

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА  
БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)  
АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)  
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

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

Электронный сборник статей  
международной научной конференции,  
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией  
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;  
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2018

*Редакционная коллегия:*

А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ** [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

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. Рассмотрены 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.*

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

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

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ГИБРИДНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

А.И. Гиль, Е.Д. Лазовский

Полоцкий государственный университет, Беларусь

email: a.hil@psu.by

*Рассмотрен вариант применения композитной арматуры совместно с металлической (гибридное армирование) в изгибаемых статически неопределяемых железобетонных элементах. Показаны преимущества, недостатки и перспективы применения данного вида армирования. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, показаны характеристики и конструкции опытных образцов, схема установки приборов при испытании. Представлена последовательность проведения испытания.*

*Ключевые слова: композитная арматура, гибридное армирование, испытательная установка, экспериментальные исследования, неразрезная балка.*

THE METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL STUDIES OF RESISTANCE TO BENDING  
OF STATICALLY INDETERMINATE REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH HYBRID REINFORCEMENT

A. Hil, Y. Lazouski

Polotsk State University, Belarus

email: a.hil@psu.by

*In this paper, the application of composite reinforcement together with metallic (hybrid reinforcement) in bent statically undetectable reinforced concrete elements is considered. The advantages, disadvantages and prospects of using this type of reinforcement are shown. A technique for carrying out experimental studies has been developed; the characteristics and designs of experimental samples, the scheme of installation of instruments during testing are shown. The sequence of the test is presented.*

*Keywords: composite reinforcement, hybrid reinforcement, test installation, experimental studies, continuous beam.*

В настоящее время все большее применение в строительстве находит неметаллическая композитная арматура, которую в международной практике принято обозначать FRP – *fiber reinforced polymer composite* [1–3]. Такая арматура находит широкое применение при возведении железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, конструкций специального назначения. Следует отметить, что широкое внедрение такого вида армирования затруднено в связи с отсутствием единых требований государственных либо международных стандартов к механическим свойствам и формам поверхности композитных стержней, методам расчета конструктивных элементов, армированных композитной арматурой, единых требований к методам контроля качества и правил приемки стержней. Кроме того, существенную роль в ограничении возможности применения композитной ар-

матуры (из стеклянных, базальтовых и арамидных волокон) играет ряд отрицательных свойств композита: низкая огнестойкость, низкий модуль упругости, а также низкая щелочестойкость, от которой будет зависеть долговечность проектируемых конструкций.

В последнее время все больше внимания уделяется вопросу расширения области 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 главных, на данный момент, проблем применения композитной арматуры в качестве рабочей (при полной замене стальной) в железобетонных конструкциях, а именно низкого значения модуля упругости (порядка 50 ГПа) и отсутствия надежных анкерных элементов. Исследования в этой области [4–6] показали, что, железобетонный изгибаемый элемент, армированный исключительно композитной арматурой, после образования нормальных трещин работает линейно-упруго и разрушение такого типа элементов происходит по бетону. 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. Кроме того, практически отсутствуют методики расчета трещиностойкости и потерь преднапряжения для данного вида армирования.

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 статически определимых балок с комбинированным армированием [7] позволили получить пластическую форму разрушения элемента. Кроме того, авторами отмечено, что ветвь пластического деформирования элемента с комбинированным армированием (даже с минимальным количеством композитной арматуры) на графике зависимости «изгибающий момент – прогиб», оказалась существенно протяженней, нежели у элементов, армированных исключительно металлической арматурой. Анализ результатов проведенных испытаний [7] дает возможность предположить, что даже небольшое количество композитной арматуры, работающей в упругой стадии деформирования, 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 в перспективе расширить область применения композитной арматуры без предварительного напряжения.

Для проверки эффективности применения гибридного армирования в неразрезных балках планируется произвести следующие экспериментальные исследования. Исследования будут проведены на опытных образцах в виде двухпролетных балок прямоугольного поперечного сечения 120 мм (b) x 190 мм (h) длиной 4000 мм, пролетом 1800 мм. В качестве варьируемого параметра выбрано количество металлической и композитной арматуры в опорном сечении. Программа исследований составлена таким образом, чтобы принятое суммарное количество арматуры опорной зоны, оценивалось механическим индексом

армирования  $\omega$  ( $\omega = \frac{f_{yk} \cdot \rho_{st} + f_{pk} \cdot \rho_p}{f_{cm}}$ ,  $f_{cm} = 25$  МПа), обеспечивающим достижение пример-

но равного значения предельного изгибающего момента при прогнозируемом разрушении балок по нормальным сечениям (по растянутой зоне). Были изготовлены 4 опытных образца

неразрезных двухпролетных балок с гибридным армированием опорной зоны, а также два эталонных образца с полностью металлической и композитной арматурой в опорных сечениях соответственно. Характеристика опытных образцов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика опытных образцов

Обозначения балок	Размеры поперечного сечения, мм	Армирование опорной зоны	Площадь, мм <sup>2</sup>		Коэффициент армирования, %		ω
			A <sub>st</sub>	A <sub>p</sub>	ρ <sub>st</sub>	ρ <sub>p</sub>	
БЭ1	120x190	2d12 S500	226	-	0,99	-	19,8
БЭ2		2d10 FRP1300	-	133,34	-	0,58	28,9
Б3		2d10 S500, d8FRP1300	157	40	0,69	0,175	21,29
Б4		2d8 S500, d10FRP1300	101	66,67	0,44	0,29	23,25
Б5		2d6 S500, d12FRP1300	57	94,34	0,25	0,41	25,73
Б6		2d6 S500, 2d10FRP1300	57	133,34	0,25	0,58	33,9

Армирование образцов осуществлялось пространственными вязанными каркасами. Выбор вязанных каркасов обуславливался влиянием на сопротивление изгибу таких факторов, как ослабление сечения арматуры при ее сварке, влияние приваренных поперечных стержней на сцепление продольной арматуры с бетоном. Шаг поперечных стержней выбирался таким образом, чтобы не допустить разрушение образцов балок по наклонным сечениям от среза.

Для продольного армирования нижней зоны опытных образцов использовалась стержневая арматура периодического профиля диаметром 12 мм класса S500 (выбор одинакового количества арматуры в опорном и пролетном сечении обусловлен необходимостью получения перераспределения усилий за счет деформирования арматуры опорной зоны, т.е. ослабления опорного сечения); для поперечного армирования – вязанные замкнутые хомуты из арматурной стали класса S500 диаметром 6мм. Для продольного армирования верхней зоны образцов балок применялось гибридное армирование, в качестве стальной арматуры используются стержни периодического профиля диаметром 6, 8, 10 и 12 мм класса S500, в качестве композитного армирования стержневая стеклопластиковая арматура периодического профиля диаметром 8, 10 и 12 мм, производства ЧТУП «Минпласт» прочностью при растяжении не ниже  $f_{pk} = 1000$  МПа. Конструкция образцов балок и схема армирования показана на рисунке 1, спецификация арматурных изделий представлена в таблице 2.

С целью определения физико-механических характеристик продольной и поперечной арматуры опытных образцов-балок были отобраны отрезки арматуры из тех же партий, которые использовались для изготовления арматурных каркасов. Испытания по определению физико-механических характеристик стеклопластиковой арматуры проводились согласно ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик» на отрезках стержней, отобранных из тех же партий, которые использовались при изготовлении каркасов.

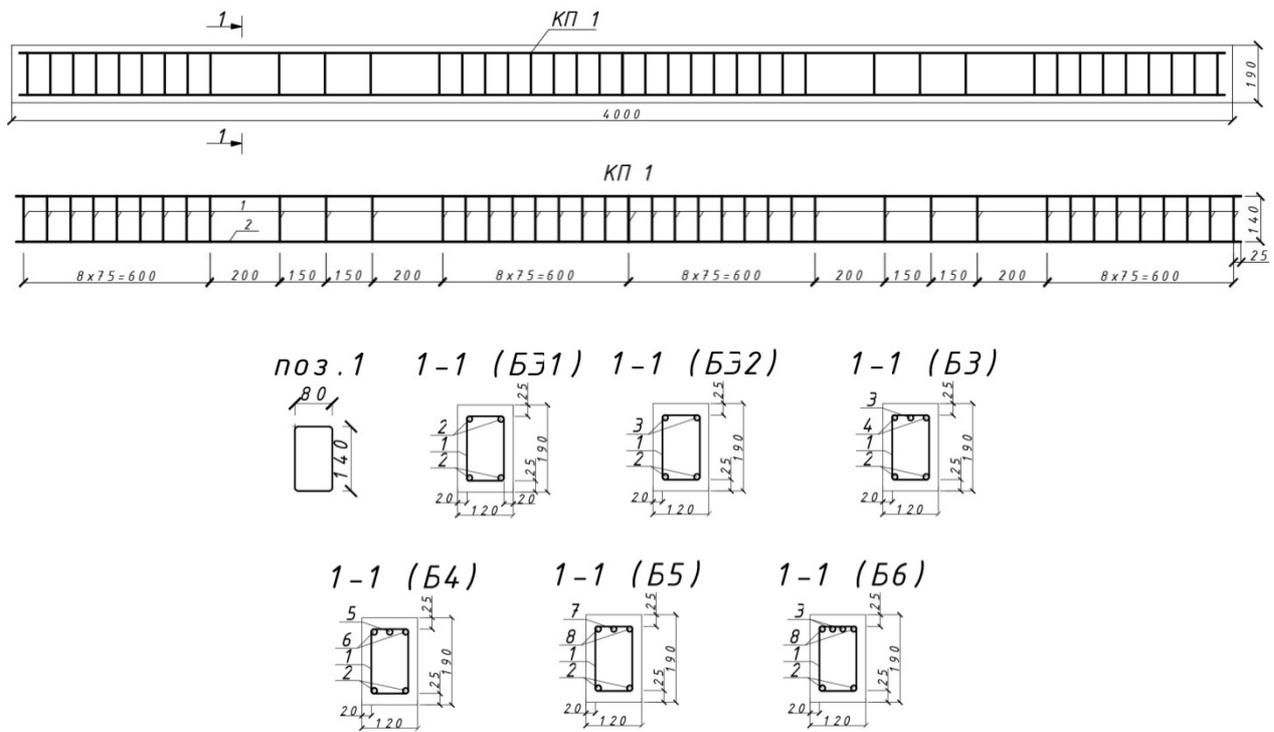


Рисунок 1. – Конструкция образцов и схема армирования образцов-балок

Таблица 2 – Спецификация арматурных изделий

Поз.	Наименование	Кол-во, шт.	Поз.	Наименование	Кол-во, шт.
КП1 БЭ1			КП1 Б5		
1	Ø6 S500 L=500	41	1	Ø6 S500 L=500	41
2	Ø12 S500 L=3950	4	2	Ø12 S500 L=3950	2
КП1 БЭ2			7	Ø12 FRP L=3950	1
1	Ø6 S500 L=500	41	8	Ø6 S500 L=3950	2
2	Ø12 S500 L=3950	2	КП1 Б6		
3	Ø10 FRP L=3950	2	1	Ø6 S500 L=500	41
КП1 Б3			2	Ø12 S500 L=3950	2
1	Ø6 S500 L=500	41	3	Ø10 FRP L=3950	2
2	Ø12 S500 L=3950	2	8	Ø6 S500 L=3950	2
4	Ø8S500 L=3950	2			
3	Ø10 FRP L=3950	1			
КП1 Б4					
1	Ø6 S500 L=500	41			
2	Ø12 S500 L=3950	2			
5	Ø8FRP L=3950	1			
6	Ø10S500 L=3950	2			

Балки будут испытаны как двухпролетные неразрезные, загруженные четырьмя сосредоточенными силами, расположенными симметрично относительно средней опоры на расстоянии 600 мм и 1200 мм соответственно. Загрузка балок будет осуществляться с помощью гидравлического домкрата, подключенного к ручной насосной станции. Нагрузка от домкрата на каждый пролет балки будет передаваться через распределительную траверсу, выполненную из прокатных швеллеров. Испытания образцов балок будут проведены согласно ГОСТ 8829-94.

Для раскрытия статической неопределимости в качестве опор будут использованы образцовые динамометры ДОСМ 3-5. Для измерения угла поворота опорного поперечного сечения относительно вертикальной оси на боковой поверхности грани балки будет жестко закреплена металлическая планка с установленными на ее концах индикаторами часового типа, при помощи которых будут измеряться перемещения концов планки по горизонтали. Для дополнительного определения угла поворота будут использованы электрические инклинометры, установленные на верхней грани балки. Прогибы будут определяться при помощи прогибомеров БПАО, установленных в пролете и на опорах (для учета влияния осадки опор). Для определения ширины раскрытия трещин будут использованы микроскопы с ценой деления 0,05мм. Для определения деформаций по высоте опорного сечения будет использована система комплексного мониторинга «Терем-4». Нулевые показания приборов будут сниматься до начала испытаний с учетом собственного веса конструкции. Схема расстановки приборов приведена на рисунке 2.

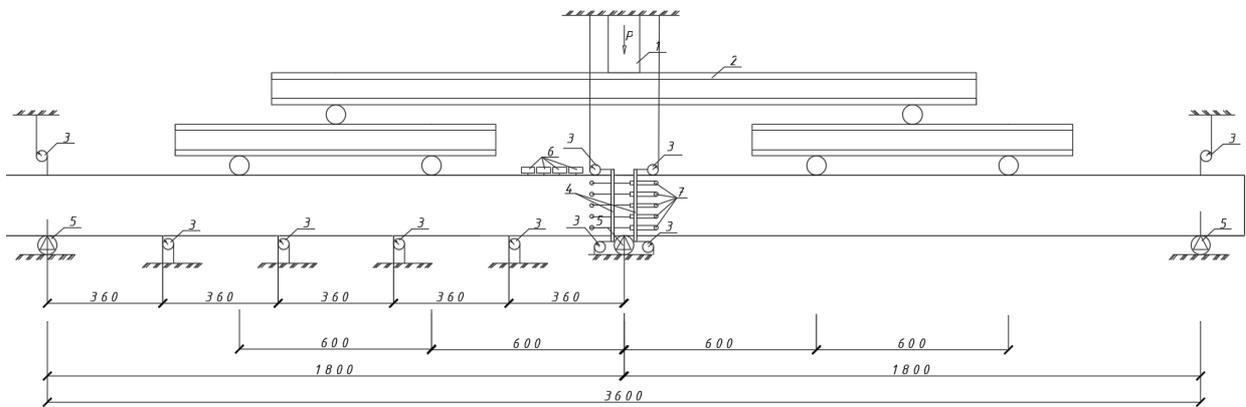


Рисунок 2 – Схема расстановки приборов на опытной балке:

- 1 – гидравлический домкрат; 2 – распределительная траверса; 3 – прогибомер;  
 3' – индикаторы часового типа; 4 – металлическая планка; 5 – образцовый динамометр;  
 6 – электронный инклинометр; 7 – система мониторинга «Терем-4»

Для получения новых экспериментальных данных о характере работы изгибаемых статически неопределимых железобетонных балок с гибридным армированием, а также для подтверждения предполагаемой методики расчета, была разработана методика проведения экспериментальных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

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 кон-

ференции / 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 [Электронный ресурс] // П.П. Польской, Мерват Хишмах, Михуб Ахмад // Электр. журн. «Инженерный вестник дона». – 2012. – № 4.

6. Маилян, Д.Р. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин [Электронный ресурс] / П.П. Польской, Д.Р. Маилян. – CYBERLENINKA. – 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 / В.В. Тур, В.В. Малыха // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 58–65.