

**Применение композитной арматуры в строительстве
монолитных железобетонных зданий**

Евса Е.В., Яроцкий Р.В.

(Научный руководитель – Пецольт Т.М.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Особенностью исследования является использование предварительно напряженной композитной арматуры в монолитном диске перекрытия в многоэтажном каркасном здании с применением самонапрягающегося бетона.

Вопрос использования композитной арматуры в строительстве стал актуален в связи с рядом положительных характеристик арматуры и расширением области ее применения.

В настоящее время в нормативной базе Республики Беларусь отсутствуют действующие ТНПА, позволяющие применять композитную (стеклопластиковую – АСК и базальтопластиковую – АБК, либо другую) арматуру в предварительно напряженных АКП – бетонных несущих конструкциях.

Развитие полимерных композитов осуществляется в рамках концепции научно-технической программы союзного государства «Разработка инновационных технологий и техника для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012-2016 годы Постановление Совета Министров Союзного Государства от 18.07.2012 г. №17. В этой программе можно выделить две темы, непосредственно касающиеся строительной отрасли:

- «Разработка технологий и оборудования для производства композиционных материалов на базе непрерывного базальтового волокна и его комбинации с другими армирующими элементами»;
- «Разработка технологии и оборудования для получения высокопрочных изделий в виде арматуры и анкеров из полимерных композиционных материалов».

В исследовании рассмотрена стеклопластиковая арматура, т.к. она наиболее распространена на территории РБ. Композитная арматура производится в виде стержней (обычно круглого сечения) со спиральной рельефностью, реже с песчаной посыпкой, практически

любой длины на основе стеклянных (АСК – стеклопластиковая арматура), базальтовых (АБК – базальтопластиковая арматура) волокон, или на основе других компонентов (карбон, арамид), пропитанных химически стойким полимером.

Преимущества композитной арматуры по сравнению со стальной следующие: высокая коррозионная стойкость к агрессивной среде (в т.ч. морской воде) в зависимости от исходных компонентов; коэффициент теплового расширения (КТР) композитной арматуры соответствует КТР бетона; неэлектропроводна (диэлектрик); практически нетеплопроводна; радиопрозрачна; электромагнитных полей; не теряет своих прочностных свойств при воздействии сверхнизких температур; легче стальной арматуры в 3,5–4 раза; может иметь любую строительную длину по требованиям проекта и заказчика (диаметр до 8 мм поставляется в бухтах).

Особенности композитной арматуры, которые не позволяют повсеместно выполнить прямую замену металлической арматуры на композитную, относятся следующие свойства: низкий модуль упругости; более низкая огнестойкость изделий армированных композитной арматурой; низкая прочность при поперечных нагрузках; сложность изготовления гнутых арматурных изделий; сложность при изготовлении предварительно напряжённых конструкций; не рекомендуется использование в качестве сжатой арматуры; более высокая стоимость.

В расчетах предел прочности композитной арматуры при растяжении принят 1100 МПа. Фактически, это среднее значение, полученное на основании данных от производителей композитной арматуры и согласно зарубежным нормативным документам.

Стоит отметить, что производимая в Беларуси и импортируемая в нашу республику композитная арматура имеет большой разброс в физико-механических характеристиках, исходных материалах (сырье) и геометрических характеристиках (в том числе и параметры навивки).

Расчетное значение сопротивления растяжению R_f неметаллической композитной арматуры принято равным $R_f = 552$ МПа. Значение получено в ходе анализа следующих документов:

- Проект СП. Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Расчетное сопротивление растяжению: $R_f = 559$ Мпа.

• ACI 440.1R-06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. Reported by ACI Committee 440 согласно таблице 8.1: $R_f = 552$ МПа.

В CNR-DT 203/2006 (Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber - Reinforced Polymer Bars) указано, что величина расчетного сопротивления растяжению равна $R_f = (0,5 \dots 0,7) \cdot 1100$ МПа = 550 ... 770 МПа.

В источниках, изложенных выше, расходятся данные и по модулю упругости арматуры (величина варьируется от 41400 до 70000 МПа). Принимаю модуль упругости $E_f = 50\,000$ МПа .

Был произведен расчет армирования монолитной плиты перекрытия. Принята нижняя плоская сетка с рабочими 8 стержнями диаметром 8 мм, установленными с шагом 200 мм ($A_s = 402$ мм²) в двух направлениях. Верхнюю сетку принимаем конструктивно с рабочими стержнями диаметром 8 мм, установленными с шагом 200 мм ($A_s = 402$ мм²) в двух направлениях.

Перекрытие выполнено с применением предварительного напряжения. Пока ни одно из существующих анкерных устройств не обеспечивает достаточно высокого уровня надежности закрепления композитной арматуры при выполнении ее предварительного натяжения, а также при испытаниях на растяжение до разрыва. Связано это, прежде всего с неоднородностью композитной арматуры (что часто приводит к разрыву стержней при натяжении) и с технологическими вопросами температурной обработки бетона. Имеются также ряд определенных сложностей серийного изготовления таких устройств.

В этой связи, особую актуальность приобретает способ создания предварительного напряжения композитной арматуры с применением самонапрягающегося бетона. В РБ накоплен значительный опыт применения самонапрягающегося бетона при строительстве зданий и сооружений. Для возведения перекрытия принят самонапрягающийся бетон класса $C^{30}/_{37}$ марки S_p 2,0.

Расчет диска перекрытия по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси элемента показал, что требуется дополнительное армирование 2-мя стержнями стеклопластиковой арматуры диаметром 14 мм.

Расчетная величина прогиба не превышает предельно допустимого: $a(\infty; t_0) = 0,0089\text{м} = 8,9\text{ мм} < a_{\text{lim}} = 32\text{мм}$.

Прочность сечения плиты на продавливание достаточна и не требуется устанавливать расчетное поперечное армирование

В приколонной зоне установлена конструктивно сетка с горизонтальными стержнями диаметром 10 мм и вертикальными – диаметром 6 мм.

Для обоснования целесообразности применения композитной арматуры в строительстве нами параллельно был выполнен расчет аналогичного диска перекрытия с применением самонапрягающегося бетона и стальной арматуры.

Был произведен расчет армирования монолитной плиты перекрытия, в результате чего принято армирование сварными плоскими сетками из напрягаемой арматуры класса S800 диаметром 8 мм, установленными с шагом 200 в двух направлениях.

При расчете диска перекрытия по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси элемента по всей длине было выполнено нижнее армирование перекрытия в надпорных (надколонных) полосах двумя стержнями диаметра 12 мм из арматуры класса S800, расположенными на расстоянии 150 мм друг от друга. Также в надпорных (надколонных) полосах было выполнено верхнее армирование такими же стержнями, заведенными в пролет на величину 1/6 от его длины. Расчетная ширина раскрытия трещин при этом составила 0,18 мм, что не превышает предельно допустимой ширины раскрытия трещин.

Нами выполнено сравнение стоимости дисков перекрытий с использованием металлической и композитной арматуры. Диск перекрытия с композитной арматурой на 10% дороже диска перекрытия с металлической арматурой, при этом трудоемкость изготовления была принята одинаковой.

Применение композитной арматуры незначительно увеличивают затраты при строительстве, но при этом позволяет на 10–20 лет продлить срок эксплуатации конструкций, особенно в агрессивных средах.

Следует отметить, что композитная арматура имеет ряд преимуществ, свидетельствующих о целесообразности и эффективности ее применения взамен стальной в некоторых областях строительства, а

именно: в конструкциях и сооружениях, находящихся под воздействием агрессивных сред; для применения в конструкциях и сооружениях электротехнического назначения, находящихся под воздействием факторов электрохимической коррозии; для изготовления свай, фундаментов, портовых и берегоукрепительных сооружений; для армирования полотна автомобильных дорог; для армирования грунтов и горных пород при горнопроходческих работах (прокладке тоннелей и выемке котлованов); для изготовления сеток, применяемых при армировании каменной (кирпичной) кладки; для применения при ремонте конструкций зданий и сооружений; для изготовления полимерных болтовых соединений, стягивающих, например, элементы опалубки при строительстве гидротехнических сооружений; для изготовления гибких связей в трехслойных стеновых панелях и кирпичной кладке.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции / Минстройархитектуры РБ, Мн., 2003.
2. СП. Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования (первая редакция). Москва, 2013.
3. ТКП 45-5.03-158-2009 (02250) Бетонные и железобетонные конструкции из напрягающего бетона. Правила проектирования. Минск, 2010.
4. ACI 440.1R-06: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. Reported by ACI Committee 440.
5. CNR-DT 203/2006 (Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber- Reinforced Polymer Bars).