

УДК 691.175.3

**СТЕКЛОПЛАСТИКОВАЯ И УГЛЕПЛАСТИКОВАЯ АРМАТУРА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

*А.И. ГИЛЬ; канд. техн. наук Е.Н. БАДАЛОВА; канд. техн. наук Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон, а также сравнительно новая на строительном рынке арматура из стеклоармированного вторичного полиэтилентерефталата. Перечислены основные факторы, оказывающие влияние на физико-механические характеристики композитов. В ходе сравнительного анализа свойств композитных материалов с разным типом армирующего волокна выявлены преимущества и недостатки арматуры типа АСПЭТ по сравнению со стандартной стеклопластиковой арматурой. Приведены примеры применения композитной арматуры в строительных конструкциях зданий и сооружений, определены области наиболее эффективного использования различных типов композитов. Показаны перспективные направления применения композитной арматуры из стеклоармированного вторичного полиэтилентерефталата в армобетонных конструкциях, области дальнейших исследований её свойств и работы в армобетонных элементах.

Введение. В течение последних 15 лет композитные материалы стали коммерчески выгодными в качестве арматуры для изгибаемых бетонных конструкций. Сейчас каждый год в мире используется более 10 миллионов погонных метров такой арматуры. Начало применения современных композитных материалов – середина XX века. Такие композиты, особенно на основе углеродных волокон, нашли своё применение в авиакосмической промышленности как лёгкий материал с приемлемой прочностью и жёсткостью, который уменьшал вес элементов самолётов, например, камеры высокого давления и контейнеров. Позже материал нашёл широкое применение в автомобильной индустрии и строительстве [1 и др.]. Масштабное внедрение в строительную практику стало возможным в первую очередь за счёт ряда положительных свойств неметаллической арматуры: высокая термостойкость, коррозионная стойкость к воздействию агрессивных газовых и жидких сред, высокая прочность на растяжение, высокая усталостная прочность, диэлектрические свойства, радиопрозрачность и др.

В настоящее время в строительстве для армирования железобетонных конструкций применяется арматура из композитных материалов на основе углеродных, арамидных, полиэфирных, базальтовых и стекловолокон [2]. Эти виды материалов различаются по механическим характеристикам. Арамидные и стекловолоконные соответственно имеют прочность на растяжение 3200...3600 и 483...1600 МПа при модуле упругости 124...130 и 35...51 ГПа. Углеродные волокна имеют прочность на растяжение от 2200 до 7200 МПа при модуле упругости в диапазоне от 200 до 785 ГПа [3; 4].

Для армирования железобетонных конструкций среди композитных материалов наиболее часто используется арматура на основе базальтовых и стекловолокон. Ограничением к широкому применению этой арматуры является, в частности, низкий модуль упругости и необходимость предварительного напряжения. Модуль упругости арматуры из углеродных волокон близок по значению к модулю упругости стальной арматуры, при этом углеродные волокна обладают высокой прочностью на растяжение, а также рядом других положительных свойств, что делает их привлекательными в применении, несмотря на относительную дороговизну этого материала. Композитная арматура имеет и ряд недостатков: низкая огнестойкость, необходимость защиты от воздействия ультрафиолетового излучения, низкий модуль упругости (для стекловолокон) [5].

Современные композитные материалы на основе стеклянных и углеродных волокон: свойства, перспективы применения. Композитные материалы изготавливаются из непрерывных волокон, пропитанных полимерными смолами. Армирующие волокна составляют основу материала и определяют его прочность и жёсткость. Полимерная матрица, в свою очередь, необходима для выполнения следующих основных функций: связь волокон и защита поверхности от повреждений во время обработки, изготовления и эксплуатации; передача нагрузки на волокно. Немаловажно отметить, что матрица должна быть химически и термически совместима с волокнами, играя при этом существенную роль в напряженно-деформированном состоянии композита и его устойчивости к агрессивным средам. Тип полимерной матрицы также влияет на механизм разрушения материала [6].

На сегодняшний день наиболее распространённым в строительстве композитным материалом является **стеклопластиковая арматура (СПА)**. Стеклопластиковая арматура (рис. 1, а) представляет собой гетерогенную систему, состоящую из ориентированных стеклянных волокон и полимерного связующего.

Свойства стеклопластиковой арматуры зависят от свойств и особенностей структуры стеклянных волокон и полимерной матрицы, а также физико-химического взаимодействия этих компонентов, их со-

вместной работы в процессе восприятия внешних нагрузок, воздействия агрессивных реагентов, изменений температурно-влажностного режима и других факторов. Знание свойств исходных материалов позволяет управлять свойствами стеклопластиковой арматуры. Отмечается, что высокопрочное стеклянное волокно в стеклопластиковой арматуре почти полностью воспринимает воздействия растягивающих усилий, определяет деформативность арматуры, обуславливает изменение прочностных характеристик под влиянием внешних факторов. Поэтому свойства арматуры в основном определяются свойствами стеклянного волокна, а полимерное связующее выступает в роли клеящей среды, объединяющей отдельные волокна в монолитный стержень, обеспечивая тем самым их совместную работу и защиту волокон от внешних агрессивных воздействий, а также сцепление с бетоном в конструкциях [7]. Для всех типов стеклопластиковой арматуры относительное удлинение прямо пропорционально растягивающей нагрузке вплоть до разрушения. Это является причиной хрупкого разрушения железобетонных конструкций, армированных только стеклопластиковой арматурой. В [7] подтверждено, что прочность и модуль упругости при растяжении существенно зависят от диаметра стержня: чем меньше диаметр арматуры, тем выше её прочность и модуль упругости.

Стеклопластиковая арматура нашла своё практическое применение в конструкциях из лёгких бетонов, элементах фундаментов, электролизных ваннах, балках и ригелях эстакад, опорных конструкциях конденсаторных батарей, плитах крепления откосов. На территории СНГ функционируют несколько объектов из конструкций, армированных стеклопластиком, которые до сих пор не потеряли своих эксплуатационных качеств, например, маяк в Сочи, построенный около 40 лет назад. В 1975 году в Гродно и Солигорске сданы в эксплуатацию два опытных участка ЛЭП с траверсами из стеклопластбетона. На кислотной станции Светлогорского комбината искусственного волокна перекрытия над технологическими галереями выполнены из полимербетона со стеклопластиковой арматурой. Стоит отметить, что при обследовании объектов с применением СПА, построенных в качестве экспериментальных в период с 1975 по 1989 год, эффект предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры за время эксплуатации остался без изменений [8].

Практическое применение стеклопластиковой арматуры реализовано в Южной Америке, где было построено здание винного завода в Британской Колумбии (1998). В Канаде арматура из композитных материалов использовалась для строительства нескольких демонстрационных проектов автодорожных мостов. Во второй половине 90-х годов здесь сданы в эксплуатацию четыре автодорожных моста, при возведении которых была использована композитная арматура (мост в северной провинции Манитоба, мост через реку Сен-Франсуа и т. д.). Сегодня Канада занимает лидирующие позиции по применению арматуры из стеклопластика при строительстве мостового настила [5].

В настоящее время на строительном рынке Республики Беларусь можно встретить стеклопластиковую *арматуру тина АСПЭТ* (рис. 1, б), изготавливаемую из однонаправленно армированного вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) методом пултрузии.



а – образцы арматуры СПА; б – образцы арматуры АСПЭТ

Рисунок 1 – Стеклопластиковая арматура

Арматура из стеклоармированного вторичного полиэтилентерефталата является разновидностью композитной арматуры АСП, но в силу специфики применяемой матрицы отличается от СПА меньшей ценой и физико-механическими свойствами (сравнительный анализ свойств СПА, АСПЭТ и углепластиковой арматуры (УПА) представлен в таблице).

Арматура типа АСПЭТ по ГОСТ 12.1.044 относится к группе горючих материалов средней воспламеняемости. Производитель гарантирует, что физико-механические характеристики не изменяются в интервале температур от минус 40 до плюс 60 °С. Арматура при нормальных условиях не оказывает вредного влияния на организм человека, не токсична. Для производства АСПЭТ используют следующие материалы:

- стеклоровинг марки ЕС 13 2400Н-54С(400) (согласно ТУ ВУ 300059047.051-2003 Ровинг стеклянный) или иной марки, негорючий, обеспечивающий установленные показатели качества арматуры;

- полиэтилентерефталат вторичный (согласно ТУ ВУ 37391 633.001-2000 Сырьё полимерное вторичное), в который могут вводиться красители и модифицирующие добавки, горючий материал, температура воспламенения 390...400 °С.

Механические свойства композитной арматуры

Показатель	Углепластиковая арматура	Стеклопластиковая арматура типа СПА	Стеклопластиковая арматура типа АСПЭТ
Плотность г/см ³	1,5...1,6	1,25...2,1	1,7
Прочность на растяжение, МПа	2200...7200	483...1600	510
Модуль упругости, ГПа	200...785	35...51	27
Удлинение при разрыве, %	0,5...1,7	1,2...3,1	2,5

Потребительские свойства стеклопластиковой арматуры АСПЭТ (согласно ТУ ВУ691148143.002-2011 Арматура из стеклоармированного вторичного полиэтилентерефталата) обусловлены технологическими особенностями ее производства, в частности использованием термопластичного связующего полиэтилентерефталата (в том числе вторичного, что является актуальным вопросом на сегодняшний день). Это обстоятельство позволило добиться определенного снижения себестоимости получаемых изделий (их итоговая цена несколько ниже, чем цена на АСП и УПА). В отличие от АСП и УПА, стеклопластиковая арматура АСПЭТ может быть повторно переработана, так как в качестве связующего используется термопластичный полимер. При этом использование термопластичного ПЭТ в качестве связующего не позволяет добиться такой степени пропитки армирующего элемента, как при помощи термореактивных смол, используемых при изготовлении АСП и УПА. В итоге физико-механические свойства и прочностные характеристики АСПЭТ уступают аналогичным показателям других композитных материалов. Однако стоит отметить тот факт, что АСПЭТ обладает более хорошей гибкостью, нежели стандартная СПА, что позволяет использовать её вместо проволоки.

Анализ эксплуатационных характеристик и потребительских свойств стеклопластиковой арматуры АСПЭТ свидетельствует о том, что свойства данной арматуры изучены недостаточно и требуют дальнейших исследований в этой области.

Предполагается возможное использование АСПЭТ в следующих направлениях:

- гибкие связи трехслойных каменных стен зданий и сооружений гражданского и промышленного и сельскохозяйственного строительства, включающих несущий слой, облицовочный слой и слой жесткого утеплителя;

- армирование бетонных конструкций, эксплуатируемых в химически агрессивных средах (полы производственных цехов, животноводческие комплексы, химические производства и тому подобное);

- армирование изделий из бетонов без предварительного напряжения (дорожные и тротуарные плиты, заборные плиты, столбики и опоры; фасонные изделия для коллекторов, трубопроводных и коммунальных систем (теплоцентрали, кабельные каналы));

- армирование бетонных конструкций, эксплуатируемых в электромагнитно агрессивных средах (осветительные опоры, опоры ЛЭП и тому подобное);

- армирование бетонных конструкций инфраструктуры канализации, мелиорации и водоотведения;

- армирование фундаментов в малоэтажном строительстве;

- армирование при стяжке полов и облицовке стен.

Также стоит отметить, что в перспективе предполагается использование АСПЭТ в качестве предварительно напряженной арматуры с пологим отгибом в зоне среза изгибаемых армобетонных элементов, что потребует дальнейших исследований в этой области.

На сегодняшний день самым высокопрочным композитным материалом, но и самым дорогостоящим является *углепластик*. В последние годы возросло применение композитной арматуры на основе углеродных волокон для армирования железобетонных конструкций, в том числе и в качестве дополнительной арматуры при усилении. Композитные материалы на основе углеродных волокон (рис. 2) обладают высокой прочностью на растяжение при высоком модуле упругости, сопоставимым с модулем упругости стали. Свойства углеродных волокон зависят от типа исходного материала и степени его карбонизации.

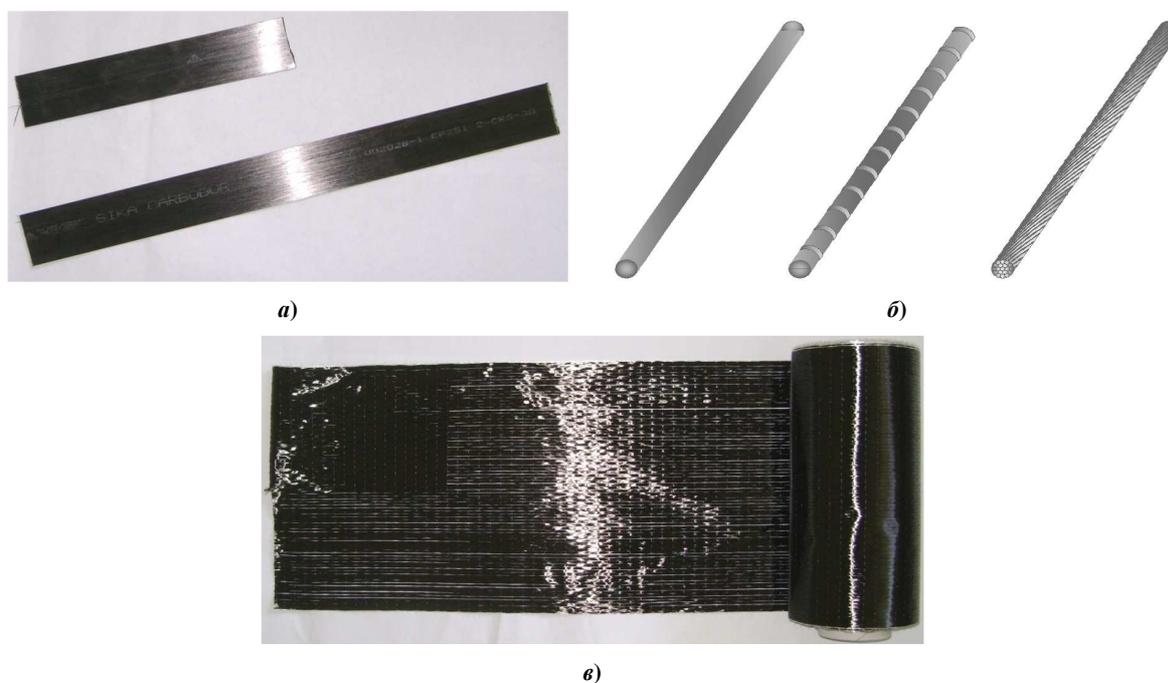
Впервые углеродные волокна на основе вискозных волокон были получены в 1958 году (Roger Bacon, США). Волокна содержали около 20% углерода и имели невысокие механические характеристики (прочность на растяжение 330...1030 МПа и модуль упругости 40 ГПа) [9].

В 50-х годах XIX столетия в СССР и несколько позже, в 1961 году, в Японии получили углеродные волокна на основе полиакрилонитрильных (ПАН) волокон с содержанием углерода около 55%. Физико-механические характеристики первых углеродных волокон на основе ПАН также были невысоки, но уже к 1970 году в результате совершенствования технологии были получены углеродные волокна на основе ПАН-волокон с пределом прочности на растяжение 2070 МПа и модулем упругости 480 ГПа.

Первые углеродные волокна на основе нефтяных пеков были произведены в 1970 году в Японии. Эти волокна содержали около 85% углерода и имели высокие прочностные свойства [9; 10]. На настоящий момент существует три основных типа углеродных волокон, производимых на основе целлюлозных, ПАН и пековых (из очищенной нефти или каменного угля) волокон.

Углеродные волокна получают термической обработкой исходных волокон. В зависимости от типа сырья отличаются режимы и условия термообработки. После изготовления исходных волокон их нагревают до температуры 200...300 °С на воздухе. Этот процесс называют окислением (например, для ПАН-волокон) или обработкой для придания неплавкости (для пековых волокон). В процессе окисления плотность исходных волокон увеличивается, повышается стойкость волокон к плавлению при нагревании. После окисления следуют стадии высокотемпературной обработки. Окисленные волокна нагревают в среде азота или (реже) аргона с повышением температуры до 800...1500 °С (карбонизация). Термическая обработка при 1500...3000 °С (графитизация) также проходит в инертной среде. Карбонизацию и графитизацию волокон производят под натяжением, что позволяет повысить механические свойства (прочность, модуль упругости) углеродных волокон. Процесс производства заканчивается поверхностной обработкой волокон, что улучшает их адгезионные свойства.

Арматуру из композитных материалов применяют в виде холстов, пластин (или полос), а также гладких и рифленых арматурных стержней, проволоки, канатов, прядей (рис. 2). Объединение отдельных стержней в сетки и каркасы осуществляется стальной проволокой, полипропиленовыми хомутами, с помощью пластиковых клипс.



a – пластина; *б* – стержневая и канатная арматура; *в* – холст

Рисунок 2 – Арматура из углеродных волокон

Основное назначение арматуры в виде стержней, проволоки, канатов, прядей – замена стальной арматуры в новых строительных конструкциях с целью предотвращения ее коррозии в агрессивных условиях эксплуатации. В то же время арматура из композитных материалов такого вида используется и в качестве дополнительной арматуры при усилении железобетонных конструкций. Известен метод усиления многослойных плит перекрытий установкой дополнительной продольной арматуры из композитных материалов (стекловолоконной арматуры) в пустоты [11].

Высокая коррозионная стойкость арматуры из углеродных волокон определяет область её использования в строительстве – в конструкциях, эксплуатирующихся в условиях агрессивной среды (в конструкциях зданий и сооружений химических предприятий, водоочистных сооружений, канализационных, мелиоративных систем и др.). Расход арматуры из углеродных волокон, обладающей высокой прочностью, ниже по сравнению с расходом стальной арматуры, а срок эксплуатации конструкций увеличивается. Широко применяется арматура из углеродных волокон в дорожном строительстве при возведении автомагистралей: процесс монтажа сеток и каркасов из данного вида арматуры занимает незначительное

время, не требует специальных приспособлений, небольшой собственный вес арматуры благоприятствует ее транспортировке в больших количествах. Благодаря высокой прочности на растяжение и высокой усталостной прочности арматура из углеродных волокон находит применение в мостостроении. Примерами использования стержневой и канатной арматуры из углеродных волокон в строительстве являются следующие сооружения: мост в Канаде, туннельная железная дорога под рекой Темза (Лондон), конструкции береговой линии реки Fasia, Перл-Харбор (Гавайи) [12].

Холсты и пластины из углеродных волокон широко используются в зарубежной практике для усиления железобетонных конструкций. Холсты представляют собой гибкую ткань, в которой волокна расположены в одном или двух направлениях. Соединение холста с усиливаемой конструкцией осуществляют путем его утапливания в нанесенный на поверхность конструкции полимерный клей – матрицу. В основном холсты применяют для усиления сжатых и сжато-изгибаемых конструкций колонн, стен, а также для усиления зоны среза изгибаемых конструкций и консолей. Однако их используют и для повышения прочности по нормальному к продольной оси сечению и жесткости изгибаемых конструкций [13; 14]. При изготовлении пластин углеродные волокна утапливают в заводских условиях в полимерную матрицу из смол: эпоксидной, полиэфирной, поливинилового, полиамидной или фенолформальдегидной [15]. Объемное содержание углеродных волокон в пластинах составляет 50...70%. Как и в холстах, в пластинах волокна могут располагаться в одном или в двух направлениях.

Впервые метод усиления железобетонных конструкций приклеиванием дополнительной арматуры в виде пластин из углеродных волокон был применен вне лаборатории в 1991 году для конструкций моста Ибах в Люцерне (Швейцария) [1]. С тех пор этот метод усиления был использован в мировой практике при разработке множества проектов по конструктивному ремонту и реконструкции и применен для строительных конструкций различных объектов. Из числа усиленных железобетонных конструкций, работающих на изгиб, можно привести следующие типичные примеры: балконные плиты многоэтажного жилого дома в г. Хемнитц (Германия); консольные балконные плиты в Лоано-Генова (Италия); ребристые плиты покрытия в здании больницы Кингз-Колледжа (Великобритания); ступени железобетонной лестницы в школе Ярборо, Линкольн (Великобритания); перекрытие городской больницы в г. Люблин (Польша); балка эстакады вдоль трассы им. Квятковского в Гдыни (Польша) [4]; ригели перекрытия здания Девятого арбитражного апелляционного суда и спортзала административного корпуса ОАО «ДСК-3» в Москве (Россия) [15].

Широкая область применения композитных материалов из углеродных волокон – усиление большепролетных несущих конструкций мостов, что объясняется возможностью применять пластины из углеродных волокон большой длины и возможностью проведения работ по реконструкции в короткие сроки с минимальной остановкой в движении транспорта. Примерами международного опыта усиления конструкций мостов системой предварительного напряжения Sika® StressHead являются: мост на автомагистрали А3 через канал Эшер (г. Гларус, Швейцария); мост Гюттен, Вертенштайн, (г. Люцерн, Швейцария); мост Санг Сан (г. Сеул, Корея); мост Клинтон & Хопкинс, Огайо (США); мост Рочдейл (Великобритания); путепровод на магистрали А7 (г. Зандейк, Голландия). Образцы усиления пластинами из углеродных волокон Sika®CarboDur – конструкции моста над рекой Вьяр в Перемышле (Польша), бетонные корабчатые секции над опорами моста на Дмитровском шоссе в Москве (Россия) [4].

Таким образом, арматура из углеродных волокон нашла широкое применение в зарубежной практике строительства. Благодаря ряду положительных свойств, таким как высокая прочность на растяжение при достаточно высоком модуле упругости, коррозионная стойкость, высокая усталостная прочность, небольшой собственный вес, простота монтажа и др., арматура из углеродных волокон выступает хорошей альтернативой стальной арматуре как в новом строительстве, так и для усиления конструкций ряда действующих объектов.

В Республике Беларусь система усиления конструкций композитными материалами используется сравнительно недавно. Однако уже имеется положительный опыт применения пластин из углеродных волокон Sika CarboDur для усиления несущих конструкций мостов (например, пролетного строения автодорожного моста через Неман на трассе М1 «Брест – граница Российской Федерации») и перекрытий ряда гражданских объектов (в том числе плит перекрытия торгового дома «Ждановичи», ригелей Дворца спорта и монолитного перекрытия ТРЦ «Александров Пассаж» в Минске) [4].

Заключение. На сегодняшний день арматура на основе стеклянных и углеродных волокон – один из перспективных материалов на строительном рынке. Однако широкому её применению препятствует ряд недостатков в сравнении с традиционной металлической арматурой железобетонных конструкций. Наиболее распространена стеклопластиковая арматура, которую всё больше используют в качестве рабочей арматуры строительных конструкций. Арматура из углеродных волокон в основном применяется для усиления конструкций действующих зданий и сооружений. Арматура АСПЭТ, несмотря на более низкие физико-механические характеристики, чем у других композитов на основе стеклянных и углеродных волокон, обладает рядом положительных качеств. Во-первых, АСПЭТ изготавливают с использованием вторичного полиэтилентерефталата, что делает такую арматуру экономически более выгодной по срав-

нению с остальными композитами. Во-вторых, имеет более высокую гибкость, чем стандартная СПА, что обеспечивает её использование вместо проволоки.

Дальнейшие исследования арматуры типа АСПЭТ позволят расширить область её применения в армобетонных конструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Motavalli, M. FRP composites for retrofitting of existing civil structures in Europe: state-of-the-art review / M. Motavalli, C. Czaderski [Electronic resource]. – American Composites Manufacturers Association, 2007. – Mode of access: <http://www.acmanet.org/resources/07papers/Motavalli183.pdf>. – Date of access: 23.01.2012.
2. Лешкевич, О.Н. Перспективы применения композитной арматуры / О.Н. Лешкевич // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Междунар. симп. (Минск, 9–11 нояб. 2011 г.): в 2 т. / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь; Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС»; редкол.: М.Ф. Марковский [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Т. 1: Бетонные и железобетонные конструкции. – С. 233–238.
3. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э.С. Зеленский [и др.] // Рос. хим. журнал (Журнал Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева). – 2001. – Т. XLV, № 2. – С. 56–74.
4. Информационные материалы фирмы Sika [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.sika.com.au>; <http://sika.ru>. – Дата доступа: 08.12.2011.
5. Теплова, Ж.С. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций / Ж.С. Теплова, С.С. Киски, Я.Н. Стрижакова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – М., 2014. – № 9(24). – С. 49–63.
6. Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. Technical report prepared by a working party of Task Group 9.3, FRP (Fibre Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures, 2007.
7. Фролов, Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции / Н.П. Фролов. – М.: Стройиздат, 1980. – 104 с.
8. Компания Алиен Технолоджис. История применения композитной арматуры // Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alientechnologies.ru/articles/0000.php>. – Дата доступа: 10.11.2015.
9. Litvinov, A. Applying carbon fiber in building structures: Bachelor's Thesis / A. Litvinov. – Saimaa University of Applied Sciences, 2010. – 62 p.
10. Каданцева, А.И. Углеродные волокна: учеб. пособие / А.И. Каданцева, В.А. Тверской. – М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2008. – 55 с.
11. Мальганов, А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: Атлас схем и чертежей / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. – 316 с.
12. Информационные материалы ЗАО «ХК Композит» [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: http://www.atomeks.ru/mediafiles/u/files/presentA2011/Rafailov_E.R.pdf. – Дата доступа: 11.11.2015.
13. Considerations about non linear static analysis of a reinforced concrete frame retrofitted with FRP / M. Savoia [et al.] // Mecánica Computacional. – 2010. – Vol. XXIX, № 11. – P. 10173–10182.
14. Rosenboom, O. Analytical modeling of flexural debonding in CFRP strengthened reinforced or prestressed concrete beams / O. Rosenboom, S. Rizkalla // FRPRCS-8. – Patras, Greece, 2007.
15. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин [и др.]. – М.: ОАО «Издательство “Стройиздат”», 2007. – 184 с.

Поступила 02.12.2015

GLASS FIBER AND CARBON FIBER REINFORCEMENT IN CONSTRUCTION: ADVANTAGES, DISADVANTAGES, PROSPECTS OF APPLICATION

A. HIL, E. BADALOVA, Y. LAZOUSKI

The article describes the characteristics of composite reinforcement based on glass and carbon fibers, as well as relatively new in the construction market of fiberglass reinforcement of secondary polyethylene terephthalate. List the main factors that affect the physical and mechanical properties of composites. In the comparative analysis of the properties of composite materials with different types of reinforcing fibers, found FRPPT advantages and disadvantages, compared to the standard FRP. Show examples of application of composite reinforcement in the building construction of buildings and structures identify areas to better use, most of the different types of composites. Presented promising areas of application of composite reinforcement in FRPPT reinforced concrete structures, areas of further studies of the properties of the reinforcement and its work in reinforced concrete elements.