

ПОЛИМЕРНАЯ КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Современная полимерная композитная арматура (далее – композитная арматура) является технологичной и достаточно массовой продукцией. При ее изготовлении используются различные армирующие волокна, в основном – стеклянные, базальтовые, углеродные и арамидные.

Физико-механические свойства этой арматуры в сравнении со стальной арматурой имеют ряд преимуществ, основные из которых – более высокая прочность на растяжение, коррозионная стойкость и меньший вес. При этом композитная арматура имеет пониженный модуль упругости и иные характеристики взаимодействия с бетоном. Параметры ее работы при длительном нагружении, под воздействием изменений температуры и ряда других факторов также имеют существенные отличия от параметров стальной арматуры.

Применение композитной арматуры в конструкциях из бетона получает все более широкое распространение в мировой строительной практике. Значительное количество реализованных проектов относятся к области мостостроения.

В нашей стране применение конструкций из бетона с композитной арматурой серьезно сдерживается. Основная причина заключается в отсутствии достаточно эффективной нормированной методики расчета этих конструкций по предельным состояниям. Сложность разработки такой методики связана, в первую очередь, со специфическими физико-механическими свойствами композитной арматуры, что не позволяет применять при расчетах положения, отработанные для железобетонных конструкций. Требуемая для нужд проектирования система расчетных и нормативных характеристик для различных видов композитной арматуры в достаточной мере не сформирована. Например, отсутствует разделение этой арматуры на классы, как это сделано для стальной арматуры.

В марте 2014 года при Государственной компании «Автодор» создана Рабочая группа по применению композитной арматуры при строительстве

автомобильных дорог и мостов. В состав Рабочей группы вошли представители: Государственной компании «Автодор»; Росавтодора; ООО «Автодор-Инжиниринг»; Союза производителей композитных материалов»; компаний-производители арматуры; научно-исследовательских организаций, специализирующихся в данной области (ООО «Сервис-МОСТ», ФБГОУ МГСУ, ОАО ЦНИИС, НИИЖБ); ряда ведущих проектных и подрядных организаций – всего более 30 организаций.

В январе 2015 года утверждена Программа деятельности Рабочей группы, основой которой является план исследований и разработок, необходимых для всестороннего обоснования применения композитной арматуры в дорожно-мостовом строительстве. Планом предусмотрены разработка и применение конструкций из бетона с композитной арматурой в две стадии. На первой стадии предполагаются разработки по конструкциям, работающим в условиях невысокой интенсивности нагружения (малонагруженные конструкции). На этой стадии рассматривается возможность применения только ненапрягаемой композитной арматуры. Более нагруженные конструкции отнесены ко второй стадии работ.

Такая стадийность проработок принята с целью сокращения сроков применения на практике результатов исследований, а также позволяет накапливать и анализировать опыт эксплуатации этих конструкций в реальных условиях. При этом учтено, что для малонагруженных конструкций не столь существенны высокая цикличность нагружения, неблагоприятное влияние постоянного действия в арматуре высокого уровня напряжений и некоторые другие факторы.

В основу исследовательской части Программы положены комплексные теоре-

тико-экспериментальные исследования, которые призваны создать системную базу для разработки методики расчета конструкций из бетона с композитной арматурой по предельным состояниям, в том числе с учетом особенностей объектов транспортного строительства.

Работы в соответствии с Программой начаты, некоторые из них уже выполнены. Основной объем выполненных работ касается малонагруженных конструкций. В то же время проводимые расчетно-теоретические исследования сформулированы в более общей постановке и направлены на получение расчетного инструмента, применимого и для других категорий мостовых и иных строительных конструкций с композитной арматурой.

Выполнен анализ армированных конструкций из бетона, применяемых на объектах Государственной компании «Автодор». Выделены конструкции, которые могут быть отнесены к малонагруженным. Все они имеют общие признаки. Малый уровень нагружения обуславливает небольшой уровень армирования (конструкции являются малоармированными) и применение арматурных стержней небольших диаметров. Содержание арматуры, как правило, не превышает 1% от объема бетона конструкции. Основные диаметры применяемой рабочей арматуры – до 10–12 мм.

Из этих конструкций сформированы две группы (табл. 1). Конструкции, которые рассматриваются, как наиболее пригодные для первоочередного опытного применения, отнесены к группе 1. К группе 2 отнесены конструкции, применение которых целесообразно во вторую очередь, на основе опыта применения конструкций группы 1. Критерии распределения конструкций между группами связаны с объемом и характером данных, получаемых в процессе разработки положений их расчета и технических решений, а также с возможностью распространения этих данных на другие конструкции. Также учтены возможности ведения

Группа	Назначение	Виды конструкций
1	Конструкции для первоочередного опытного применения	– карнизные блоки мостов; – плиты укрепления конусов и откосов; – конструкции лестничных сходов; – откосные стенки водопропускных труб
2	Конструкции для опытного применения с учетом результатов применения конструкций группы 1	– упорный брус крепления откосов; – фундаменты мелкого заложения отдельных конструкций мостов, шумозащитных экранов и т. п.; – звенья круглых водопропускных труб

Табл. 1

мониторинга технического состояния конструкций и степень их ремонтпригодности (вплоть до полной замены). В ходе дальнейших работ перечень конструкций может быть дополнен, а их распределение между группами скорректировано.

Следует отметить, что конструкции с так называемым минимальным процентом армирования здесь не представлены. Они имеют существенные особенности работы и будут рассматриваться как отдельная группа.

В настоящее время активно ведутся проработки расчетно-теоретической направленности. Необходимость создания расчетного инструмента для конструкций с композитной арматурой связана с тем, что имеющиеся методы расчета армированных конструкций из бетона разрабатывались применительно к железобетону (то есть для стальной арматуры). Для армирования бетона композитной арматурой они не дают ответов на наиболее важные вопросы расчета (например, какие напряжения в арма-

туре следует принимать в расчете на прочность).

В железобетоне все эти вопросы достаточно хорошо изучены. Критерии реализации предела текучести стальной арматуры заложены в действующие нормы проектирования. Для композитной арматуры, с ее специфическими физико-механическими свойствами (в особенности по модулю упругости, сопротивлению разрыву и параметрам сцепления), назначение величины напряжений в арматуре при проектировании должно быть подтверждено прочностным расчетом конструкции.

Существуют аналитические способы оценки величины напряжений в арматуре при изгибе на основе анализа равновесия нормального сечения в предельном состоянии и совместности деформаций растянутой арматуры с бетоном в этом сечении (то есть при условном максимально высоком сцеплении). Достоинство полученных таким путем зависимостей заключается в возможности оценки степени влияния наиболее существенных факторов.

Однако реальные параметры сцепления арматуры с бетоном имеют иной характер и величину, поэтому такие аналитические оценки напряжений по предельному состоянию сечения являются весьма приближенными, причем не в запас прочности.

В настоящее время можно констатировать значительное разнообразие физико-механических характеристик композитной арматуры и параметров ее взаимодействия с бетоном. Поэтому исследовательская методика расчета конструкций с этой арматурой должна позволять варьировать указанные характеристики в достаточно широком диапазоне значений. Это предполагает более сложный анализ работы конструкции и ее расчетных сечений, чем упрощенное рассмотрение совместности деформаций арматуры и бетона только в предельном состоянии. Для решения данной задачи целесообразно использовать современные расчетные модели и численные разрешающие методы.

Такую расчетную методику в настоящее время по инициативе ООО «Автомобильный инжиниринг» разрабатывает ООО «Сервис-МОСТ» при участии специалистов МАДИ. Расчетная модель предназначена для расчета изгибаемых конструкций. Она позволяет учитывать нелинейные свойства материалов: бетона и арматуры. Обеспечена возможность варьирования уровня сцепления арматуры с бетоном. Принят деформационный критерий разрушения нормальных сечений (то есть достижение бетоном или арматурой предельных относительных деформаций). Расчеты выполняются на основе современных программных средств, реализующих метод конечных элементов. Нагрузка к модели прикладывается ступенями, при этом контролируются развитие расчетной трещины в бетоне и увеличение напряжений в арматуре – вплоть до разрушения.

В настоящее время основной объем расчетов выполнен для малоармированных конструкций с композитной арматурой. Кроме того, выполнен ряд сравнительных расчетов прочности конструкций со стальной и композитной арматурой, а также конструкций с различным уровнем армирования композитной арматурой.

Вид арматуры		Напряжения в арматуре, которые по результатам расчетов достигаются при разрушении малоармированного изгибаемого элемента прямоугольного сечения (класс бетона по прочности на сжатие – В30, процент армирования расчетного сечения арматурой, расположенной вблизи растянутой фибры – 0,5%), МПа		
Композитная арматура, (модуль упругости – 50000 МПа)		Уровень сцепления арматуры с бетоном		
		Высокий 450–650	Средний 300–450	Низкий 200–300
Стальная арматура	A300	реализуется предел текучести – 295		
	A400	реализуется предел текучести – 390		

Табл. 2

Расчеты показывают, что качество сцепления композитной арматуры с бетоном оказывает значительно более существенное влияние на прочность изгибаемых конструкций, чем при армировании стальной арматурой. В малоармированных конструкциях оказывается возможным в значительной мере реализовывать высокие прочностные характеристики композитной арматуры (табл. 2). В таких конструкциях при высоких уровнях сцепления с бетоном напряжения в композитной арматуре в процессе разрушения могут значительно превышать уровень предела текучести в стальной арматуре (А300, А400 и др.). Однако при невысоких уровнях сцепления напряжения в композитной арматуре при разрушении оказываются значительно ниже, чем в стальной. Следовательно, прочность конструкции с композитной арматурой будет существенно меньше прочности аналогично армированной железобетонной.

Таким образом, при определенных условиях малоармированные конструкции из бетона с композитной арматурой вполне конкурентоспособны с железобетонными по расходу арматуры. Выбор данной категории конструкций в качестве объекта для применения композитной арма-

туры является весьма перспективным с точки зрения вопросов прочности.

Результаты расчетов также ставят вопрос о целесообразности нормирования не только прочностных характеристик сцепления композитной арматуры с бетоном, но и его деформативных характеристик (то есть уровня податливости арматуры при ее вытягивании из бетона). Эти параметры не регламентируются действующим ГОСТ на композитную арматуру.

С учетом результатов проведенных расчетов по некоторым малоармированным конструкциям из группы 1 (см. табл. 1) выполнены пробные проектные проработки, которые, с учетом проведенного анализа железобетонных конструкций на автомобильных дорогах Государственной компании «Автодор», позволяют ориентировочно оценить потенциальные объемы применения композитной арматуры. По официальным данным Росавтодора, в 2014 году было построено и реконструировано свыше 580 км федеральных автомобильных дорог, в 2013 году – 486 км. Принимая среднегодовой темп строительства и реконструкции федеральных автомобильных дорог за 500 км в год, расход композитной арматуры диаметром до 10–12 мм для

конструкций группы 1 может составить в среднем около 1000 пог. км, а для конструкций группы 2 – 10 000 пог. км.

Применение композитной арматуры в дорожно-мостовых конструкциях ставит задачу разработки соответствующих рациональных конструктивных решений, которые после должной апробации и доработок могут быть рекомендованы для массового применения. Решение этой задачи требует проведения исследований и разработок не только по вопросу расчетов прочности, но и по ряду других направлений. Все они предусмотрены указанной выше Программой. Описанный расчетный инструмент позволяет более эффективно и целенаправленно планировать предстоящие экспериментальные исследования, проектные проработки и другие работы по конкретным видам конструкций. Эта работа ведется в настоящее время под руководством ООО «Автодор-Инжиниринг» при активном участии ООО «Сервис-МОСТ».

А.В. Анисимов, канд. техн. наук,
начальник отдела диагностики мостов
ООО «Автодор-Инжиниринг»;
И.М. Сапронов,
канд. техн. наук,
директор ООО «Сервис-МОСТ»



ООО «Сервис-МОСТ»

Создано в 1992 г.

- Научно-исследовательские разработки для мостостроения и других видов строительства. Специализация в области конструкций из бетона со стальной и композитной ненапрягаемой и напрягаемой арматурой.
- Расчеты сложных конструкций и систем на статические и динамические нагрузки с учетом физической, геометрической и конструкционной нелинейности, в том числе: с предварительным напряжением; с регулируемым усилием; с учетом стадийности работы и имеющихся дефектов.
- Комплексная адаптация передовых зарубежных технических решений к российским условиям проектирования и строительства.
- Разработка СТУ, СТО и других локальных нормативных документов.
- Исследовательские, квалификационные, контрольные, приемочные и другие виды испытаний образцов, конструкций и сооружений.
- Всестороннее научно-техническое обеспечение сложных строящихся, реконструируемых и эксплуатируемых объектов, в том числе: специальные и приемочные обследования; поверочные расчеты; перепроектирование конструкций; мониторинг технического состояния.

115419, Москва, ул. Шаболовка, 34, стр. 3
+7 (985) 766-34-33