcement. *Proceedings of the International (VII All-Russian) Conference NASKR*, pp. 107-111. (in Russian).
4. Klimov Ju.A. (2010). Modern composite basalt reinforcement for reinforcement of concrete structures. *Scientific technical collection "Building materials, products and sanitary equipment"*, pp. 16-19. (in Russian).
5. Iman Ch., Mohsen K., Mohd Z.J., Payam Sh. (2010). Experimental study of the behavior of the strength at bending of concrete beams reinforced by PKA and comparison of the limiting load moment with ACI. *Journal of Civil Engineering and Building Technologies*, 2(1), pp. 27-42. (in Russian).
6. Toutanji H., Saafi M. (2000). Behavior of bent concrete beams reinforced with fiberglass reinforcement (СПКА). *Building Journal ACI*, 5(97), pp. 712-719. (in Russian).
7. Denvid L., Hoat J.P. (2010). Experimental study of hybrid concrete beams reinforced with FRP. *Building structures*, 32, pp. 3857-3865. (in Russian).
8. Nanni A., Bakis Ch.E., Dickson T.O. (1996). Performance of Tendon Anchor Systems for Prestressed Concrete structures. *PCI Journal*, 01-02.
9. Schmidt J.W., Täljsten B., Bennitz A, Cowi A.S. (2009). FRP tendon anchorage in post-tensioned concrete structures. Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II – Alexander et al (eds). *Taylor & Francis Group*. ISBN 978-0-415-46850-3.
10. Hoteev V.A. (2016). Metod rascheta treschinostojkosti tonnel'nyh obdelok krugovogo ochertanija iz fibrobeta s ispol'zovaniem linejnoj mehaniki razrusheniija. [*Method for calculating the fracture toughness of tunnel lining of circular outline from fiber-reinforced concrete using linear fracture mechanics.*] Moscow, p. 137.