

**Анализ методик расчета изгибаемых бетонных конструкций со стеклопластиковой арматурой по эксплуатационной пригодности**

Акбар С.М.

Научный руководитель: Хотько А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В процессе возведения какого-либо строения или сооружения применяется арматура. В настоящее время современные технологии дают возможность создавать продукцию не только из металлопроката, но и композитную арматуру, в частности – стеклопластиковую.

В нормативной базе Республики Беларусь отсутствуют действующие технические нормативные правовые акты (далее - ТНПА), позволяющие применять композитную арматуру в изгибаемых стеклопластбетонных несущих конструкциях. Существующие рекомендации по расчету конструкций с композитной арматурой в большинстве случаев являются модификацией норм по расчету железобетонных конструкций со стальной арматурой. Изменения связаны с нормированием физико-механических свойств арматуры и ряда эмпирических соотношений, основанных на экспериментальных данных. Причем как показывает анализ имеющихся методик расчета по трещиностойкости и деформативности, эти методы расчета имеют различия между собой, оказывающие влияние на оценку рассчитываемых параметров [1-6].

Расчеты эксплуатационной пригодности выполняются при сочетании нормативных нагрузок и включают расчет по деформациям и расчет по образованию и раскрытию трещин.

Проверку предельного состояния по ширине раскрытия трещин предлагается производить из известного условия:

$$w_k \leq w_{lim} \quad (1)$$

где  $w_k$  - расчетная ширина раскрытия трещин;

$w_{lim}$  - предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

Учитывая коррозионную стойкость стеклопластиковой арматуры по отношению к агрессивным средам, в которых стальная арматура

подвергается активной коррозии, предельно допустимая ширина раскрытия трещин для конструкций, армированных стеклопластиковой арматурой принимается большей, чем для элементов со стальной арматурой. В основном, исследователи рекомендуют назначать предельно допустимую ширину раскрытия трещин для стеклопластобетонных элементов, равной 0,5 мм. При непродолжительном раскрытии трещин в нормальных условиях эксплуатации это значение принимают равным 0,7мм [3-6].

В общем случае расчетную ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента ( $w_k$ ), принимают равной средним относительным деформациям продольной растянутой композитной арматуры на участке между трещинами, умноженным на расстояние между трещинами. Расстояние между трещинами следует определять из условия, по которому разности усилий в растянутой композитной арматуре в сечении с трещиной и в сечении по середине участка между трещинами уравниваются силами сцепления композитной арматуры с бетоном. При этом разность усилий в композитной арматуре на этом участке принимается равной усилию, воспринимаемому растянутым бетоном перед образованием трещин. Относительные деформации растянутой композитной арматуры в сечении с трещиной, нормальном к продольной оси элемента, определяются в общем случае из системы расчетных уравнений деформационной модели по заданным значениям изгибающих моментов и продольных сил.

Предельное состояние конструкций с композитной арматурой по деформациям следует проверять из условий:

- ограничения соотношения геометрических параметров конструкции (например, отношения эффективного пролета к рабочей высоте сечения элемента конструкции) без дополнительного расчета перемещений;
- непревышения расчетными перемещениями предельно допустимых значений:

$$a_k \leq a_{lim} \quad (2)$$

где  $a_k$  – прогиб (перемещение) железобетонной конструкции от расчетного сочетания воздействий, мм;

$a_{lim}$  – предельно допустимый прогиб (перемещение), мм, принимаемый по действующим ТНПА [3-5].

Прогибы (перемещения) конструкций с композитной арматурой следует рассчитывать по общим правилам строительной механики, используя значения продольных деформаций, поперечных деформаций и кривизн по длине конструкций от расчетных воздействий и их сочетаний.

Кривизна железобетонных элементов принимается равной разности краевых относительных деформаций элемента в сечении, нормальном к продольной оси, деленной на высоту сечения.

Для участков элементов с трещинами кривизну определяют как разность средних относительных деформаций крайнего волокна сжатого бетона и средних относительных деформаций крайнего растянутого арматурного стержня на этом участке, деленную на расстояние между крайним волокном сжатого бетона и центром тяжести крайнего растянутого арматурного стержня.

Средние относительные деформации крайнего сжатого волокна бетона определяются по относительным деформациям крайнего сжатого волокна в сечении с трещиной, нормальном к продольной оси, умноженным на коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций сжатого бетона по длине между трещинами.

Средние относительные деформации крайнего растянутого арматурного стержня определяются по относительным деформациям крайнего растянутого арматурного стержня в сечении с трещиной, нормальном к продольной оси элемента, умноженным на коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций растянутой арматуры по длине между трещинами.

Относительные деформации сжатого бетона и растянутой арматуры в сечении с трещиной, нормальном к продольной оси элемента, в общем случае определяются из расчета системы уравнений общей деформационной модели железобетонных конструкций по заданным значениям изгибающего момента и продольной силы от соответствующего сочетания внешних нагрузок [3-6].

Различные рекомендации и строительные правила [2-5], разработанные учеными Республики Беларусь, Российской Федерации, Европейских стран, предлагают выполнять расчет ширины раскрытия трещин для изгибаемых элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с арматурой, сосредоточенной у растянутой и сжатой граней элемента, по упрощенной методике. При этом, обладая общей схожестью, данные методики имеют и некоторые различия.

С целью оценки достоверности различных методик расчета изгибаемого элемента, армированного в растянутой зоне стеклопластиковой арматурой по эксплуатационной пригодности, нами был выполнен расчет ширины раскрытия трещин и прогибов по зависимостям, предлагаемым в источниках [3], [4] и [5] и сравнение полученных данных с результатами экспериментальных исследований.

К сожалению, нами не было найдено результатов экспериментальных данных с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой, что вероятно связано со сложностью захвата такой арматуры при создании предварительного напряжения. Из опубликованных данных по испытаниям предварительно напряженных изгибаемых элементов с композитной арматурой известны исследования профессора Тура В.В.

Однако эти исследования проводились с комбинированным армированием. Поэтому, с целью расчетной оценки рассматриваемых методик, нами были использованы опытные данные, полученные на изгибаемых элементах со стеклопластиковой арматурой без предварительного напряжения и описанные в работах А.Р. Волик [7] и А. А. Почебыт [8]. Кроме методик, предлагаемых источниками [3], [4] и [5] были выполнены расчеты по эксплуатационной пригодности с использованием общего деформационного метода, реализованного в программном продукте ВЕТТА+. Данный программный продукт в его части, предназначенной для научных исследований, позволяет в качестве исходных данных задавать произвольные диаграммы деформирования материалов (полученных по опытным данным), что ставит возможным расчет бетонных сечений, армированных стеклопластиковой арматурой.

Результаты выполненного численного эксперимента по ширине раскрытия трещин представлены в табл. 1, а по прогибам – в табл.2.

Анализ выполненных расчетов и сопоставления с опытными данными позволил сделать следующие выводы:

1. Наибольшее приближение к экспериментальным данным дает общий деформационный метод расчета, реализованный в программном комплексе ВЕТАPLUS.

2. Методики расчета по эксплуатационной пригодности, предлагаемые источниками [4] и [5] дают большее приближение к опытными данным по сравнению с методикой, предлагаемой в [3]. Так, например, расчет ширины раскрытия трещин по методике, предло-

женной в [4] дает завышенные значения по сравнению с экспериментальными данными на  $\approx 47\%$ , в то время, как методика, предлагаемая источником [3] дает заниженные значения по сравнению с экспериментальными данными на  $\approx 86\%$ .

Таблица 1

Сравнение расчетных данных по различным методикам с экспериментальными данными по ширине раскрытия трещин

Исходные данные и оцениваемые параметры	Сравнение расчетных данных по различным методикам	
	с эксперимент. данными [8]	с эксперимент. данными [7]
Размеры поперечного сечения образца, мм	100*180мм	120*220мм
Класс бетона	C25/30	C25/30
Арматура в растянутой зоне	Стеклопластиковая 4Ø8 ft=960МПа E=45200МПа	Стеклопластиковая 1Ø10 ft=960МПа E=45660МПа
Предельный опытный изгибающий момент, кН*м	12	4
Максимальная ширина раскрытия трещин в опыте, $a_{ср}$ , мм	2	2.5
Предельный расчетный изгибающий момент, $M_{rd,calc}$ кН*м, согласно Бетта*	9,34	2.05
Опытная ширина раскрытия трещин при $M=M_{rd,calc}$ , $a_{ср}$ , мм	1,25	2,0
Максимальная расчетная ширина раскрытия трещин согласно Бетта*, $a_{ср}$ , мм	1,14	2,87
Максимальная расчетная ширина раскрытия трещин согласно [3], $a_{ср}$ , мм	0,416	0,351
Максимальная расчетная ширина раскрытия трещин согласно [4], $a_{ср}$ , мм	2,376	2,234
Максимальная расчетная ширина раскрытия трещин согласно [5], $a_{ср}$ , мм	2.17	3.21

Примечание:

\* - расчет в программном продукте Betta+

Сравнение расчетных данных по различным методикам  
с экспериментальными данными по прогибам

Исходные данные и оцениваемые параметры	Сравнение расчетных данных по различным методикам	
	с эксперимент. данными [8]	с эксперимент. данными [7]
Размеры поперечного сечения образца, мм	100*180мм	120*220мм
Класс бетона	C25/30	C25/30
Арматура в растянутой зоне	Стеклопластиковая 4Ø8 ft=960МПа E=45200МПа	Стеклопластиковая 1Ø10 ft=960МПа E=45660МПа
Максимальные прогибы в опытах, мм	8,5	2,5
Максимальная расчетная прогибов согласно [3], <i>f, мм</i>	10,3	3,6
Максимальная расчетная величина прогибов согласно [4], <i>f, мм</i>	2,5	1,7
Максимальная расчетная величина прогибов согласно [5], <i>f, мм</i>	11,5	4,09

Примечание:

\* - расчет в программном продукте Betta+

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 1992-1-1:2004, Eurocode 2 - Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and rules. - CEN, 2004.
2. Р-16-78, Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. - Москва: НИИЖБ, 1978.
3. Рекомендации по проектированию конструкций из напрягающего бетона с композитной арматурой. – Минск, НИПТИС, 2014.
4. СП 63.13330-2012 «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования». – Москва, 2013.
5. «Руководство по проектированию и строительству бетонных конструкций, укрепленными волокнистыми полимерными стержнями» Рим, 2007г

6. Фролов Н.П., Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. - Москва: Стройиздат, 1980.

7. Волик, А.Р. К вопросу замены металлической арматуры на стеклопластиковую в изгибаемых бетонных балках / А.Р.Волик, Е.К.Волик // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: материалы XX междунар. науч. – метод. семинара / М-во образования Респ. Беларусь, ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: В.Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2016. – С. 19–22.

8. Почебыт, А.А. Железобетонные балки с комбинированным армированием / А.А. Почебыт // Наука - 2017 : сборник научных статей. В 2 ч. Ч. 1/ Учреждение образования «Гродненский гос. ун-т им. Я.Купалы». – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – С.328 –330.

УДК 624

### **Применение металлических дюбель-гвоздей для крепления профнастила к несущим конструкциям покрытия каркасных зданий**

Солдатов Р.Р.

Научный руководитель: Сырица И.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Соединение профилированного настила с несущими конструкциями при помощи металлических дюбель-гвоздей производится пороховыми монтажными пистолетами. Посредством взрыва порохового заряда дюбель-гвоздь (1) пробивает профнастил (2) и забивается в несущую конструкцию (3).

Для данного соединения используются металлические дюбель-гвозди из углеродистой закаленной оцинкованной стали с твердостью HRC58/ HRC55.5 по Роквеллу, при этом толщина цинкового покрытия составляет от 8 до 16 мкм. Они предназначены для крепления стальных листов с пределом прочности  $\geq 270$  МПа и толщиной  $t_I = 0,5$  мм - 2,5 мм (макс. 4 мм для 2 - 4 слоев) к стальным элементам с пределом прочности 360-750 МПа и толщиной  $t_{II} \geq 6$  мм.