

УДК 502/504 : 691.87 : 693.554-486

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Поступила 19.11.2015 г.

© **Г. Э. Окольников, С. В. Герасимов**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва

THE FUTURE TRENDS OF THE USE OF COMPOSITE REINFORCEMENT IN THE CONSTRUCTION

Received November 19, 2015

© **G. E. Okolnikova, S. V. Gerasimov**

Moscow State University of Mechanical Engineering, Moscow

В статье рассматриваются перспективы применения нового современного материала – композитной арматуры в строительстве, ее разновидности, история применения, преимущества и недостатки по сравнению с металлической арматурой, области рационального использования в композитобетонных конструкциях. Отмечается, что в железобетонных конструкциях повсеместно заменить стальную арматуру на композитную невозможно. Из-за существующего соотношения цен со стальной арматурой применение композитной целесообразно и эффективно только в случае необходимости использования ее свойств, которыми стальная арматура не обладает: химическая стойкость, радиопрозрачность, диэлектрические свойства. Отмечается, что для расширения области широкого применения композитной арматуры в строительстве необходимы: разработка стандартов, регламентирующих требования к качеству арматуры, ее механическим свойствам и методам контроля; разработка строительных норм, регламентирующих правила расчета и конструирования композитобетонных конструкций и устанавливающих требования к контролируемым параметрам в предельных состояниях; подготовка предложений по оценке характеристик периодического профиля арматуры; разработка типовых решений, обеспечивающих требуемый уровень огнестойкости композитобетонных конструкций; стандартизация пнугих изделий, разработка правил их приемки.

Ключевые слова: композитная арматура, стеклопластиковая арматура, базальтопластиковая арматура, углепластиковая арматура, неметаллическая арматура, химическая стойкость, радиопрозрачность.

Введение. Совершенствование свойств стальной арматуры достигло того уровня, развитие которого далее нецелесообразно по причине либо отсутствия необходимости в этом, либо теоретической возможности. Ее механические и технологические свойства, принимаемые по действующим стандартам, достаточны для решения подавляющего большинства задач при минимально возможной себестоимости ее применения в железобетоне. Однако существует определенный перечень задач, в которых экономически обоснованной альтернативой является композитная арматура, являющаяся диэлектриком,

The article discusses the prospects of a new modern material – composite reinforcement in construction, its variants, history of use, advantages and disadvantages compared with metal reinforcement, the field of rational use in composition in designs. It is noted that in reinforced concrete structures everywhere to replace the steel reinforcement for composite impossible. Because of the existing price ratio of steel reinforcement with the use of composite appropriate and effective only in case it is necessary to use its properties, which steel possesses: chemical resistance, transparent to radio waves, dielectric properties. It is noted that to increase the wide application of composite reinforcement in construction: development standards regulating requirements for the quality of reinforcement, mechanical properties, and methods of control; development of construction standards, regulating the rules of calculation and design of composition in designs and sets requirements for controlled parameters in the limiting conditions; preparation of proposals for evaluating the performance of a periodic profile of the armature; the development of standard solutions that ensure the required level of fire resistance composition in structures; standardization of roll-formed products, development of rules for their acceptance.

Keywords: composite reinforcement, fiberglass reinforcement, basalt fittings, carbon fiber fittings, non-metallic fittings, chemical resistance, radio transparency.

обладающая высокой химической стойкостью и радиопрозрачностью.

Композитная арматура – неметаллические стержни из стеклянных, базальтовых, углеродных или арамидных волокон, пропитанных термореактивным или термопластичным полимерным связующим и отвержденных (рис. 1). Из всего разнообразия композитной арматуры выделяют три типа: стеклопластиковую изготавливают из стеклянных волокон; базальтопластиковую – из базальтовых волокон; углепластиковая – из углеродных волокон. Благодаря своим физико-механическим характеристикам и техническим

преимуществам композитная арматура может являться альтернативой арматуре из металла, как обладающая сочетанием высокой прочности и коррозионной стойкости. Но композитная арматура в сравнении со стальной обладает рядом существенных недостатков: модуль упругости примерно в 3...4 раза ниже, чем у стальной (для базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры). Композитная арматура значительно снижает свои прочностные свойства при нагреве. У композитной арматуры отсутствует площадка текучести и разрушение при растяжении носит хрупкий характер. Так же невозможно изготовления гнутых арматурных изделий из арматуры в состоянии поставки. И композитная арматура имеет более высокую стоимость в отличие от традиционного материала.



Рис. 1. Композитная арматура

Благодаря своим физико-механическим характеристикам и техническим преимуществам композитная арматура может являться альтернативой арматуре из металла, как обладающая сочетанием высокой прочности и коррозионной стойкости. Но композитная арматура в сравнении со стальной обладает рядом существенных недостатков: модуль упругости примерно в 3...4 раза ниже, чем у стальной (для базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры). Композитная арматура значительно снижает свои прочностные свойства при нагреве. У композитной арматуры отсутствует площадка текучести и разрушение при растяжении носит хрупкий характер. Так же невозможно изготовления гнутых арматурных изделий из арматуры в состоянии поставки. И композитная арматура имеет более высокую стоимость в отличие от традиционного материала.

Разновидности композитной арматуры. Стеклопластиковая арматура (АСП) – композитная арматура, изготавливаемая из стекловолокна, придающего прочность, и термореактивных смол, выступающих в качестве связующего (рис. 2). Одними из преимуществ стеклопластиковой арматуры являются малый вес и высокая прочность.



Рис. 2. Стеклопластиковая арматура

Базальтопластиковая арматура (арматура базальтовая) – это неметаллический строительный материал, который производится из базальтопластиковых композитных материалов. Поверхность базальтопластиковой арматуры покрыта песочным напылением. Это сделано для лучшего сцепления прутьев со строительной основой (рис. 3). Песок дает возможность прочнее фиксировать арматуру, не позволяя ей «выскальзывать» из отверстий. Является наиболее распространенной. Основное достоинство – высокая коррозионная стойкость к агрессивным средам, в том числе к цементно-песчаному раствору.



Рис. 3. Композитная арматура, покрытая песочным напылением

Плотность стержней – 1,9 т/м³. Пластиковая арматура характеризуется высокой прочностью на разрыв, а ее модуль упругости равен 71 000 МПа (в отличие от стеклопластиковой арматуры, для которой этот показатель равен 55 000 МПа). Инертность к электричеству полностью исключает распространение блуждающих токов и накаливание статического напряжения. Незначительный вес армирующих стержней облегчает выполнение любых видов работ. Они безопасны для частного строительства, поскольку не выделяют вредоносных и токсичных веществ. Срок эксплуатации составляет 80 лет. Базальтовопластиковый каркас используется не только в частном, но и в промышленном строительстве. Он применяется

при устройстве шахт и элементов дорожного покрытия, подверженных агрессивному воздействию среды. К недостаткам арматуры относится сравнительно низкая жаростойкость – плавится уже при 200 °С.

Углепластиковая арматура – это материал из переплетенных нитей углеродного волокна. Они отличаются высокой плотностью до 2 000 кг/м³, жесткостью, легкостью и превосходят сталь по ряду параметров. Именно поэтому углепластиковая арматура интересна в качестве достойной альтернативы металлическим прутам. Она даже внешне похожа на стальную диаметром и ребристой поверхностью, но полностью заменить их она не может по ряду причин (таблица).

Сравнительные характеристики видов композитной арматуры

Технические характеристики	Арматура		
	Углепластиковая	Стеклопластиковая	Базальтопластиковая
Прочность на растяжение, МПа	2 000...3 000	1 000	1 200
Огнестойкость, °С	до 600	до 300	до 600
Плотность, кг/м ³	1 600	2 200	2 200
Устойчивость к коррозии	высокая	высокая	высокая
Упругость, ГПа	до 350	до 45	до 50
Теплопроводность, Вт/(м·С)	от 1,0	до 1,0	до 1,0

Композитная арматура из углепластика используется при изготовлении стоек под дорожные знаки, фонарных столбов, шпал для железных дорог, опор для мостов, аэродромных плит. Активно применяется в масштабном строительстве для изготовления монолитных конструкций, распорок, подвесов, укрепления дорожного полотна. В частном использовании при возведении кирпичного дома с помощью углепластика соединяют внутренние перегородки, облицовку с несущими стенами.

Обладает достаточной прочностью, чтобы выдерживать большие компрессионные нагрузки, можно делать менее густую армированную сетку или брать для этой цели прутья тоньше. В 10 раз легче металла, что облегчает и удешевляет перевозку. Для монтажа сетки и нарезки прутьев не нужна сварочная аппаратура, что упрощает сборку и позволяет экономить на оборудовании. Не реагирует со щелочью и не поддается коррозии. Хорошо переносит низкие температуры и не разрушается. Обладает долговечностью – служит до 75 лет.

История применения композитной арматуры. Исследования по созданию и изучению свойств высокопрочной неме-

таллической арматуры, определению областей ее применения были начаты в СССР в 60-х годах прошлого века. Была разработана непрерывная технология изготовления арматуры диаметром 6 мм из щелочестойкого стекловолокна малоциркониевого состава марки ШЦ-15ЖТ, подробно изучены физико-механические свойства. Особое внимание уделялось изучению химической стойкости и долговечности стеклянного волокна и арматуры на ее основе в бетоне и различных агрессивных средах. Установлено влияние на эти показатели различных замасливателей, покрывающих волокно.

Использование неметаллической арматуры в сочетании со специальными бетонами (полимерным, полимерсиликатным) повышает эффективность ее применения. В 70-х годах XX века неметаллическая арматура была применена 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, безызоляторных траверсах и других конструкциях.

В 1976 г. построены два подвижных склада в районах городов Рогачев и

Червень. Несущие наклонные элементы верхнего пояса арок армированы четырьмя предварительно напряженными стеклопластиковыми стержнями диаметром 6 мм. Стержни расположены в двух пазах сечением 10x18 мм, выбранных в нижней пластине элементов. Приопорные участки элементов (в коньковом и опорных узлах) усилены деревянными накладками из досок толщиной 20 мм. В 1969 г. ИСиА Госстроя БССР совместно с ГПИ «Сельэнергопроект» (г. Москва) разработаны и исследованы электроизолирующие траверсы для ЛЭП-10 кВ и ЛЭП-35 кВ. В 1970 г. в районе Костромы сдан в эксплуатацию опытный участок ЛЭП-10 кВ со стеклопластбетонными траверсами.

В 1972 г. в районе Ставрополя сдан в эксплуатацию опытный участок ЛЭП-35 кВ с электроизолирующими стеклопластбетонными траверсами. Конструкция траверса состояла из трех предварительно напряженных стеклопластбетонных элементов (лучей), соединенных болтами на стальной пластине, которая хомутами закреплялась на вершине железобетонной опоры.

В 1975 г. в Гродно и Солигорске сданы в эксплуатацию два опытных участка ЛЭП-10 кВ с траверсами из стеклопластбетона. Конструкция траверсы сборная, трехлучевая, состоит из двух прямолинейных предварительно напряженных стеклопластбетонных элементов: горизонтального, на котором расположены два провода, и вертикального на вершине которого крепится третий провод. Сборная траверса основанием вертикального элемента присоединена к железобетонной опоре ЛЭП с применением стальных хомутов. Траверсы изготовлены из электроизолирующего бетона, арматура – четыре стержня диаметром 6 мм в каждом элементе.

На Усть-Каменогорском комбинате цветной металлургии освоено производство предварительно напряженных электролизных ванн из ФАМ полимербетона, армированного стеклопластиковыми стержнями диаметром 6 мм. Размерами ванны в плане 1080x2300 мм, высота 1650 мм, толщина стенки 100 мм. Стенки и днище армированы двойной симметричной арматурой с шагами стержней 200 мм. Экономический эффект в расчете на одну ванну без учета затрат, связанных с остановкой производства при замене железобетонных ванн, составил 1015, 5 руб.

В 1975 г. по проекту кафедры «Мосты и тоннели» Хабаровского политехнического института закончено строительство первого в мире клееного деревянного моста длиной 9 м, балки которого споперечным сечением 20x60 см изготовлены из древесины ели 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. Балки объединены монолитной железобетонной плитой проезжей части. Пролетное строение имеет длину 12 м, габариты проезжей части и тротуаров – Г8 + 2x1 м, расчетные нагрузки Н-30, НК-80.

В Хабаровском крае мост с применением стеклопластиковой арматуры построен в 1989 г. В поперечном сечении пролетного строения длиной 15 м установлено 5 ребристых без уширения в нижней зоне балок. Армирование балок пролетного строения моста было принято комбинированным: создание начальные напряжений в них осуществлялось четырьмя пучками по 24 стеклопластиковых стержня диаметром 6 мм в каждом и одним типовым пучком из стальных проволок. Армирование балок не напрягаемой арматурой классов А-I и А-II было оставлено без изменений.

В Германии в начале 80-х годов стеклопластиковую арматуру стали применять для армирования бетонных мостов. В г. Дюссельдорф построен мост для пешеходного движения. Автодорожный мост на Уленбергштрассей, армированный стеклопластиковыми стержнями, открыт для движения в 1987 г. Максимальная неподвижная нагрузка для транспорта составляет 600 кН.

В 1986 и 1988 гг. в Японии построены мосты, в конструкции которых применена напрягаемая углепластиковая арматура. Положено начало использованию неметаллической арматуры в конструкциях морских портом сооружений [1].

Перспективы применения неметаллической арматуры. Интерес к

неметаллической арматуре возник в середине XX столетия в связи с рядом обстоятельств. Расширилось применение армированных бетонных конструкций в ответственных сооружениях, эксплуатируемых в сильно агрессивных средах, где трудно было обеспечить коррозионную стойкость стальной арматуры. Возникла необходимость обеспечения антимагнитных и диэлектрических свойств некоторых изделий и сооружений. И, наконец, надо было учитывать ограниченность запаса руд, пригодных для производства стали и всегда дефицитных легирующих присадок.

Практическое решение возникшей проблемы стало возможным благодаря ускоренному развитию химической промышленности. В ряде технически развитых стран (Германия, Нидерланды, СССР, Япония, США и др.) были начаты соответствующие научные исследования.

В последние годы в России начали больше внимания уделять изучению неметаллической арматуры из базальтового волокна, производство которого менее трудоемко, а сырье вполне доступно. Можно констатировать, что в нашей стране разработаны основные исходные данные для промышленного выпуска стеклопластиковой арматуры диаметром 6...8 мм, проектирования и изготовления различных предварительно напряженных конструкций с такой арматурой, намечены области их применения.

В Германии разработана и подробно изучена стеклопластиковая арматура диаметром 7,5 мм из алюмоборосиликатного стекловолокна и полиэфирной смолы под названием «полисталь». Испытания на статические, динамические и длительные нагрузки позволили установить следующие исходные характеристики этой арматуры: кратковременная прочность на растяжение 1650 МПа; модуль упругости 51000 МПа; удлинение при разрыве 3,3 %; долговременная прочность 1100 МПа; потери напряжения от релаксации 3,2 %; перепад напряжений при $2 \cdot 10^6$ циклах нагружений 55 МПа; коэффициент температурного расширения $7 \cdot 10^{-6}$.

После испытания опытных балок были разработаны основные положения по расчету и конструированию ответственных инженерных сооружений. За последние годы было возведено десять одно-, двух- и трехпролетных автодорожных и пеше-

ходных мостов с арматурой «полисталь». Пролетные строения мостов, достигавшие 25 м, армировались пучками из стеклопластиковых стержней диаметром 7,5 мм с натяжением на бетон. На стержни наносилось защитное полиамидное покрытие толщиной 0,5 мм. Число стержней в пучке составило 19 шт., рабочее усилие натяжения пучка – 600 кН.

Особое внимание разработке проблемы создания и применения высокопрочной неметаллической арматуры уделяется в Японии. Освоено производство фибропластиковой арматуры на базе углеродных и арамидных волокон, исследованы их физико-механические свойства. Проволока и канаты изготавливаются из углеродного волокна диаметром 7 мкм с пределом прочности 3600 МПа. Проволока собирается из 12 тыс. волокон, соединяемых между собой пластиком. Из проволоки свиваются канаты различной несущей способности, подвергаемые после свивки термической обработке.

Разработан перспективный сортамент арматуры, в который входят проволока, а также 7-, 9- и 37-про-волочные канаты с усилием от 10 до 100 кН. Например, установлены характеристики 7-проволочных угле-пластиковых канатов: временное сопротивление составило 1750 МПа; модуль упругости – 140 000 МПа; удлинение при разрыве – 1,6 %; плотность – 1,5 т/м³; релаксация напряжений – 2,5 %; теплостойкость – 200 °С; высокие кислото- и щелочестойкость.

Разработана арматура из арамидных волокон диаметром от 3 до 16 мм с разрывным усилием $8 \cdot 250$ кН. Стержни получают путем сплетения жгутов из непрерывных волокон с последующей пропиткой пластиком и тепловой обработкой. Предельное удлинение арматуры при разрыве составило 2 %, модуль упругости – 66 000 МПа. Следует отметить, что эта арматура малых диаметров (до 5 мм) пригодна для поперечного спирального армирования конструкций.

В Японии проведен значительный комплекс исследований опытных балочных конструкций с различными видами неметаллической арматуры, возведены автомобильные и пешеходные мосты небольших пролетов. Ведутся активные исследования возможности применения углепластиковой арматуры в различных областях строительства. Так, высокопрочные

ленты различного поперечного сечения из углепластика начали использовать для усиления железобетонных конструкций в эксплуатируемых ответственных сооружениях.

В настоящее время наиболее перспективным направлением улучшения теплозащитных характеристик наружных стен является переход на многослойные ограждающие конструкции с эффективным и легким утеплителем. Применение таких конструкций дает возможность повысить до требуемых величин сопротивление теплопередаче без увеличения их толщины. Однако некоторую сложность представляет соединение наружного и внутреннего слоев стеновых конструкций через средний слой утеплителя. Один из возможных вариантов – применение в качестве гибких связей стеклопластиковой арматуры. Высказываются сомнения в долговечности этих изделий. Исследовалась долговечность стержней. По замерам средний диаметр испытываемых образцов в рабочей зоне составлял 7,09 мм. Для изготовления стержней использованы алюмосиликатные стеклянные волокна, пропитанные связующим на отверждаемых эпоксидных смолах марок ЭД-20 или ЭД-22 [2].

Стеклопластиковая арматура занимает все более прочные позиции в современном дорожном строительстве. Это обусловлено, с одной стороны, ее высокой удельной прочностью (отношением прочности к удельной массе), с другой стороны, высокой коррозионной стойкостью, морозостойкостью, низкой теплопроводностью.

Конструкции, где используется стеклопластиковая арматура, неэлектропроводны, что очень важно для исключения блуждающих токов и электроосмоса. В связи с более высокой стоимостью по сравнению со стальной арматурой, стеклопластиковая арматура используется, главным образом, в ответственных конструкциях, к которым предъявляются особые требования. К таким конструкциям относятся морские сооружения, особенно те их части, которые находятся в зоне переменного уровня воды.

Химическое действие морской воды обусловлено, главным образом, присутствием сернистого магния, который вызывает два вида коррозии бетона – магниезальную и сульфатную. В последнем случае в бетоне образуется

комплексная соль (гидросульфоалюминат кальция), увеличивающаяся в объеме и вызывающая растрескивание бетона.

Другим сильным фактором коррозии является углекислота, которую выделяют органические вещества при разложении. В присутствии углекислоты нерастворимые соединения, обуславливающие прочность, переходят в хорошо растворимый бикарбонат кальция, вымываемый из бетона.

Морская вода действует наиболее сильно на бетон, находящийся непосредственно над верхним уровнем воды. При испарении воды в порах бетона остается твердый остаток, образующийся из растворенных солей. Постоянное поступление воды в бетон и последующее ее испарение с открытых поверхностей приводит к накоплению и росту кристаллов соли в порах бетона. Этот процесс сопровождается расширением и растрескиванием бетона. Кроме солей надводный бетон испытывает на себе действие попеременного замораживания и оттаивания, а также увлажнения и высыхания.

В зоне переменного уровня воды бетон разрушается в несколько меньшей степени, из-за отсутствия солевой коррозии. Подводная часть бетона, не подвергающаяся циклическому действию указанных факторов, разрушается редко.

Возможность изготовления долговечных свай для морских сооружений заложена в применении поверхностного стеклопластикового армирования. Такие конструкции по коррозионной стойкости и морозостойкости не уступают конструкциям, выполненным полностью из полимерных материалов, а по прочности, жесткости и устойчивости их превосходят [3].

Долговечность конструкций с внешним стеклопластиковым армированием определяется коррозионной стойкостью стеклопластика. Благодаря герметичности стеклопластиковой оболочки бетон не подвергается воздействию среды и поэтому его состав может подбираться только исходя из требуемой прочности.

К бетонным элементам, где используется стеклопластиковая арматура, в основном применимы принципы проектирования железобетонных конструкций. Аналогична и классификация по видам применяемой стеклопластиковой арматуры. Армирование может быть

внутренним, внешним и комбинированным, представляющим собой сочетание первых двух.

Внутреннее неметаллическое армирование применяется в конструкциях, эксплуатируемых в средах, агрессивных к стальной арматуре, но не агрессивных по отношению к бетону. Внутреннее армирование можно разделить на дискретное, дисперсное и смешанное. К дискретному армированию относятся отдельные стержни, плоские и пространственные каркасы, сетки. Возможна комбинация, например, отдельных стержней и сеток и др.

Наиболее простым видом стеклопластиковой арматуры являются стержни нужной длины, которые применяются взамен стальных. Не уступая стали по прочности, стеклопластиковые стержни значительно превосходят их по коррозионной стойкости и поэтому используются в конструкциях, в которых существует опасность коррозии арматуры. Скреплять стеклопластиковые стержни в каркасы можно с помощью самозащелкивающихся пластмассовых элементов или связыванием.

Дисперсное армирование заключается во введении в бетонную смесь при перемешивании рубленных волокон (фибр), которые в бетоне распределяются хаотично. Специальными мерами можно добиться направленного расположения волокон. Бетон с дисперсным армированием обычно называют фибробетоном.

В случае агрессивности среды к бетону эффективной защитой является внешнее армирование. При этом внешняя листовая арматура может выполнять одновременно три функции: силовую, защитную и функцию опалубки при бетонировании.

Если внешнего армирования недостаточно для восприятия механических нагрузок, применяется дополнительная внутренняя арматура, которая может быть как стеклопластиковой, так и металлической. Внешнее армирование разделяется на сплошное и дискретное. Сплошное представляет собой листовую конструкцию, полностью покрывающую поверхность бетона, дискретное – элементы сетчатого типа или отдельные полосы. Наиболее часто осуществляется одностороннее армирование растянутой грани балки или поверхности плиты. При одностороннем поверхностном армировании балок целесообразно завести отгибы листа арматуры на боковые

грани, что повышает трещиностойкость конструкции. Внешнее армирование может устраиваться как по всей длине или поверхности несущего элемента, так и в отдельных, наиболее напряженных участках. Последнее делают только в тех случаях, когда не требуется защита бетона от воздействия агрессивной среды.

Основная идея конструкций с внешним армированием состоит в том, что герметичная стеклопластиковая оболочка, надежно защищает бетонный элемент от воздействий внешней среды и, одновременно, выполняет функции арматуры, воспринимая механические нагрузки.

Возможны два пути получения бетонных конструкций в стеклопластиковых оболочках. Первый включает изготовление бетонных элементов, их сушку, а затем заключение в стеклопластиковую оболочку, путем многослойной обмотки стеклопластиком (стеклотканью, стеклолентой) с послойной пропиткой смолой. После полимеризации связующего обмотка превращается в сплошную стеклопластиковую оболочку, а весь элемент – в трубобетонную конструкцию. Второй основан на предварительном изготовлении стеклопластиковой оболочки и последующем заполнении ее бетонной смесью.

Первый путь получения конструкций, где используется стеклопластиковая арматура, дает возможность создания предварительного поперечного обжатия бетона, что существенно повышает прочность и снижает деформативность получаемого элемента. Это обстоятельство особенно важно, так как деформативность трубобетонных конструкций не позволяет в полной мере воспользоваться значительным увеличением прочности. Предварительное поперечное обжатие бетона создается не только натяжением стеклонитей (хотя в количественном отношении оно составляет основную часть усилия), но и за счет усадки связующего в процессе полимеризации.

Стойкость стеклопластиков к воздействию агрессивных сред в основном зависит от вида полимерного связующего и волокна. При внутреннем армировании бетонных элементов стойкость стеклопластиковой арматуры должна оцениваться не только по отношению к внешней среде, но и по отношению к жидкой фазе в бетоне, так как твердеющий бетон является

щелочной средой, в которой обычно применяемое алюмоборосиликатное волокно разрушается. В этом случае должна быть обеспечена защита волокон слоем смолы или использованы волокна другого состава. В случае неувлажняемых бетонных конструкций коррозии стекловолокна не наблюдается. В увлажняемых конструкциях щелочность бетонной среды можно существенно понизить, используя цементы с активными минеральными добавками.

Испытания показали, что стеклопластиковая арматура имеет стойкость в кислой среде более чем в 10 раз, а в растворах солей более чем в 5 раз выше стойкости стальной арматуры [4]. Наиболее агрессивной для стеклопластиковой арматуры является щелочная среда. Снижение прочности стеклопластиковой арматуры в щелочной среде происходит в результате проникновения жидкой фазы к стекловолокну через открытые дефекты в связующем, а также посредством диффузии через связующее. Следует отметить, что номенклатура исходных веществ и современные технологии получения полимерных материалов позволяют в широких пределах регулировать свойства связующего для стеклопластиковой арматуры и получать составы с чрезвычайно низкой проницаемостью, а следовательно свести к минимуму коррозию волокна.

Традиционные способы усиления и восстановления железобетонных конструкций достаточно трудоемки и часто требуют продолжительной остановки производства. В случае агрессивной среды после ремонта требуется создать защиту сооружения от коррозии. Высокая технологичность, малые сроки твердения полимерного связующего, высокая прочность и коррозионная стойкость внешнего стеклопластикового армирования предопределили целесообразность его использования для усиления и восстановления несущих элементов сооружений. Применяемые для этих целей способы зависят от конструктивных особенностей ремонтируемых элементов.

Заключение

В железобетонных конструкциях повсеместно заменить стальную арматуру на композитную невозможно. Из-за существующего соотношения цен со стальной арматурой применение композитной целесообразно и эффективно только в случае необходимости использования ее свойств, которыми стальная арматура не

обладает. В первую очередь речь идет о химической стойкости, радиопрозрачности и диэлектрических свойствах.

Для расширения области широкого применения композитной арматуры в строительстве необходимо выполнить следующие мероприятия:

разработка стандартов, регламентирующих требования к качеству арматуры, ее механическим свойствам и методам контроля;

разработка строительных норм, регламентирующих правила расчета и конструирования композитобетонных конструкций и устанавливающих требования к контролируемым параметрам в предельных состояниях;

подготовка предложений по оценке характеристик периодического профиля арматуры;

разработка типовых решений, обеспечивающих требуемый уровень огнестойкости композитобетонных конструкций;

стандартизация гнутых изделий, разработка правил их приемки.

До реализации данных мероприятий выполнять проектирование композитобетонных конструкций возможно только с использованием зарубежных норм проектирования и исключительно под арматуру конкретного производителя.

Библиографический список

1. Опыт использования композитных полимерных материалов в мостостроении / под ред. Ю.М. Митрофанова // Мостостроение мира. – 2000. – № 2. – С. 3–48.
2. Фролов Н. П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1980. – 104 с.
3. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
4. О химической стойкости стеклопластиковой арматуры / А. Н. Блазнов, Ю. П. Волков, А. Н. Луговой, В. Ф. Савин. – 2003. – № 3(15). – С. 34–37.

Сведения об авторах

Окольникова Галина Эриковна, кандидат технических наук (e-mail: okolnikova_ge@mail.ru)

Герасимов Сергей Валериевич, студент

Information about the authors

Okolnikova Galina Erikovna, candidate of technical sciences (e-mail: okolnikova_ge@mail.ru)

Gerasimov Sergey Valerievich, student