

## **Моделирование сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры**

Щербак Е.В.

(Научный руководитель – Хотько А.А.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Коррозия стальной арматуры в бетоне сокращает срок службы конструкции, вызывает высокие затраты на ремонт и может поставить под угрозу структурную целостность самой конструкции. Стеклопластиковая арматура (АСП) исключает этот недостаток. АСП имеет ряд преимуществ перед стальной арматурой особенно при использовании в оксидной, морской и другой соляной среде. Стеклопластиковая арматура постепенно занимает более широкое признание в качестве замены обычной арматурной стали, ввиду ряда преимуществ [1].

Однако, как за рубежом, так и в Республике Беларусь, ввиду отсутствия нормативных документов, регламентирующих требования к стеклопластиковой арматуре, имеются различия, как в технологии изготовления арматуры, так и в геометрических параметрах образующегося при производстве периодического профиля. Кроме того, в отличие от стальной арматуры, у которой материал поперечных выступов профиля и остова стержня аналогичны, поперечные выступы стеклопластиковой арматуры образованы в основном полимерным связующим, имеющим отличительные свойства от стеклянного волокна.

Анализ экспериментальных и теоретических исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) бетона в области контакта со стержневой арматурой показал, что НДС бетона определяется рядом механических, физических и химических факторов:

1) зацеплением за бетон микронеровностей поверхности арматуры, выступов профиля и соответствующему сопротивлению бетонных консолей;

2) заклиниванием арматуры в бетоне, сопровождающимся появлением распора и сопутствующими ему силами трения;

3) силами трения по площади контакта, обусловленными радиальным давлением от деформаций усадки бетона;

4) силами трения, вызванными поперечным обжатием бетона внешней нагрузкой;

5) склеиванием (адгезией) цементного геля с арматурой.

Из всех указанных факторов, профиль арматуры оказывает наибольшее влияние на сцепление.

Широкие исследования контакта позволили к 40-50-м годам выявить общую картину влияния факторов, определяющих контактное сопротивление. Оказалось, что несовершенства контакта могут оказывать, по меньшей мере, такое же влияние, как механическое сопротивление бетона. Так, при жестко закрепленной арматуре осадка бетонной смеси может приводить к полному нарушению контакта. Изменилось представление о роли усадки, ее стали причислять к факторам, отрицательно влияющим на сцепление. Систематическое изучение расклинивающего действия арматуры, являющееся основной причиной раскалывания бетона. Были выявлены природа появления распора, закономерности его развития при сосредоточенных анкерах и при профилированной арматуре, механизм развития продольных трещин и оценка их опасности [4].

АСП производится с не регламентируемыми видами профилей и очевидно арматурные стержни различных производителей имеет различное сцепление с бетоном. Поэтому целью нашей работы стало исследование сцепления стеклопластиковой арматуры разных профилей с бетоном.

Эффективность сцепления обычно определяется по результатам испытаний стержней на выдёргивание их из бетона. Основным критерием для оценки сцепления является величина сдвига стержня на различных стадиях его нагружения. Прежде всего, следует оценить характер изменения напряжения смятия бетона под выступами в зависимости от величины относительной площадки смятия.

Экспериментальных исследований сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном проводилось мало, данные ограничены. Поэтому нами были произведены теоретические исследования моделирования сцепления с бетоном АСП.

С помощью расчётного комплекса FEMAP v 11.0.1 нами была создана конечно элементная модель сцепления стеклопластиковой

арматуры ( $E = 55$  ГПа) и бетона ( $C^{20/25}$  и  $C^{25/30}$ ) и шагом рифов 15 мм и 20 мм. В расчетах при анализе напряженно-деформированного состояния использовались осесимметричные КЭ модели CQUADX4.

Необходимо отметить тот факт, что в модели риф имеет форму прямоугольника, а по факту это скорее трапеция. Изменение угла наклона выступов к образующей в пределах  $45^\circ - 90^\circ$  не сказалось на эффективности сцепления. Влияние наклона боковой поверхности на деформативность и прочность сцепления изучалась многими авторами. Выявлено, что угол наклона этих поверхностей (в пределах  $45^\circ - 90^\circ$ ) и плавность их перехода к телу стержня не оказывают решающего влияния на сцепление арматуры [3].

Корректное описание процесса разрушения связей сцепления арматуры с бетоном актуально для практики и требует при проведении КЭ расчетов учета разрывов (нарушения сплошности) в распределении полей перемещений. В рамках данного исследования нами получен ряд нелинейных КЭ решений задачи о вытягивании арматуры из бетонного блока на основе различных подходов учета сцепления и произведено их систематическое сравнение.

Рассматривали вытягивание стержневой профилированной арматуры из бетонного блока при нагружении силой равной 1592,4 Н, что составляло  $1/360^\circ$  от 10000 Н ( $=10000/2/3,14$ ). Геометрия объекта соответствует требованиям RILEM/CEB/FIB [2]. Нагрузка прикладывается к верхнему концу арматурного стержня. Контроль перемещений при построении диаграмм сцепления производился на контрольных точках.

Существуют различные виды моделей. Авторы по-разному моделировали сцепление арматуры с бетоном. Но наиболее адекватной на наш взгляд, является трехслойная модель, предложенная Карпенко Н.И.

Нами принята модель "арматура – контактный слой – бетонная оболочка". Сущность допущения состоит в выделении контактного слоя, к которому отнесен бетон, находящийся в зоне высоких напряжений. Возможность такого выделения базируется на том, что деструктивные процессы, в частности контактные трещины, развиваются обычно в пределах слоя небольшой толщины, близкой к ша-

гу профилировки. Отдельные сквозные или несквозные трещины, получающие большое развитие, должны при применении модели учитываться специально[4]. Эти же предположения были внесены М.М. Холмянским, Н.И. Карпенко.

Модель постоянно обновляется, уточняется сетка конечных элементов. В данном отчете риф, размерами 1,5×1,0 мм представлен в виде 16-ти КЭ.

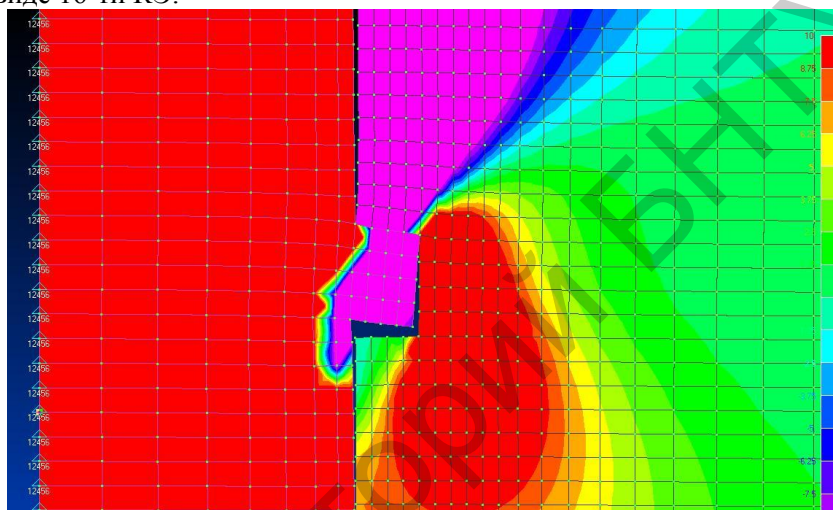


Рисунок 1. Распределение напряжений в АСП и бетоне

Проведенный анализ показал, что разница в напряжениях, возникающих в рифе, зависит не только от класса бетона, но и от шага рифов. Причем настолько, что при увеличении расстояний между рифами с 15 мм до 20 мм оно сопоставимо с уменьшением класса бетона на одну позицию с  $C^{25}/_{30}$  до  $C^{20}/_{25}$ , а именно в 1,07 раза, а на отдельных точках и 1,23 раза. На данном этапе проводится подготовка к проведению экспериментальных исследований сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном для оценки адекватности построенной модели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan. Fiber Reinforcement of Concrete Structures, University of Rhode Island, Dept. of Chemical Engineering, 2002 -51с.

2. RILEM/CEB/FIB. Recommendation on reinforcement steel for reinforced concrete. RC6. Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out tests. 1983. 8p.
3. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – 233 с.
4. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. - 184 с.

Репозиторий БНТУ