

Секция II
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 694

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

А.И. Гиль¹, Е.Д. Лазовский²

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: a.hil@psu.by¹, y.lazouski@psu.by²

В статье приведено обоснование и перспективы применения неметаллической композитной стержневой арматуры на основе стеклянных волокон без предварительного напряжения в составе комбинированного (гибридного) армирования совместно со стальными стержнями. Реализовано применения данного вида армирования в растянутой зоне опорного сечения статически неопределимых железобетонных балок. Приведены результаты экспериментальных исследований образцов двухпролетных неразрезных балок. Описан характер трещинообразования и разрушения опытных образцов.

Ключевые слова: композитная стеклопластиковая арматура, комбинированное армирование неразрезные железобетонные балки, трещинообразование.

STRESS-STRAIN STATE OF STATICALLY INDETERMINATE BEAMS WITH HYBRID REINFORCEMENT

A. Hil¹, E. Lazowski²

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: a.hil@psu.by¹, y.lazowski@psu.by²

The article presents the rationale and prospects for the use of non-metallic composite rod reinforcement based on glass fibers without prestressing as part of combined (hybrid) reinforcement together with steel rods. The application of this type of reinforcement in the stretched zone of the support section of statically indeterminate reinforced concrete beams is realized. The results of experimental studies of samples of two-span continuous beams are presented. The nature of crack formation and destruction of experimental samples is described.

Keywords: composite fiberglass reinforcement, combined reinforcement continuous reinforced concrete beams, cracking.

В настоящее время как в мире, так и в Республике Беларусь все большее применение находит неметаллическая композитная арматура. Композитная арматура (международное обозначение FRPC – fiber reinforced polymer composite (англ. полимерный композит, армированный волокном) представляет собой гетерогенную систему, включающую в себя армирующее высокопрочное волокно на основе стекла, арамида, углерода, базальта, составляющего основу композита и определяющего его прочностные и деформационные характеристики, и пластиковую матрицу, функция которой связь волокон между собой, защита поверхности стержня от внешних воз-

действий при транспортировке, монтаже и эксплуатации, а также передача внутренних усилий на волокно. Наиболее распространенная неметаллическая композитная арматура стеклопластиковая обладает рядом положительных качеств: высокая прочность при растяжении, не подвержена коррозии, имеет малый удельный вес. Однако, наряду с преимуществами существует ряд недостатков, не позволяющих широко внедрять такой вид армирования – низкая огнестойкость, относительно высокая стоимость, и, главный ее недостаток, низкий модуль упругости по сравнению со стальной традиционной арматурой. Отмечено, что сегодня применение неметаллических композитных стержней в качестве рабочей растянутой арматуры в железобетонных изгибаемых конструкциях возможно только в предварительно напряженных конструкциях [1-3].

Одним из решений данной проблемы является применение гибридного либо комбинированного армирования – расположение в растянутой зоне изгибаемого железобетонного элемента наряду с композитными стержнями некоторого количества металлической стержневой арматуры. Согласно результатам экспериментальных исследований [4], при применении такого вида армирования в растянутой зоне изгибаемых железобетонных балок, была получена пластическая форма разрушения образцов, а в их работе выделялась более протяженная стадия пластического деформирования, чем в аналогах с эквивалентным (по предельному растягивающему усилию) металлическим армированием.

Результаты данных исследований [4] позволили эффективно применить неметаллическую композитную стержневую арматуру на основе стеклянных волокон в изгибаемых железобетонных элементах без предварительного напряжения и предположить, что комбинированное армирование может иметь наиболее полезный эффект при применении в растянутой зоне сечений на промежуточных опорах статически неопределимых железобетонных балок, где, за счет более протяженной стадии пластического деформирования, будет происходить более рациональное перераспределения усилий между пролетными и опорными зонами элемента. Для подтверждения данной идеи были изготовлены экспериментальные образцы балок и разработана методика проведения испытаний [5].

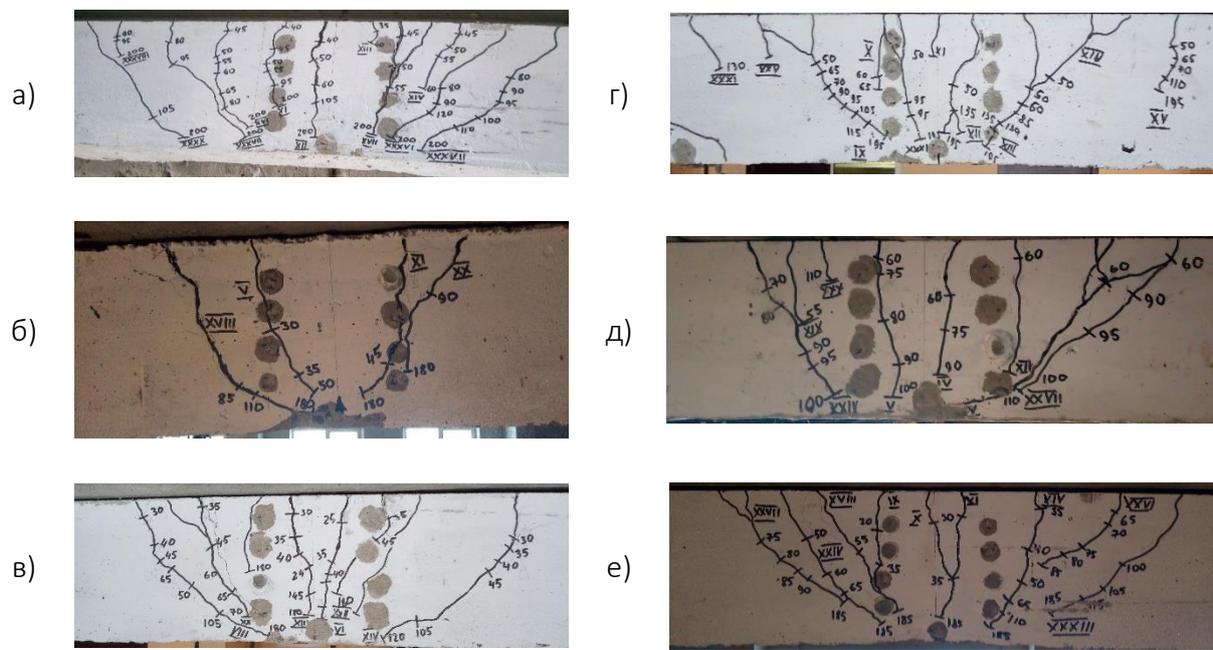
По результатам экспериментальных исследований были сделаны первые выводы о характере работы и разрушении статически неопределимых железобетонных двухпролётных балок с комбинированным (гибридным) армированием стеклопластиковыми и металлическими стержнями растянутой зоны опорного сечения.

Характер трещинообразования образцов балок при поэтапном нагружении внешней нагрузкой проявляется появлением трещин нормального отрыва в центральных опорных сечениях (либо практически одновременно в пролетных сечениях в зоне чистого изгиба) при нагрузке составляющей 10-15% (Б1Э, Б2Э, Б3, Б6) и 24% от разрушающей (Б4, Б5), что соответствовало значениям внутреннего изгибающего момента близкому к моменту трещинообразования каждой из балок, при дальнейшем увеличении нагрузки (на 5% от разрушающей) трещины нормального отрыва образовывались в пролетных сечениях в зоне максимального действия изгибающего момента.

Трещины нормального отрыва в опорном сечении образовывались по оси центральной опоры и справа и слева от центральной трещины практически одновременно. С увеличением нагрузки трещины пролетном и опорном сечении развивались, происходило появление новых трещин. Расстояние между трещинами в пролетных сечениях у образцов балок Б1Э, Б3-Б6 были близкие по величине и составляли 100...120мм. Расстояние между трещинами в образце Б2Э составили 180...200мм.

Характер развития трещин в опытных образцах различался. В балках Б3, Б4, Б5 все трещины в опорном сечении образовались одновременно при нагрузке 20-25% от разрушающей и новых трещин не образовалось. В балках Б6, Б1Э при достижении нагрузки 40% от разрушающей обра-

зовались новые трещины справа и слева от центральных трещин. В эталонной балке Б2Э первые трещины в опорном сечении образовались при нагрузке 20% от разрушающей, при достижении уровня загрузки в 40% от разрушающей нагрузки образовались новые трещины. Отмечено, что в балке Б2Э в опорной зоне образовалось всего 4 трещины, в остальных опытных образцах в опорной зоне образовалось 8-10 трещин. Картина трещин центрального опорного сечения представлена на рисунке 1.



а – Б1Э; б – Б2Э; в – Б3; г – Б4; д – Б5; е – Б6

Рисунок 1. – Картина трещинообразования зоны центрального опорного сечения образцов балок

При дальнейшем нагружении во всех образцах в пролетных сечениях образовывались критические трещины нормального отрыва, которые развивались и достигали сжатой зоны опытного образца, и, в итоге, происходило пластическое разрушение образца.

Все образцы показали близкую по характеру работу при разрушении. Разрушение балок происходило в пролетном сечении в зоне чистого изгиба, независимо от количества гибридного армирования в растянутой зоне опорного сечения, при достаточно близком значении предельного изгибающего момента. При этом, следует обратить внимание на обстоятельство, что при достаточно близком значении опорного изгибающего момента (за исключением образца балки Б2Э с полностью композитным армированием растянутой зоны опорного сечения) балки с гибридным армированием Б3, Б4, Б5, Б6 (с процентом композитной арматуры в составе гибридного армирования 0,175, 0,29, 0,41 и 0,58% соответственно) имели более протяженную стадию пластического деформирования, чем балка с полностью металлическим армированием Б1Э.

В работе исследуемых образцов балок можно выделить несколько основных этапов:

- 1-ый этап: работа системы без образования трещин, соответствующая работе при малых нагрузках до достижения предельных значений изгибающего момента трещинообразования в опорном или пролетном сечении. Увеличение изгибающих моментов на центральной опоре и в пролете проходит равномерно, практически линейно;

- 2-ой этап: работа системы после образования трещин. В процессе нагружения образцов балок первые нормальные трещины, как правило, образуются в растянутой зоне центрального

опорного сечения в зоне действия максимального изгибающего момента, а затем (либо практически одновременно) в пролетном сечении в зоне чистого изгиба. После образования первых трещин при последующем нагружении увеличение опорного изгибающего момента замедляется, при этом развитие пролетного момента практически не изменяется;

– 3-ий этап характеризуется работой системы с сечениями, в которых гибридная арматура достигла неупругих деформаций (образование пластического шарнира). В процессе и после образования пластического шарнира над центральной опорой, образование которого обусловлено достижением текучести стальной составляющей гибридного армирования, происходит перераспределение усилий с увеличением пролетного момента и замедлением возрастания надопорного момента, что отчетливо наблюдается в образцах балках Б4-Б6. Данный этап заканчивается исчерпанием несущей способности системы, при этом достижение текучести стальной арматуры и количество гибридного армирования существенно меняет характер работы статически неопределимых балок.

ЛИТЕРАТУРА

1. fib 2005 "FRP Reinforcement for reinforced concrete structures", Task Group 9.3 (Fiber-Reinforced Polymer) Reinforcement for Concrete Structures, Lausanne, Switzerland, 2005 –173p.
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. Тур, В.В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / В.В. Тур, В.В. Малыха // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 58-65.
5. Гиль, А. И. Методика экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с гибридным армированием растянутой зоны центрального опорного сечения / А. И. Гиль, Е. Д. Лазовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 16. – С. 59-64.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

УДК 72:624/628+69(082)

Одобрено и рекомендовано в качестве электронного издания
Советом инженерно-строительного факультета (протокол № 8 от 27.10.2021 г.)

Редакционная коллегия:

Д. Н. Лазовский (председатель), А. А. Бакатович, Е. Д. Лазовский,
Л. М. Парфенова, Ю. В. Вишнякова, Р. М. Платонова, А. М. Хаткевич

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

[Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-779-2.

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 г.*

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 978-985-531-779-2

©Полоцкий государственный университет, 2021

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
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Технический редактор *И. Н. Чапкевич.*

Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой, С.Е. Рясовой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.11.2021.

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>