

УДК 691.175

Старовойтова И.А. – кандидат технических наук

E-mail: irina-starovoitova@yandex.ru

Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin@kgasu.ru

Сулейманов А.М. – доктор технических наук, профессор

E-mail: sulejmanov@kgasu.ru

Халикова Р.А. – аспирант

E-mail: r.i.z.i.d.a@mail.ru

Зыкова Е.С. – аспирант

E-mail: barblzka@mail.ru

Абдулхакова А.А. – студент

Муртазина А.И. – студент

Хадеев Э.П. – студент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Одноосноориентированные армированные пластики: анализ состояния, проблемы и перспективы развития*

Аннотация

В работе представлен анализ современного состояния в области производства и применения неметаллической арматуры для строительных конструкций. Охарактеризованы фильерная (пултрузия) и безфильерная технологии изготовления неметаллической арматуры. Проведены патентные исследования (глубина поиска – 1990-2012 годы). Проведён сравнительный анализ характеристик металлической и композитной арматуры российских производителей. Обоснован выбор сырьевых компонентов для изготовления неметаллической арматуры и приведены направления дальнейших экспериментальных исследований.

Ключевые слова: армированные пластики, неметаллическая арматура, полимерные композиционные материалы, патентные исследования, наномодификаторы.

В настоящее время наблюдается рост объёмов производства и потребления, а также расширение областей применения неметаллической арматуры. Следует отметить, что за рубежом, в США, Германии, Канаде, Японии, Китае и др. странах, неметаллическая арматура производится и достаточно широко применяется уже более 20 лет при армировании бетонных конструкций, в которых арматура подвержена интенсивному коррозионному воздействию агрессивных сред: опоры и настилы мостовых сооружений, дорожное полотно, береговые укрепления и т.п. Также весьма эффективным является применение данного материала в стеновых ограждающих конструкциях (в качестве гибких связей) и в сооружениях, где предъявляются высокие требования к электроизоляционным и антимагнитным характеристикам конструкций (опоры ЛЭП, некоторые медицинские помещения, радиолокационные станции, сооружения оборонного и охранного назначения). Интенсивное применение неметаллической арматуры за рубежом обусловлено проведением достаточно масштабных научных исследований (разработка составов, технологий, оборудования и методик испытаний) [1-5], работой ряда специализированных центров и лабораторий (среди них: Американский Институт Бетона «American concrete institute advancing concrete knowledge», Канадская Ассоциация Стандартов «CSA Standards», Международная Федерация по Армированию Бетона «FIB CEB-FIP» (Европа), Итальянский Национальный Исследовательский Совет, Японское Общество Гражданских Инженеров) и разработкой серьёзных нормативных документов [6-17].

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.132.21.1680 «Разработка экспериментально-теоретических основ наномодификации эпоксидных и органосиликатных связующих для создания конструкционных армированных пластиков строительного назначения».

В последние 5-7 лет в России наблюдается увеличение объёмов использования неметаллической арматуры при строительстве объектов различного назначения, что обусловлено проведением научных исследований и ростом изобретательской активности (рис. 1 а) в области разработки составов, технологий и оборудования для изготовления композитной арматуры, а также значительным увеличением числа предприятий – производителей.

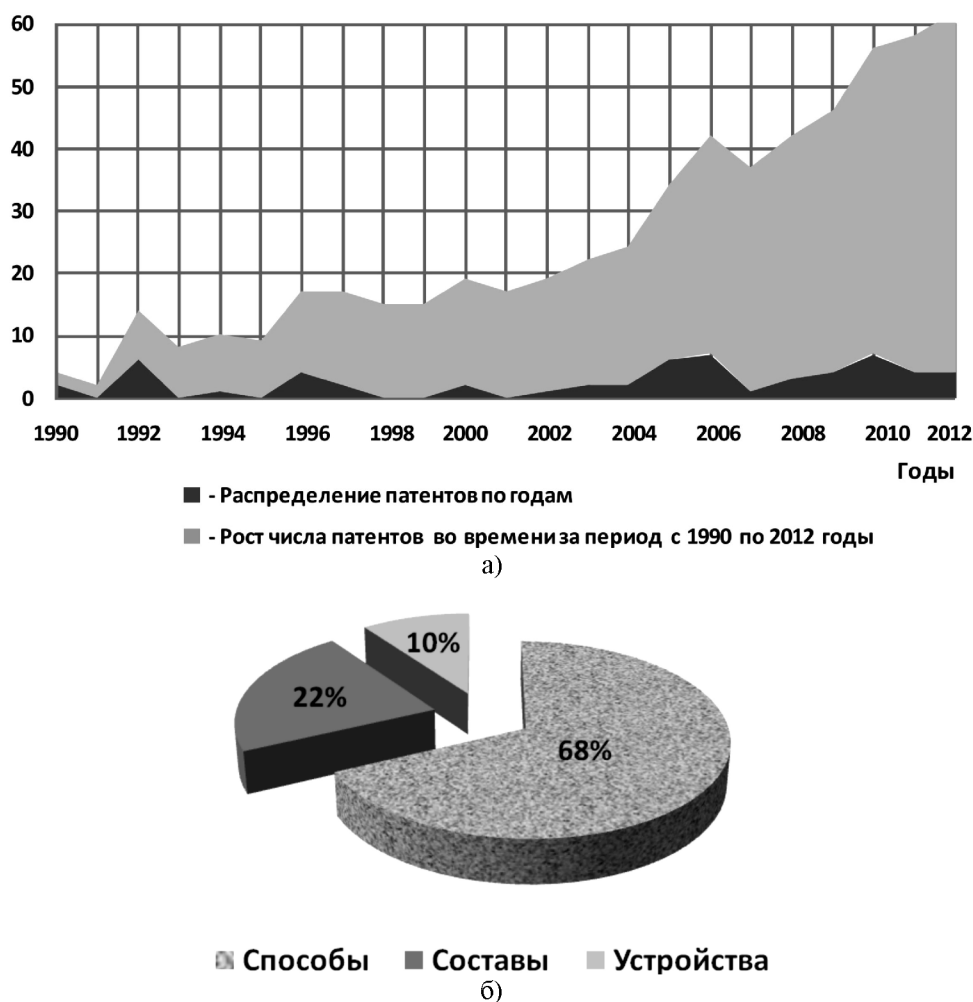


Рис. 1. Изобретательская активность (а) и структура патентования технических решений по объектам промышленной собственности (б)

В результате проведения патентных исследований найдено 75 патентов в области разработки неметаллической арматуры, причём около 60 патентов получено позднее 1990 года (рис. 1 а). В структуре изобретательской активности (рис. 1 б) преобладают способы (технологии) получения композитной арматуры (68 % изобретений), составы (22 %) и устройства для изготовления арматуры (10 %). В качестве основных целей, преследуемых при патентовании технических решений за исследуемый период (1990-2012 годы), можно выделить: увеличение физико-механических характеристик, щелочестойкости и теплостойкости арматуры; увеличение производительности процесса; удешевление технологии.

Сегодня ведущими участниками российского рынка неметаллической арматуры являются такие компании, как ООО «Бийский завод стеклопластиков» (г. Бийск), ООО «Гален» (г. Чебоксары), ООО «Армастек», ООО НПФ «УралСпецАрматура», КНПО «Уральская Армирующая компания» (г. Пермь), ЗАО «Матек» (г. Зеленоград, Московская обл.), ООО «АСП» (г. Москва). Из диаграммы на рис. 2 следует, что значительную часть российского рынка неметаллической арматуры занимают изделия Бийского завода стеклопластиков, ООО «Гален» и ООО НПФ «УралСпецАрматура».

Неметаллическую композитную арматуру изготавливают методами фильерной протяжки (пултрузия) и безфильерной (нидлтрузия, «плейнтрюзия»), при этом большинство предприятий – изготовителей неметаллической арматуры – используют пултрузионную технологию производства.

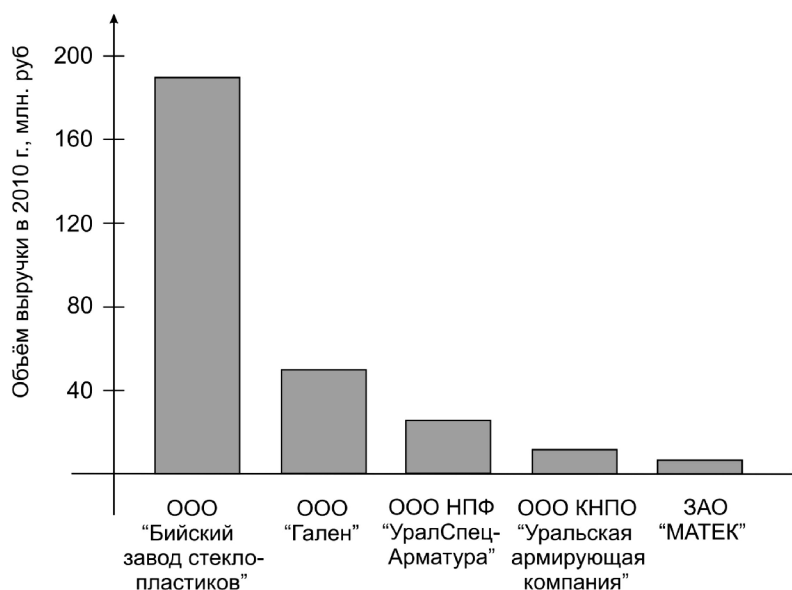


Рис. 2. Объёмы выручки основных производителей неметаллической арматуры в 2010 г. (в млн. руб.)

Метод пултрузии заключается в вытягивании предварительно пропитанного связующим пучка из параллельно ориентированных волокон через фильеры заданного профиля и размера (обычно круглого) с последующим горячим отверждением в камере полимеризации [18]. Для пултрузионной технологии характерна высокая линейная скорость протяжки, которая может достигать 60-120 м/ч (зависит от времени отверждения связующего и диаметра арматуры).

Сотрудниками НИИЖБ и ООО КНПО «Уральская армирующая компания» были разработаны способы безфильерного изготовления композитной арматуры периодического профиля.

При изготовлении неметаллической арматуры *методом нидлтрузии* [19] стержень, состоящий из волокнистых нитей, пропитанных полимерным связующим, сначала разделяют на отдельные части, пропускают по отдельным каналам, после чего вновь соединяют с одновременной спиральной оплеткой и натягом обмоточного жгута, внедряющегося в пучок волокон. Арматура, изготовленная методом нидлтрузии, имеет высокие анкерующие свойства в бетонной среде, надежное крепление спиральной обмотки на силовом стержне, а также высокие физико-механические свойства. Скорость процесса формования составляет 65-98 м/ч и также определяется временем отверждения и геометрическими параметрами арматуры.

Метод «плейнтрюзии» был разработан ООО КНПО «Уральская армирующая компания» в 2006 г. [20], в дальнейшем эта технология была усовершенствована [21, 22]. При «плейнтрюзии» формирование профиля стержня проходит на первом этапе в формовочном узле (втулке), а на втором – за счёт выполнения спиральной обмотки обычно в двух и более направлениях в процессе его формования. Существует также разновидность «плейнтрюзии» [23], при которой арматура формируется многослойной. Технологическая линия «плейнтрюзии» снабжена одним или несколькими дополнительными блоками оборудования выполнения спиральных обмоток внутренних слоев арматуры, включающими блок подготовки и пропитки ровингов полимерным связующим, узел спиральной обмотки, полимеризационную камеру. Линейная производительность линии составляет до 120 м/час.

Изделия из неметаллической арматуры являются диэлектриками, обладают высокой прочностью в осевом направлении, превышающей прочность большинства

конструкционных сталей, низким коэффициентом теплопроводности (в 100 раз меньшим, чем у стали), низким удельным весом (табл. 1). Уникальное сочетание перечисленных свойств этого класса изделий открыло широкие возможности для применения их в различных конструкциях.

Таблица 1

**Основные характеристики металлической (класса АIII)
и неметаллической арматуры различных производителей***

Наименование производителя, вид арматуры	Наименование показателя				Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	
	Прочность, МПа:		Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см ³		
	при рас- тяжении	при изгибе				
ООО «БЗС»: СПА**	1300	1300	45	1,95-2,15	0,35-0,55	
ООО «Гален» (www.galen.su): БПА СПА	1200	1000	50-55	2		
	1000	1000	45	2		
ООО «АРМАСТЕК»: (www.armastek.ru) СПА	1300	1150	55	1,9		
КНПО «Уральская армирующая компания» (www. armaturaliana.com): СПА	1250	-	55-74	1,9		
ООО НПФ «Урал- СпецАрматура» (www.armaturaperm.ru) СПА БПА	1200	-	55	1,9		
	1300	-	71	1,9		
Металлическая арматура класса А-III (А400С) (ГОСТ 5781-82)	360	-	200	7		52

* данные с официальных сайтов производителей

** данные из [24]

Сначала наиболее широкое применение нашли стеклопластиковые стержни, что обусловлено технико-экономическими преимуществами стеклопластиков, по сравнению с другими полимерными композиционными материалами, так как волокна из стекла являются самыми дешевыми из всех (табл. 2). В последнее время в России в коммерческой сфере со стекловолокном начали конкурировать волокна на основе базальтов и, соответственно, со стеклопластиковыми стержнями конкурируют базальтопластиковые стержни [24]. Применение углеродных волокон в армированных пластиках строительного назначения встречается крайне редко ввиду их высокой стоимости, хотя по комплексу характеристик они превосходят стеклянные и базальтовые волокна (табл. 2).

Неметаллическую арматуру диаметром от 1 до 4 мм применяют в качестве силового армирующего элемента в оптоволоконных кабелях, а арматуру диаметром от 4 до 32 мм применяют в качестве гибких связей. В последнее время в России ведётся разработка стеклопластиковых насосных штанг для нефтедобывающей промышленности, использование которых уже хорошо зарекомендовало себя за рубежом в связи с уменьшением в 2-3 раза веса колонны штанг и хорошей стойкостью стеклопластика в агрессивных средах, сопутствующих нефтедобыче. В горном деле стеклопластиковые стержни используют в качестве силовой составляющей анкерующих элементов шахтной крепи [24]. Благодаря высокой коррозионной стойкости и механической прочности композитную арматуру диаметром от 4 до 20 мм и более в настоящее время начинают использовать в дорожном строительстве, при возведении бетонных и армокаменных конструкций.

Таблица 2

Основные характеристики волокон*

Наименование показателя	Вид волокна			
	Базальтовое волокно	Стеклоное (Е-стекло)	Стеклоное (S-стекло)	Углеродное волокно
Предел прочности, МПа	3000-4840	3100-3800	4020-4650	3500-6000
Модуль упругости, ГПа	79,3-93,1	72,5-75,5	83-86	230-600
Удлинение при разрыве, %	3,1	4,7	5,3	1,5-2,0
Диаметр нити, мм	6-21	6-21	6-21	5-15
Температурный диапазон применения, °С	-260...+500	-50...+380	-50...+300	-50...+700
Стоимость, долл/кг	2,5	1,1	1,5	30

*данные с сайта www.basaltfm.com

Однако в строительной практике массовое применение пока нашли только гибкие связи для стеновых ограждающих конструкций. Реальная же потребность в высокопрочной, легкой и коррозионностойкой неметаллической арматуре существует для несущих бетонных, в том числе мостовых, конструкций. Для расширения областей применения неметаллической арматуры на несущие конструкции, на наш взгляд, необходимо:

- разработать методики расчета и проектирования, учитывающие специфические свойства неметаллической арматуры (низкий модуль упругости; ползучесть; возможно, низкая длительная прочность), обусловленные наличием в составе полимерного связующего;
- увеличить модуль упругости неметаллической арматуры и снизить ползучесть при длительных статических нагрузках (эти показатели зависят от характеристик волокна, связующего и их совместной работы);
- повысить теплостойкость неметаллической арматуры, которая напрямую зависит от теплостойкости связующего;
- разработать методики и проводить испытания на длительную прочность и долговечность неметаллической арматуры.

В качестве связующих при изготовлении композитной арматуры широко применяются эпоксидные и винилэфирные смолы, реже – полиэфирные. Существенным недостатком применяемых связующих (полиэфирных, винилэфирных и эпоксидных) является низкая тепло- и термостойкость: теплостойкость эпоксидных и винилэфирных смол не превышает 100-130 °С, а полиэфирных – 80-90 °С. Особенно при повышенных температурах для полимеров характерна высокая ползучесть и низкая длительная прочность. Другим недостатком полиэфирных смол является низкая щелочестойкость. Следует отметить, что винилэфирные и эпоксидные смолы, а также необходимые отвердители и ускорители полимеризации весьма дорогостоящи. Поэтому первоочередной задачей наших исследований является разработка составов связующих, обладающих конкурентоспособной себестоимостью, высокими физико-механическими показателями и теплостойкостью, для получения композитной арматуры с требуемым комплексом характеристик.

Для решения поставленной задачи нами выбрано два пути:

- наномодификация эпоксидных смол, как наиболее распространённых и доступных связующих при изготовлении армированных пластиков;
- модификация поверхностно-активными веществами и наномодификаторами гибридных связующих (разработанных на кафедре технологии строительных материалов, изделий и конструкций КГАСУ и обладающих высокой теплостойкостью), как наиболее перспективных в плане создания тепло- и огнестойких армированных пластиков.

Главной целью создания наномодифицированных эпоксидных и гибридных связующих является создание композитов, сочетающих технологичность при изготовлении с высокой прочностью, модулем упругости, адгезией, химической стойкостью и повышенной теплостойкостью.

С учётом сложности введения и однородного распределения наночастиц в полимерных матрицах в качестве модифицирующих добавок для обоих типов связующих

выбраны системы, в которых наноразмерные частицы диспергированы в среде-носителе, совместимом с компонентами связующего в лабораторных условиях:

- твёрдые концентраты и суспензии многослойных углеродных нанотрубок;
- тонкодисперсные суспензии металл/углеродных модификаторов;
- коллоидные растворы оксидов кремния и алюминия.

Изучение процессов структурообразования, технологических и технических характеристик в наномодифицированных эпоксидных и гибридных связующих и оптимизация технологических режимов их изготовления позволит рекомендовать конкретные составы для получения одноосноориентированных армированных пластиков.

Следующим шагом станет определение эксплуатационных характеристик композитной арматуры на наномодифицированных эпоксидных и гибридных связующих. Для определения долговечности полученных материалов предлагается разработать лабораторный метод испытаний на долговечность. За основу метода будет принят принцип трансформации энергетических значений эксплуатационных факторов, ответственных за старение и разрушение композитной арматуры, в адекватные лабораторные режимы ускоренных испытаний.

Разработанный метод позволит решить две основные проблемы:

- 1) Выявить механизм старения и разрушения композитной арматуры в заданных условиях эксплуатации, что позволит, в свою очередь, оперативно скорректировать направления дальнейших исследований по оптимизации состава и структуры данного класса композитов по параметру долговечности;
- 2) Прогнозировать срок службы композитной арматуры в конструкциях.

Список литературы

1. Chambers R.E. Structural fiber-glass-reinforced plastics for building applications/Plastics in Buildings // Ed. By I. Skeist. – N.Y.: Reinhold Publ. Co., 1965. – P. 72-118.
2. Makowsky Z.S. Symbiosis of architecture and engineering in the development of structure users of plastics // Plastics in Material and Structural Engineering / Ed. By R.A. Bares et al. – N.Y.: Elsevier Scientific Publ. Co., 1982. – P. 59-72.
3. Aiello, M.A., Ombres L. Load deflection analysis of FRP reinforced concrete flexural members // J. Comp. Constr., ASCE, 2000, Vol.4, №0.4. – P. 164-171.
4. Bank L.C., Nadipelli M., Gentry T.R. Local buckling and failure of pultruded fiber-reinforced plastic beams // Journal of engineering materials and technology, 1994. – P. 116-233.
5. Abassi A., Hogg P.J. Fire testing of concrete beams with fibre reinforced plastic rebar // J. Composites. Part A: applied science and manufacturing, 2006, №37. – P. 1142-1150.
6. ASTM Designation: D 3916-94. Standart Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforce.
7. 440.3R-04: Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures.
8. 440.1R-06: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars.
9. 440.3R-12: Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures.
10. 440.5-08: Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars.
11. 440.6-08: Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement.
12. 440R-07: Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures].
13. CAN/CSA-S806-02 Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers.
14. CSA A23.3-04 Design of Concrete Structures, Includes Update № 1, 2005, Update № 2, 2007, Update № 3, 2009.
15. Fib Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures.
16. CNR-DT 203/2006 Guidelines for the design and construction of concrete structures reinforced composite reinforcement.

17. Recommendations for the design and construction of concrete structures reinforced composite materials, 1997. – Токио, Япония.
18. Мэттьюс Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
19. Степанова В.Ф., Красовская Г.М. Арматура неметаллическая композитная / Сборник технической информации «Наука – московскому строительству», 2008, № 2.
20. Патент на изобретение РФ № 2287646 от 20.11.2006 «Технологическая линия для изготовления композитной арматуры».
21. Патент на полезную модель РФ № 76659 от 27.09.2008 «Технологическая линия для изготовления композитной арматуры».
22. Патент на полезную модель РФ № 82247 от 20.04.2009 «Технологическая линия для изготовления композитной арматуры».
23. Патент на полезную модель РФ № 2417889 от 10.05.2011 «Технологические линии для изготовления композитной арматуры».
24. Блазнов А.Н., Волков В.Ф., Рудольф А.Я., Старцев О.В., Тихонов В.Б. Методы механических испытаний композиционных стержней: монография / под. ред. Блазнова А.Н., Савина В.Ф. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – 314 с.

Starovoitova I.A. – candidate of technical sciences

E-mail: irina-starovoitova@yandex.ru

Khozin V.G. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: khozin@kgasu.ru

Sulejmanov A.M. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: sulejmanov@kgasu.ru

Khalikova R.A. – post-graduate student

E-mail: r.i.z.i.d.a@mail.ru

Zykova E.S. – post-graduate student

E-mail: barblzka@mail.ru

Abdulkhakova A.A. – student

Murtazina A.I. – student

Khadeev E.P. – student

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Uniaxially oriented fiber reinforced plastics: analysis of the problems and prospects of development

Resume

At the present time there is a growth of volumes of production and consumption, as well as expanding the use of non-metallic reinforcement. It should be noted that abroad, non-metallic reinforcement are manufactured and widely used for more than 20 years in the United States, Germany, Canada, Japan, China and other countries in terms of reinforcing concrete structures, in which the reinforcement is exposed to intensive corrosion effect of corrosive media: support and decking of the bridge structures, road, land fortification, etc. Also very effective is the use of this material in the production of wall enclosing constructions and buildings, where stringent requirements for electrically insulating and anti-magnetic characteristics of constructions.

In the last 5-7 years the situation in Russia is increasing the use of non-metallic reinforcement in the construction of objects of various purpose, which is due to conduct of the scientific research and the growth of inventive activity in the field of researches of compounds, technologies and equipment for manufacturing of composite reinforcement, as well as a significant increase in the number of enterprises – manufacturers.

The paper provides the analysis of the modern state in the field of the production and use of non-metallic reinforcements for building structures. It presents data of patent research. The comparative analysis of characteristics of metal and composite reinforcement. Justified the choice of raw components for manufacture of non-metallic reinforcements and gives directions of experimental research.

Keywords: reinforced plastics, non-metallic reinforcements, polymer composite materials, patent research, nanomodifiers.

References

1. Chambers R.E. Structural fiber-glass-reinforced plastics for building applications/Plastics in Buildings // Ed. By I. Skeist. – N.Y.: Reinhold Publ. Co., 1965. – P. 72-118.
2. Makowsky Z.S. Symbiosis of architecture and engineering in the development of structure users of plastics // Plastics in Material and Structural Engineering / Ed. By R.A. Bares et al. – N.Y.: Elsevier Scientific Publ. Co., 1982. – P. 59-72.
3. Aiello, M.A., Ombres L. Load deflection analysis of FRP reinforced concrete flexural members // J. Comp. Constr., ASCE, 2000, Vol.4, №0.4. – P. 164-171.
4. Bank, L.C., Nadipelli M., Gentry T.R. Local buckling and failure of pultruded fiber-reinforced plastic beams // Journal of engineering materials and technology, 1994. – P. 116-233.
5. Abassi A., Hogg P.J. Fire testing of concrete beams with fibre reinforced plastic rebar // J. Composites. Part A: applied science and manufacturing, 2006, №37. – P. 1142-1150.
6. ASTM Designation: D 3916-94. Standart Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforce.
7. 440.3R-04: Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures.
8. 440.1R-06: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars.
9. 440.3R-12: Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures.
10. 440.5-08: Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars.
11. 440.6-08: Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement.
12. 440R-07: Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures].
13. CAN/CSA-S806-02 Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers.
14. CSA A23.3-04 Design of Concrete Structures, Includes Update № 1, 2005, Update № 2, 2007, Update № 3, 2009.
15. Fib Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures.
16. CNR-DT 203/2006 Guidelines for the design and construction of concrete structures reinforced composite reinforcement.
17. Recommendations for the design and construction of concrete structures reinforced composite materials, 1997. – Tokyo, Japan.
18. Matthews F.R. Rawlings Composite materials. Mechanics and technology. M.: Technosphere, 2004. – 408 p.
19. Stepanova V.F., Krasovskaya G.M. Non-metal composite reinforcements / Collection of technical information «Science-Moscow Construction», № 2, 2008.
20. Patent for the invention of the Russian Federation № 2287646 from 20.11.2006 «Production line for the manufacture of composite reinforcement».
21. Patent for the invention of the Russian Federation № 76659 from 27.09.2008 «Production line for the manufacture of composite reinforcement».
22. Patent for the invention of the Russian Federation № 82247 from 20.04.2009 «Production line for the manufacture of composite reinforcement».
23. Patent for the invention of the Russian Federation № 2417889 from 10.05.2011 «Production line for the manufacture of composite reinforcement».
24. Blaznov A.N., Volkov V.F., Rudolph A.Ya, Elders O.V., Tikhonov V.B. Methods for mechanical testing of composite rods: monograph / under. Ed. Blaznova A.N., Savin V.F. – Biysk Publishing House of the Alt. State. tech. University Press, 2011. – 314 p.