

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисевич А. А. Строительная механика: учебное пособие для вузов/А. А. Борисевич, Е. М. Сидорович, В. И. Игнатюк. — Минск: БНТУ, 2009. — 756 с.
2. Шимкович Д.Г. Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов — М.: ДМК Пресс, 2012. — 702 с., ил. (Серия «Проектирование»).

УДК 691

### **СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗГИБУ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ**

*ГИЛЬ А.И., ЛАЗОВСКИЙ Е.Д.*

Полоцкий государственный университет  
Полоцк, Беларусь

В данной статье рассмотрен вариант применения композитной арматуры совместно с металлической (гибридное армирование) в изгибаемых статически неопределяемых железобетонных элементах. Показаны преимущества и перспективы применения данного вида армирования. Рассмотрена возможность применения блочной модели для расчета прочности элементов с гибридным армированием. Определены предполагаемые допущения для расчетной модели, представлен алгоритм расчета.

В последнее время все больше внимания уделяется вопросу разработки эффективных решений применения композитных стержней в изгибаемых железобетонных элементах, не требующих дополнительных затрат на устранение основных недостатков композита. К настоящему времени даже высокая прочность при растяжении (более 1000 МПа), не позволяет решить главной на данный момент проблемы применения композитной арматуры в качестве рабочей (при полной замене стальной) в железобетонных конструкциях, а именно низкого значения модуля упругости (порядка 50 ГПа).

Исследования в этой области [4] показали, что при работе железобетонного изгибаемого элемента, армированного исключительно композитной арматурой, после образования нормальных трещин практически полностью отсутствует участок пластического деформирования и, следовательно, разрушение такого типа элементов носит хрупкий характер. Таким образом, применение композитной арматуры в изгибаемых элементах без предварительного напряжения на сегодняшний день нецелесообразно. Стоит обратить внимание на тот факт, что предварительное напряжение неметаллической арматуры вызывает большие технологические трудности: начиная от способа натяжения и заканчивая разработкой надежных анкеров.

Ситуация может быть значительно улучшена при использовании в растянутой зоне железобетонного элемента совместно композитной и металлической арматуры (так называемое гибридное, либо комбинированное армирование). Экспериментальные исследования [7] статически определимых балок с комбинированным армированием позволили получить пластическую форму разрушения элемента. Кроме того, авторами отмечено, что пластическое деформирование конструкции, даже с минимальным введением композитных стержней, оказалась существенно протяжённой, нежели у элементов, армированных исключительно металлической арматурой. Анализ результатов проведенных испытаний [7] дает возможность предположить, что даже небольшое количество композитной арматуры, которая будет работать в упругой стадии, может оказать положительный эффект в работе статически неопределимых балок. Этот эффект может быть достигнут с точки зрения более рационального перераспределения усилий. Предполагаемый благоприятный результат от применения гибридного армирования позволит расширить область применения композитной арматуры без предварительного напряжения.

Не теряет актуальности вопрос расчета железобетонных элементов с композитным армированием. В международной практике, благодаря обширным экспериментальным и теоретическим исследованиям, проведенным в последние годы, разработаны базовые основы и рекомендации по расчету и проектированию конструкций с композитной арматурой [1–3]. Однако, в работе [8] авторы отмечают, что применение в конструктивном элементе композитной арматуры совместно со стальной требует существенной корректировки

расчетных моделей. Наиболее перспективным и возможным решением таких задач является, так называемая, блочная модель расчета. В общем случае, для статически неопределимых железобетонных балок с металлическим армированием, данная модель [9] рассматривает блочный элемент, выделенный между двумя соседними трещинами. Решение задачи в общем случае сводится к решению системы уравнений на основе положений модифицированной деформационной модели, в которую входят уравнения равновесия продольных сил, моментов и уравнения равновесия для отдельного стержня, уравнения проскальзывания. Также система уравнений дополняется диаграммами деформирования применяемых материалов и диаграммами, связывающих значения касательных напряжений и значения проскальзывания (взаимного смещения). В работе [9] представлен подробный алгоритм расчета статически неопределимых балок с металлической арматурой.

Следует отметить, что ключевая роль в расчетной модели отведена именно диаграмме «касательные напряжения – проскальзывание», что по сути является законом сцепления арматурного стержня и бетона. Для стальной арматуры параметрические точки данной диаграммы принимают согласно указаниям ModelCode 2010. Диаграмма закона сцепления для композитной арматуры также указана в МС 2010, однако значения параметрических точек должны быть получены опытным путем для конкретного вида арматуры. Одним из решений данной задачи, можно считать результаты обширных исследований под руководством Гайтано Манфреди [9], в которых были получены осредненные значения параметров точек на диаграмме «касательные напряжения – проскальзывания» для стеклопластиковых стержней.

Таким образом, для решения задачи по разработке расчетной модели изгибаемых элементов с гибридным армированием есть все необходимые исходные данные. Однако, для реализации расчета необходимо определить общий осредненный параметр, который в итоге будет являться критерием для окончания итерационного процесса расчета. После успешной реализации которого, для всего элемента будут получены распределение относительных деформаций растянутого бетона и арматуры, что в дальнейшем позволит вычислить значение распределения кривизны во всех необходимых сечениях по длине блока. Если рассмотреть пример с металлической

либо стеклопластиковой арматурой, критерием для окончания итерационного процесса является достижение относительных деформаций бетона растянутой зоны сечения изгибаемого элемента предельных значений, что свидетельствует об образовании новой трещины, либо достижение относительных деформаций растянутого бетона значений относительных деформаций растянутой арматуры, что свидетельствует об начале зоны совместного деформирования арматуры и бетона. Таким образом, в случае окончания итерационного процесса на каждом его шаге получаем значения проскальзывания арматурного стержня относительно бетона, и в дальнейшем итоговое смещение является основой для расчета прочности всего элемента. Тем не менее, существует ряд определенных трудностей: если посмотреть на диаграмму закона сцепления для металлической и стеклопластиковой арматуры в числовом выражении, очевидно, что материалы смещаются в бетоне абсолютно по-разному. Аналогична ситуация и диаграммой деформирования данных материалов.

Одно из возможных решений представленной задачи может быть получено путем приравнивания эффективных зон растянутого бетона между металлическими и композитными стержнями. Таким образом при реализации итерационного процесса следует принять следующее допущение: бетон растянутой зоны изгибаемого элемента деформируется одинаково по всей площади.

При реализации итерационного процесса расчета будет рассматриваться одновременное деформирование металлических и композитных стержней по алгоритму расчета блочной модели трещинообразования. Приняв вышеуказанное допущение, на первом шаге итерационного процесса растягивающие напряжения в бетоне, которые в свою очередь зависят от растягивающих усилий и соответствующих им напряжениям в арматурных стержнях, будут приравнены и определено их среднее значение. Исходя из полученного среднего значения напряжения, относительные деформации бетона будут одинаковыми для участков с металлическими и композитными стержнями. Величина относительных деформаций бетона позволит определить значения касательных напряжений в арматурных стержнях и величину смещения конкретных стержней в бетоне.

На втором и последующих этапах итерационной процедуры расчета будет повторяться следующий алгоритм: определяются значения напряжений в бетоне для участков с металлической и композитной

арматурой, выводится их среднее значение, определяются соответствующие относительные деформации в растянутом бетоне. Далее по этим значениям рассчитывают все необходимые параметры рассматриваемого участка. Критерии окончания итерационного процесса будут аналогичны критериям стандартного расчета по блочной модели трещинообразования для изгибаемых элементов с металлической либо композитной арматурой.

Предложенная расчетная модель изгибаемых статически неопределимых железобетонных элементов с гибридным армированием позволит расширить область применения композитной арматуры без предварительного напряжения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. fib 2005 "FRP Reinforcement for reinforced concrete structures", Task Group 9.3 (Fiber-Reinforced Polymer) Reinforcement for Concrete Structures, Lausanne, Switzerland, 2005 –173 p.

2. ACI 440.1R-03 " Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA – 2003 – 81 p.

3. Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber Reinforced Polymer Bars – CNR–DT 203/206, Rome, June 2007 – 35 p.

4. Мясников А.Л. Изгибаемые конструкции со стеклопластиковой арматурой /А.Л. Мясников, Е.П. Телешман, А.А. Варламов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Т.2. – С. 70 – 74.

5. Польской П.П. О влиянии стеклопластиковой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из тяжёлого бетона //П.П. Польской, Мерват Хишмах, Михуб Ахмад // Эл. журнал «Инженерный вестник дона», №4, Ростов-на-дону, 2012.

6. Маилян Д.Р., Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин / П.П. Польской, Маилян Д.Р. // [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-stalnogo-i-kompozitnogo-armirovaniya-na-shirinu-raskrytiya-normalnyh-treschin> Дата доступа: 24.03.2015

7. Тур В.В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / Тур В.В. Малыха В.В. // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F Строительство. Прикладные науки. – 2013. – №8. – С. 58 – 65.

8. Тур В.В. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов с комбинированным армированием стеклопластиковыми и металлическими стержнями / В.В. Тур, В.В. Малыха // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наукових праць. – Рівне, 2012. – Вип. 24. – С. 271 – 281.

9. Mantredi G. A refined R.C. beams elements including bond-slip relationships for the analysis of continuous beams / Mantredi G., Pecce M. // Computer and Structures, Volume 69, Issue 1, October 1998. – p.p. 53–62.

УДК 624.04

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТОВ СТАКАННОГО ТИПА

*ГРИНЕВ В. В.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Аннотация.** В данной статье приведена методика расчета фундамента стаканного типа с гладкой поверхностью.

**Основные разделы расчета фундамента с подколонником стаканного типа.** Под колонны каркасного одноэтажного промышленного здания устраивают, как правило, столбчатые фундаменты с подколонниками стаканного типа, а стены опирают на фундаментные балки.

Расчет и конструирование фундамента включает следующие как правило разделы:

- определение сечения подколонника;
- подбор размеров подошвы;
- проверка фундамента на продавливание;
- проверка фундамента на «обратный» момент;