

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА  
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 624.012.45

**РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЦЕПЛЕНИЯ  
С БЕТОНОМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ**

*ХОТЬКО А.А., ЩЕРБАК Е.В.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Стеклопластиковая арматура, занимающая в последнее время определенную нишу на строительном рынке Республики Беларусь, имеет ряд преимуществ перед стальной арматурой, особенно при использовании в оксидной, морской и другой соляной среде. [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. При этом является очевидным тот факт, что обладая различными параметрами периодического профиля, стеклопластиковая арматура различных производителей будет иметь и различные характеристики сцепления с бетоном. Следует отметить, что согласно исследованиям различных авторов, именно зацепление за бетон выступов профиля и микронеровностей поверхности арматуры (по сравнению с остальными факторами) оказывают решающее влияние на совместную работу арматуры и бетона [4]. Все это требует проведения ис-

следований сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры и влияния периодического профиля на характеристики сцепления.

Напряженно–деформированное состояние элемента на участке активного сцепления достаточно сложное: происходит депланация поперечных сечений, арматура смещается относительно бетона, развиваются пластические деформации бетона, возникают трещины вокруг образца. Существуют различные методики испытаний арматурных стержней на сцепление с бетоном. Но наибольшее распространение получила методика, предусматривающая испытание на выдергивание арматуры из призмы, опертой на жесткую плиту. Большинство опытных данных получено именно по этой методике, что позволяет сравнивать полученные результаты с другими исследованиями по данной проблематике. Основным критерием для оценки сцепления при этом является величина сдвига стержня на различных стадиях его нагружения. Экспериментальных исследований сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном проводилось мало, данные ограничены. Поэтому нами были проведены попытки теоретического моделирования сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры на образцах на выдергивание из бетонных призм.

Проблемой разработки теории сцепления арматуры с бетоном занимались Холмянский М.М., Оатул А.А., Карпенко Н.И., Назаренко П.П., Веселов А.А., и др. [1, 3, 4]. Первый и наиболее значительный вклад в отечественную теорию сцепления арматуры с бетоном внес М.М. Холмянский. Для определения силовых и геометрических величин, определяющих напряженно–деформированное состояние участка активного сцепления, Холмянский М.М. предлагает принимать ряд упрощающих допущений. Принимается модель «арматура – контактный слой – оболочка». Сущность допущения состоит в выделении контактного слоя, к которому отнесен бетон, находящийся в зоне высоких напряжений. Считается, что деструктивные процессы, в частности контактные трещины, развиваются в пределах слоя небольшой толщины, близкой к шагу профилировки.

Предложения других авторов по построению теории сцепления арматуры с бетоном либо изменяют некоторые положения теории Холмянского М.М., либо приводят к значительным трудностям в его использовании, заметно не устраняя недостатков, к числу глав-

ных из которых следует отнести неполное отражение особенностей развития контактных трещин и отдельный учет напряжений сцепления и поперечного давления арматуры на бетон или вообще неучет поперечного давления [3, 4].

Попытка построить теорию, свободную от этих недостатков, принадлежит Н.И. Карпенко. Им применена модель, позволяющая прямым образом учитывать наличие контактных трещин. Существенно важно, что в его работе впервые сделана попытка практически полного моделирования контакта. Условные взаимные смещения в модели рассматриваются Н.И. Карпенко как перемещения концов консольных элементов, на которые трещины разделяют бетон контактного слоя.

Современные возможности электронно–вычислительных машин, позволяют подходить к решению ряда задач методом конечных элементов. Цель настоящей работы – исследование распределения напряжений (усилий) в бетонном блоке и арматурном стержне при выдергивании последнего из первого. Арматурный стержень замоничен в двух верхних третях блока и свободно проходит через нижнюю треть блока. Нижняя грань блока опирается на кольцевую опору, а нагрузка приложена к нижнему концу арматурного стержня. Применен шаговый процесс нагружения с применением численных методов высоких порядков точности. На каждом шаге с учетом проявляющихся нелинейных эффектов вычисляются перемещения узлов модели, усилия в стержнях шарнирно–стержневой модели и по ним напряжения в конечных элементах системы.

С помощью расчётного комплекса FEMAP v 11.0.1 нами была создана конечно элементная модель сцепления стеклопластиковой арматуры ( $E=55\text{Гпа}$ ) и бетона (C20/25 и C25/30) с шагом поперечных выступов (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 преде-

лах  $45^\circ - 90^\circ$ ) и плавность их перехода к телу стержня не оказывают решающего влияния на сцепление арматуры с бетоном [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 1592,4Н, что составляло  $1/360^\circ$  от 10000Н ( $=10000/2/3,14$ ). 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.

Модель постоянно обновляется, уточняется сетка конечных элементов. В данном отчете риф, размерами 1,5x1,0 мм представлен в виде 16-ти КЭ. На рисунках 1,2 показана картина распределения напряжений в арматуре и бетоне, при этом красным цветом показаны растягивающие напряжения превышающие отметку 10МПа, а фиолетовым цветом сжимающие напряжения превышающие отметку 10МПа. Таким образом, самый сжатый элемент окрашен фиолетовым цветом, а растянутый – красным. Соответственно нейтральная зона будет принадлежать элементам с зелёным оттенком.

Напряжения (усилия) в арматурном стержне при небольших уровнях нагрузки убывают экспоненциально по всей длине замоноличивания. По мере роста нагрузки и растрескивания бетона градиент убывания напряжений (усилий) по длине стержня резко увеличивается, а зона их распределения сокращается, локализуясь у начала замоноличивания.

Проведенный анализ показал, что разница в напряжениях, возникающих в бетонной оболочке, 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 С25/30 до С20/25, а именно в 1,07 раза, а на отдельных точках и 1,23 раза.

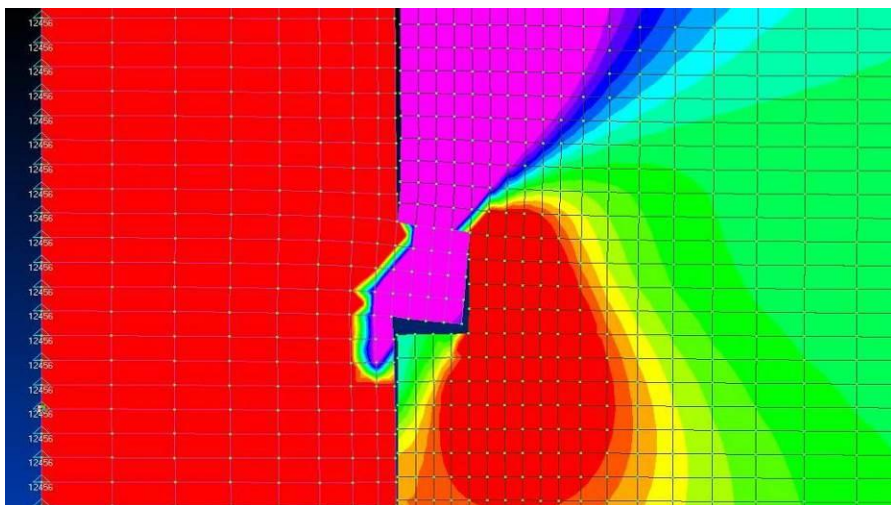


Рисунок 1. Распределение напряжений в стеклопластиковой арматуре и бетоне шаг рифов 15 мм

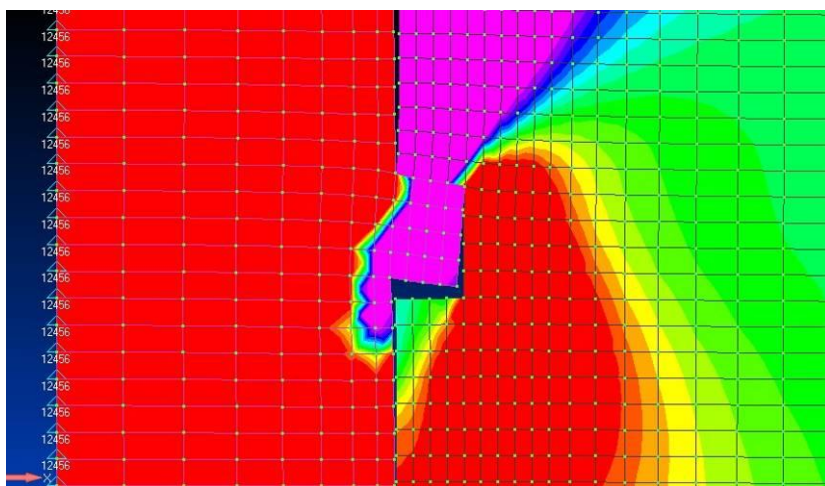


Рисунок 2. Распределение напряжений в стеклопластиковой арматуре и бетоне шаг рифов 20 мм

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. 8р.
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.