

УДК 691.328.43

### АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ

**А.А. Хотько, С.М. Акбар**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: Khatsko@bntu.by

*В статье описаны результаты численного эксперимента по определению ширины раскрытия трещин и прогибов изгибаемых элементов со стеклопластиковой арматурой. Выполнено сравнение полученных данных по различным методикам с опытными данными.*

**Ключевые слова:** *стеклопластиковая арматура, изгибаемые элементы, методика расчета, трещины, прогибы, эксплуатационная пригодность.*

### ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF BENT CONCRETE STRUCTURES WITH FIBERGLASS REINFORCEMENT BY OPERABILITY

**A. Khotsko, S. Akbar**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: Khatsko@bntu.by

*The article describes the results of a numerical experiment to determine the width of the opening of cracks and deflections of bent elements with fiberglass reinforcement. A comparison of the data obtained by various methods with experimental data is performed.*

**Keywords:** *fiberglass reinforcement, flexible elements, calculation procedure, cracks, deflections, serviceability.*

В последние годы наблюдается активизация деятельности производителей и поставщиков стеклопластиковой арматуры, направленной на внедрение такой арматуры в производство несущих конструкций, в том числе стеклопластбетонных изгибаемых элементов. В нормативной базе Республики Беларусь отсутствуют действующие технические нормативные правовые акты (далее - ТНПА), позволяющие применять композитную арматуру в изгибаемых стеклопластбетонных несущих конструкциях. С учетом специфических особенностей стеклопластиковой арматуры, внедрение ее в производство несущих конструкций невозможно без соответствующих научных обоснований, основанных на имеющихся теоретических предпосылках и выполненных экспериментальных исследованиях. Многочисленные экспериментальные исследования свидетельствуют о значительных прогибах и ширине раскрытия трещин конструкций армированных стеклопластиковой арматурой по сравнению с аналогичными конструкциями со стальной арматурой. Поэтому использование всех преимуществ композитной арма-

туры при армировании изгибаемых элементов возможно только при условии ее предварительного напряжения, способного повысить трещиностойкость и уменьшить прогибы конструкций при эксплуатационных нагрузках.

Даже при условии решения проблемы со сложностью создания предварительного напряжения композитной арматуры, является актуальным вопрос достоверной расчетной оценки ширины раскрытия трещин и величины прогибов. Исследования в этом направлении проводятся как в Республике Беларусь, под руководством профессоров Т.М. Пецольда, В.В.Тура, так и в Российской Федерации, и в других странах [1-8]. Методики расчета ширины раскрытия трещин изгибаемых элементов с композитной арматурой изложены в разработанных НИПТИС рекомендациях [2], а также в разработанных НИИЖБ им. А.А.Гвоздева строительных правилах [3]. Среди Европейских методик можно отметить «Руководство по проектированию и строительству бетонных конструкций, укрепленными волокнистыми полимерными стержнями» (Рим, 2006 г) [4].

Расчет стеклопластбетонных конструкций согласно указанным методикам предлагается выполнять по аналогии с расчетом железобетонных конструкций со стальной арматурой с учетом специфических свойств арматуры из стеклопластиков и особенностей ее работы в бетоне. Все рассмотренные нами методики имеют принципиально одинаковый подход к расчету ширины раскрытия трещин изгибаемых железобетонных элементов со стеклопластиковой арматурой и определяют ее как произведение расстояния между трещинами, относительных деформаций между трещинами и эмпирических коэффициентов, зависящих от различных факторов, влияющих на трещиностойкость. Однако, имеются различия в определении каждого из этих составляющих. Не все методики учитывают деформации бетона на участке между трещинами. Принципиально отличаются подходы к определению расстояния между трещинами. Дополнительные эмпирические коэффициенты при формулах учитывают зависимость от разных факторов и имеют отличные численные значения.

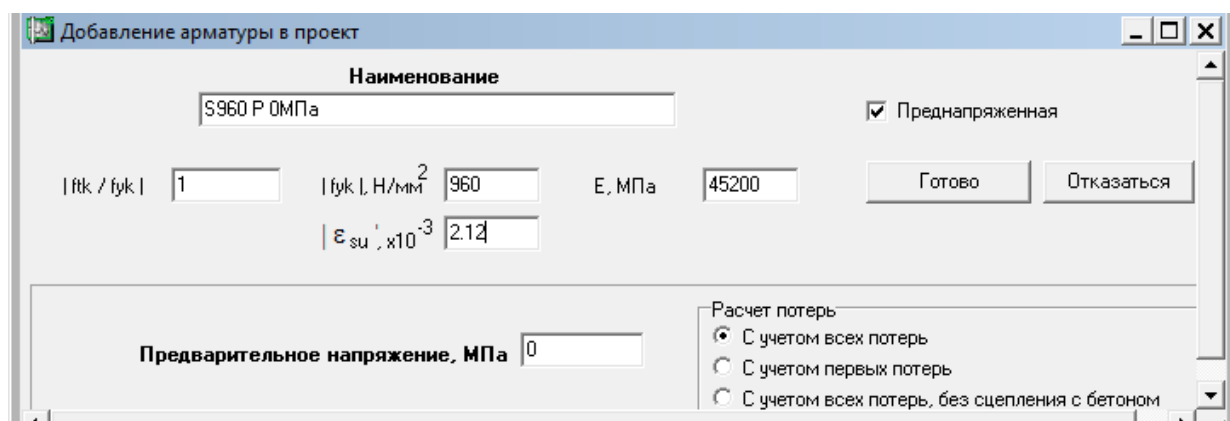
Исследователи РФ, Республики Беларусь и ученые Европейских стран имеют также различные подходы к определению прогибов изгибаемых железобетонных элементов со стеклопластиковой арматурой при наличии трещин в них. Подход белорусских ученых при определении прогибов аналогичен методике расчета прогибов по Европейским нормам, с учетом специфических свойств стеклопластиковой арматуры. Российские исследователи вычисление прогиба производят путем разбиения элемента на ряд участков, определения кривизны на границах этих участков (с учетом отсутствия или наличия трещин и знака кривизны) и перемножения эпюр моментов и кривизны по длине элемента при линейном распределении кривизны в пределах каждого участка.

С целью оценки достоверности описанных выше методик, нами был выполнен расчет ширины раскрытия трещин и прогибов по различным методикам, для изгибаемого элемента, армированного в растянутой зоне стеклопластиковой арматурой 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].

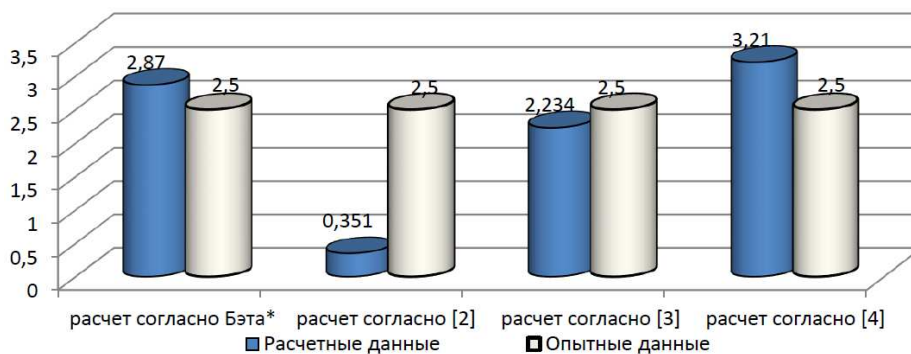
Кроме методик, предложенных в документах [2], [3] и [4] был выполнен расчет ширины раскрытия трещин с использованием общего деформационного метода, реализованного в программном продукте ВЕТТА+. Данный программный продукт в его части, предназначенной для научных исследований, позволяет в качестве исходных данных задавать произвольные диаграммы деформирования материалов (полученных по опытным данным), что ставит возможным расчет бетонных сечений, армированных стеклопластиковой арматурой (рис.1).



**Рисунок 1. – Задание параметров диаграммы деформирования стеклопластиковой арматуры**

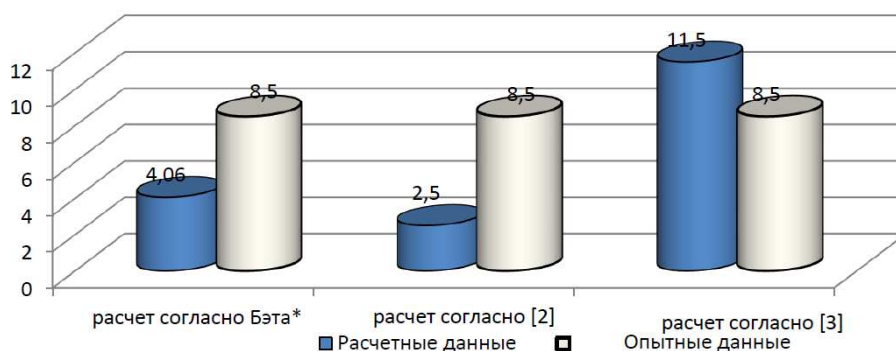
В качестве исходных данных для первого численного эксперимента использованы данные, соответствующие экспериментальным условиям, описанным в [8]: изгибаемый элемент, прямоугольного сечения, с размерами 100×180мм, армированный в растянутой зоне 4Ø8мм стеклопластиковой арматуры (в два ряда, с расстоянием между ними 30мм) с характеристиками:  $f_t=960\text{МПа}$ ,  $E_f=45200\text{МПа}$ , в сжатой зоне 2Ø6S500. Бетон класса C25/30. Результаты расчета ширины раскрытия трещин и прогибов по рассматриваемым методикам показаны на рис. 2, 3.

В качестве исходных данных для второго численного эксперимента использованы данные, соответствующие экспериментальным условиям, описанным в [7]: изгибаемый элемент, прямоугольного сечения, с размерами 120×220мм, армированный в растянутой зоне 1Ø10мм стеклопластиковой арматуры с характеристиками:  $f_t=962\text{МПа}$ ,  $E_f=45660\text{МПа}$ . Бетон класса C25/30. Результаты расчета ширины раскрытия трещин и прогибам по рассматриваемым методикам показаны на рис. 4, 5.



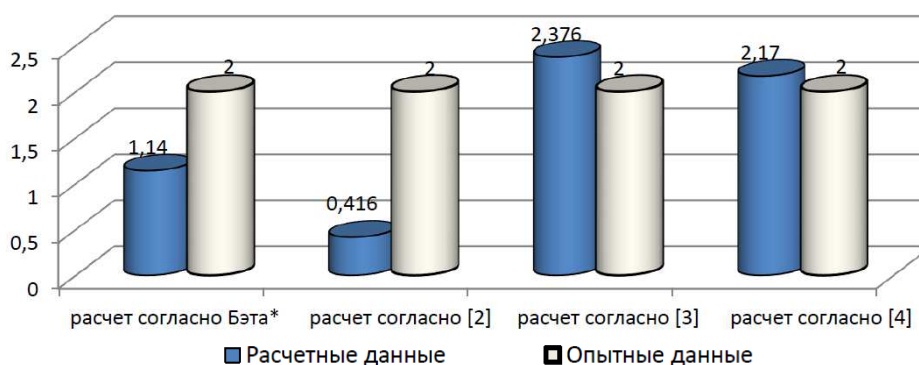
\* – расчет в программном продукте Betta+

Рисунок 2. –Сравнение результатов расчета ширины раскрытия трещин по различным методикам с опытными данными по [8]



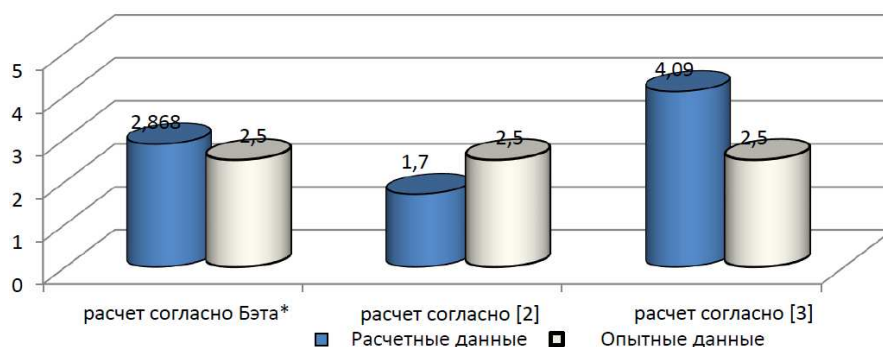
\* – расчет в программном продукте Betta+

Рисунок 3. – Сравнение результатов расчета прогибов по различным методикам с опытными данными по [8]



\* – расчет в программном продукте Betta+

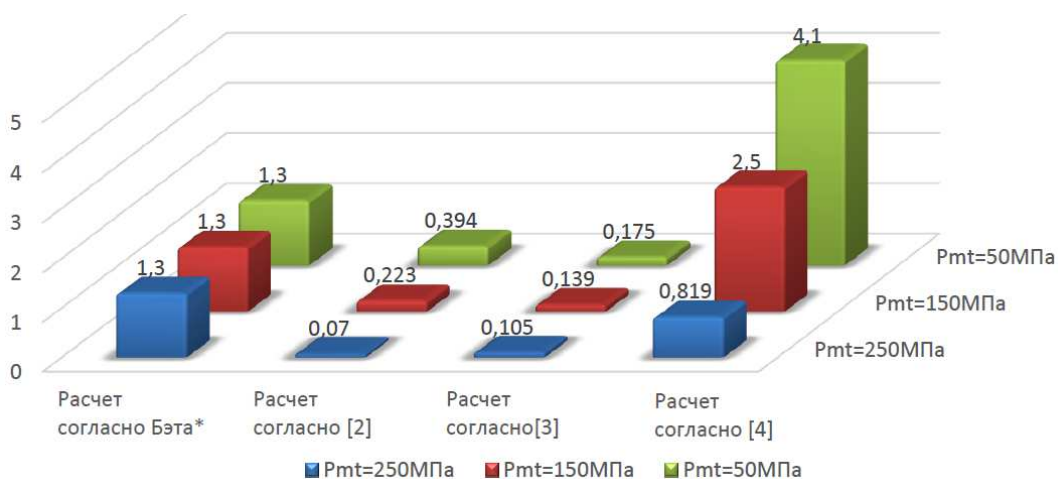
Рисунок 4. –Сравнение результатов расчета ширины раскрытия трещин по различным методикам с опытными данными по [7]



\* – расчет в программном продукте **Betta+**

**Рисунок 5. – Сравнение результатов расчета прогибов по различным методикам с опытными данными по [7]**

В качестве исходных данных для третьего численного эксперимента использованы данные, соответствующие условному предварительно напряженному элементу при различных уровнях предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры: изгибаемый элемент, прямоугольного сечения, с размерами 200×300мм, армированный в растянутой зоне 4Ø12мм стеклопластиковой арматуры с характеристиками:  $f_t=1045\text{МПа}$ ,  $E_f=55000\text{МПа}$ . Бетон класса С30/37. Расчет производили для трех различных уровней предварительного напряжения арматуры: 250МПа, 150МПа и 50МПа. Результаты расчета ширины раскрытия трещин по рассматриваемым методикам показаны на рис. 6.



\* – расчет в программном продукте **Betta+**

**Рисунок 6. – Сравнение расчетной ширины раскрытия трещин изгибаемых элементов с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой по различным методикам при различных уровнях предварительного напряжения арматуры**

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

1. Расчет ширины раскрытия трещин и деформаций изгибаемых стеклопластбетонных элементов без предварительного напряжения, основанный на общем деформационном методе, и реализованный в программном продукте BETAPLUS дает наибольшее приближение к опытным данным. Ширина раскрытия трещин, предшествующая моменту разрушения образца, рассчитанная в данном программном комплексе отличалась от опытных данных на величину, от 14,8% до 43%, прогибы – на величину от 14,7% до 52,3%. Однако, расчет в программном продукте BETAPLUS с заданием в качестве исходных данных фактических диаграмм деформирования стеклопластиковой арматуры, не позволяет оценить влияние предварительного напряжения элементов на их трещиностойкость и деформативность.

2. Анализ опытных и расчетных данных ширины раскрытия трещин и прогибов изгибаемых стеклопластбетонных элементов по различным методикам, основанным на упрощенной модели, показал, что наибольшее приближение к опытным данным дает расчет по методике [3], согласно которой расчетная ширина раскрытия трещин превышала опытную ширину раскрытия на величину от  $\approx 10,64\%$  до  $\approx 18,8\%$ , прогибы превышали опытные значения на величину от  $\approx 35,29\%$  до  $\approx 63\%$ .

3. Следует отметить на необходимость проведения экспериментальных исследований трещиностойкости и деформативности предварительно напряженных изгибаемых элементов со стеклопластиковой арматурой, без которых невозможно оценить достоверность предлагаемых методик расчета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and rules: EN 1992-1-1:2004, Eurocode 2. – CEN, 2004.
2. Рекомендации по проектированию конструкций из напрягающего бетона с композитной арматурой. – Минск, НИПТИС, 2014.
3. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой: Р-16-78. – Москва: НИИЖБ, 1978.
4. CNR-DT 203/2006 Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. – Rome, Italy, 2006.
5. Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования: СП 63.13330-2012. – Москва, 2013.
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 международного 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.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020



2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

---

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>