

УДК 624.072.2:693.554

ББК 38.5

А-83

*Польской Петр Петрович*, кандидат технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций факультета промышленного и гражданского строительства Ростовского государственного строительного университета; тел.: 8(863)2019031;

*Маилян Дмитрий Рафаэлович*, доктор технических наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций факультета промышленного и гражданского строительства Ростовского государственного строительного университета; тел.: 8(863)2019031;

*Шилов Александр Андреевич*, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций факультета промышленного и гражданского строительства Ростовского государственного строительного университета; тел.: 8(988)5508826;

*Меретуков Заур Айдамирович*, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных и общепрофессиональных дисциплин ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772)525534.

## **АРМИРОВАНИЕ И СХЕМЫ ИСПЫТАНИЯ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ БАЛОК С ВНЕШНИМ КОМПОЗИТНЫМ УСИЛЕНИЕМ**

(рецензирована)

Приводятся сведения о размерах сечения и стального армирования опытных образцов, схемы их испытания на предварительном этапе и после усиления композитными материалами в пролетах среза. Представлены варианты усиления по каждому образцу, с указанием шифра.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, сталь, композитный материал, углепластик, усиление, испытание, прочность, наклонные сечения.

*Polskoy Peter Petrovich*, Candidate of Technical Sciences, professor of the Department of Ferroconcrete and Stone constructions of the Faculty of Industrial and Civil engineering of the Rostov state construction university, tel.: 8(863)2019031;

*Mailyan Dmitry Rafaelovich*, Doctor of Technical Sciences, head of the Department of Ferroconcrete and Stone constructions of the Faculty of Industrial and Civil engineering of the Rostov state construction university, tel.: 8(863)2019031;

*Shilov Alexander Andreevich*, post graduate student of the Department of Ferroconcrete and Stone constructions of the Faculty of Industrial and Civil engineering of the Rostov state construction university, tel.: 8(988)5508826;

*Meretukov Zaur Aydamirovich*, Doctor of Technical Sciences, associate professor, head of the Department of Construction and General professional disciplines of FSBEI HE "Maikop state technological university"; 385000, Maikop, 191 Pervomayskaya St., tel.: 8(8772)525534.

## **REINFORCING AND TESTING THE SCHEMES OF THE INCLINED SECTIONS OF BEAMS WITH EXTERNAL COMPOSITE STRENGTHENING**

(reviewed)

Data on the sizes of section and steel reinforcing of test samples and schemes of their testing at a preliminary stage and after strengthening with composite materials in cut flights have been given. Strengthening options on each sample with the code indication have been presented.

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, steel, composite material, coal plastic, strengthening, test, durability, inclined sections.

## Введение

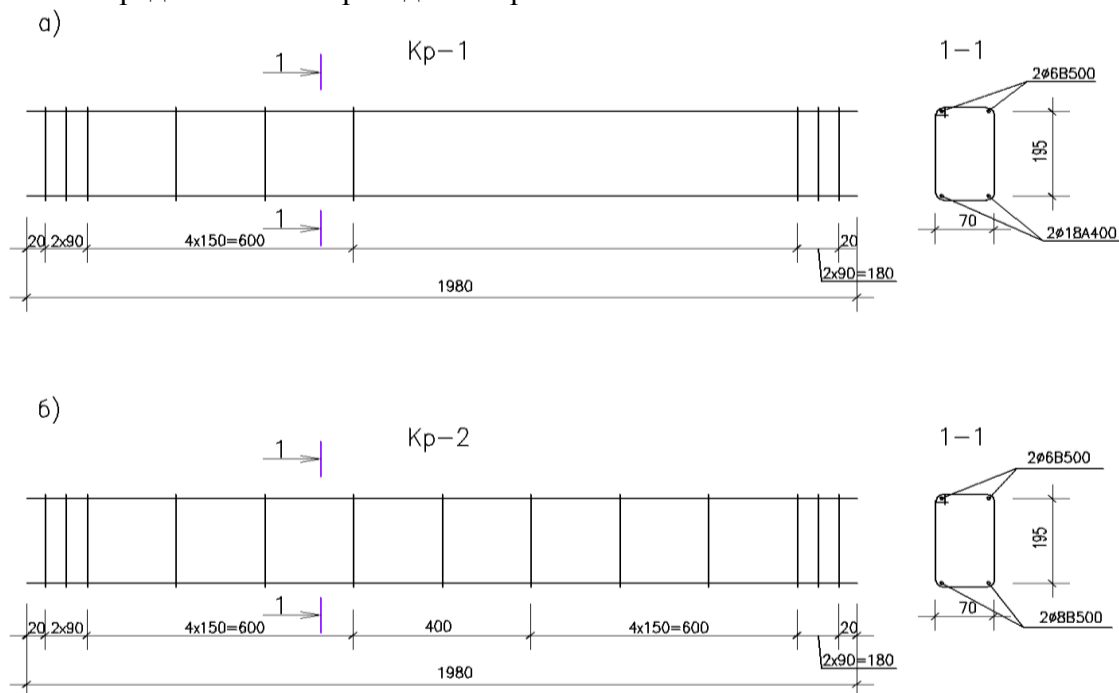
Исследование прочности приопорных сечений балок с трещинами, усиленных внешней композитной арматурой, осуществляется на образцах из тяжелого бетона проектного класса В30.

Для получения сопоставимых результатов, все опытные образцы имели одинаковые размеры сечения 125х250 мм и длину 2000 мм. Одинаковым было и продольное армирование сжатой и растянутой зоны балок.

## Материалы и методы

Поперечное армирование для двух опытных образцов из 26 отличалось от остальных, что предусмотрено задачами исследования. Оно представлено вязанными хомутами из холодно-деформированной проволоки  $\text{Ø}3\text{B}500$  и выполнено в двух вариантах. Эталонные образцы имели поперечное армирование на одном из приопорных участков, а остальные с двух сторон каркасов. Шаг поперечной арматуры принят одинаковым и равным 150 мм в пролетах среза и 200 мм – в зоне чистого изгиба.

Наличие или отсутствие хомутов на приопорных участках позволяет получить несущую способность наклонных сечений железобетонных элементов, которая обеспечивается только работой бетона  $Q_b$ , либо бетоном совместно с поперечной арматурой ( $Q_b+Q_{sw}$ ). Таким образом, эталонные образцы позволяют определять эффективность работы внешней композитной арматуры при прямом сопоставлении результатов испытания эталонных и усиленных образцов. Конструкция каркасов соответствует ГОСТ 8829-94 для эталонных и рядовых балок приведена на рис. 1.



**Рисунок 1.** Схема продольного и поперечного армирования для эталонных (а) и рядовых (б) балок

## Результаты и обсуждения

Как уже было отмечено в программе исследования, размещенной в настоящем журнале, все рядовые образцы загружались предварительной нагрузкой до раскрытия наклонных трещин на одном из пролетов среза в балке до величины  $a_{ср} = 0.4$  мм.

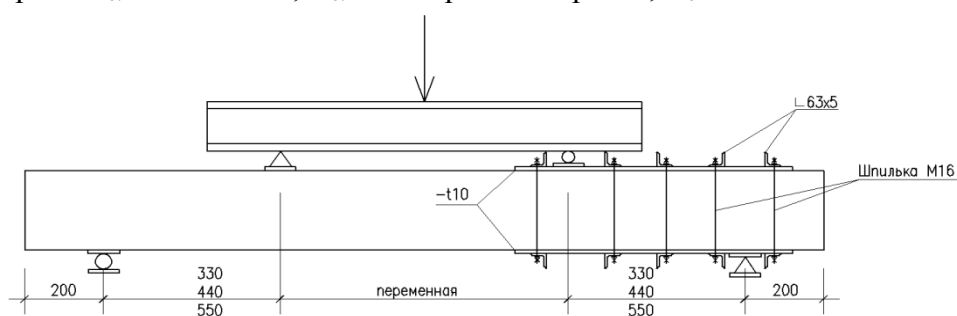
После образования трещины опытные образцы усиливались внешней композитной арматурой, после чего, уже на третьем этапе исследований, загружались повторной нагрузкой при различных пролетах среза, равных  $(1,5; 2,0 \text{ и } 2,5)h_0$ .

Для учета влияния начальных трещин на прочность усиленного сечения, каждая балка испытывалась дважды. До начала испытания один из приопорных участков без трещин усиливался стальной обоймой. Затем прикладывалась ступенчатая нагрузка до разрушения образца. Далее усиливался уже разрушенный участок и испытание повторялось. Схема испытания образцов, усиленных композитными материалами, представлена на рис. 2. Свойства материалов, используемых при изготовлении и усилении образцов, приведены в одной из статей настоящего сборника.

Как уже отмечалось ранее, композитные и все расходные материалы были поставлены Московским отделением фирмы BASF. Надежность углепластиков горячего и холодного отверждения была подтверждена при исследовании изгибаемых [1, 2, 3] и сжатых [4, 5, 6, 7] элементов, усиленных композитными материалами.

**Шифр** опытных образцов принят следующим:

**Первая прописная буква** русского алфавита – отражает величину пролета среза, при котором формировались наклонные трещины с раскрытием 0,4 мм: «а» – балки, загруженные с пролетом среза  $2h_0$ , «б» – тоже  $1,5h_0$ , «в» – пролетом среза  $2,5h_0$ .



**Рисунок 2.** *Схема усиления приопорных участков стальной обоймой и испытания опытных образцов*

**Вторая заглавная буква** русского алфавита «Б» – означает эталонную балку.

**Третья заглавная буква** русского алфавита «У» – означает наличие композитного усиления.

**Третья** после буквы «Б» и **четвертая** после «У» **прописные буквы** обозначают величину пролета среза, при котором испытывались балки после усиления композитными хомутами.

Арабские цифры 1-1 или 2-2 обозначают порядковый номер балок-близнецов. Прописная буква «П» рядом с арабскими цифрами означает наличие поперечной арматуры на одном из пролетов среза эталонных балок.

**Пятая заглавная буква** «Х» или «Х\*» означают наличие усиления U-образными хомутами соответственно при отсутствии и наличии начальных наклонных трещин.

**Римские цифры** рядом с буквой «Х» и «Х\*» – это вид композитного усиления. I – хомут из одного слоя углеткани шириной 50 мм; II – то же, из двух слоев углеткани; III – хомут из двух слоев углеткани, шириной 100 мм; IV – Полная обойма из одного слоя углеткани.

**Латинская буква** «L» рядом с буквой «Х» обозначает наличие усиления растянутой зоны балок углеламинатом шириной 50 мм и толщиной 1,2 мм.

Здесь следует отметить, что при усилении наклонных сечений учтены требования СП 164.1325800, а также других рекомендаций [8, 9, 10].

Учитывая что все рядовые опытные образцы, усиленные композитными материалами, имеют одинаковое продольное и поперечное армирование, то в шифре это не отражено.

## Заключение

Полный шифр образцов и варианты их усиления приведены в табл. 1.<sup>1</sup>  
Таблица 1 - Характеристика и варианты поперечного усиления опытных образцов из бетона класса В30

Серии предварительного испытания (I этап)	Шифр опытных балок	Серии испыт. усиленных балок (III этап)	Варианты усиления наклонных сечений (II этап)
Эталонные образцы			
	аБа-1-1п		
	аБа-2-2п		
Усиленные образцы			
«а» (a/h <sub>0</sub> )=2.0	аБУа-1X <sub>I</sub> -1X* <sub>I</sub>		W <sub>f</sub> =50
	аБУа-2X <sub>II</sub> -2X* <sub>II</sub>		2W <sub>f</sub> =50
	аБУб-1X <sub>I</sub> -1X* <sub>I</sub>		W <sub>f</sub> =50
	аБУб-2X <sub>II</sub> -2X* <sub>II</sub>		2W <sub>f</sub> =50
	аБУв-1X <sub>I</sub> -1X* <sub>I</sub>		W <sub>f</sub> =50
	аБУв-2X <sub>II</sub> -2X* <sub>II</sub>		2W <sub>f</sub> =50
	аБУа-1X <sub>III</sub> -1X* <sub>III</sub>		W <sub>f</sub> =100
	аБУа-2X <sub>III</sub> -2X* <sub>III</sub>		2W <sub>f</sub> =100
	аБУв-1X <sub>IV</sub> -1X* <sub>IV</sub>		W <sub>f</sub> =100
	аБУв-2X <sub>IV</sub> -2X* <sub>IV</sub>		2W <sub>f</sub> =100
	аБУв-1X <sub>III</sub> L-1X <sub>III</sub> L*		W <sub>f</sub> =400
	аБУв-2X <sub>III</sub> L-2X <sub>III</sub> L*		2W <sub>f</sub> =400
«б» (a/h <sub>0</sub> )=1.5	бБУа-1X <sub>I</sub> -1X <sub>I</sub> *		W <sub>f</sub> =50
	бБУа-2X <sub>II</sub> -2X <sub>II</sub> *		2W <sub>f</sub> =50
	бБУб-1X <sub>I</sub> -1X <sub>I</sub> *		W <sub>f</sub> =50
«б» (a/h <sub>0</sub> )=1.5	бБУб-2X <sub>II</sub> -2X <sub>II</sub> *		2W <sub>f</sub> =50
	бБУв-1X <sub>I</sub> -1X <sub>I</sub> *		W <sub>f</sub> =50
	бБУв-2X <sub>II</sub> -2X <sub>II</sub> *		2W <sub>f</sub> =50
«в» (a/h <sub>0</sub> )=2,5	вБУа-1X <sub>I</sub> -1X <sub>I</sub> *		W <sub>f</sub> =50
	вБУа-2X <sub>II</sub> -2X <sub>II</sub> *		2W <sub>f</sub> =50
	вБУб-1X <sub>I</sub> -1X <sub>I</sub> *		W <sub>f</sub> =50
	вБУб-2X <sub>II</sub> -2X <sub>II</sub> *		2W <sub>f</sub> =50
	вБУв-1X <sub>I</sub> -1X <sub>I</sub> *		W <sub>f</sub> =50
	вБУв-2X <sub>II</sub> -2X <sub>II</sub> *		2W <sub>f</sub> =50

**Примечание:** символ W<sub>f</sub> означает ширину U-образного хомута.

### Литература:

1. Польской П.П., Маилян Д.Р. Об уточнении расчетов прогибов балок, усиленных композитными материалами // Научное обозрение. 2014. №12, ч. 2. С. 493-495.
2. Маилян Д.Р., Польской П.П. О расчете ширины нормальных трещин балок, усиленных стекло и углепластиком // Научное обозрение. 2014. №12, ч. 2. С. 490-492.

<sup>1</sup> Авторы статьи и одновременно исполнители программы исследования выражают благодарность А.Н. Костенко – руководителю Московского отделения ООО «БАСФ строительные системы» за помощь в предоставлении композитных и всех расходных материалов, св. необходимых при усилении конструкций.

3. Польской П.П., Маилян Д.Р. Опыт использования композитных материалов при усилении здания Аксайского автоцентра // Научное обозрение. 2014. №12, ч. 3. С. 762-765.
4. Польской П.П., Георгиев С.В. Вопросы исследования сжатых железо-бетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134)
5. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Методики усиления угле-пластиком и испытания коротких и гибких стоек // Научное обозрение. 2014. №10, ч. 2. С. 415-418.
6. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение. 2014. №12, ч. 2. С. 496-499.
7. Польской П.П., Георгиев С.В. Характеристики материалов, используемых при исследовании коротких и гибких стоек, усиленных углепластиком // Научное обозрение. 2014. №10, ч. 2. С. 411-414.
8. Клевцов В.А. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами // НИИЖБ. 2006. С. 48.
9. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 // General rules and rules for buildings. 2004. P. 229.
10. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures // ACI 440.2R-08. American Concrete Institute. 2008. P. 76.

#### **Literature:**

1. *Polskoy P.P., Mailyan D. R. On the specification of calculations of deflections of the beams strengthened with composite materials//Scientific review. 2014. No. 12, p. 2. P. 493-495.*
2. *Mailyan D. R., Polskoy P.P. On the calculation of width of normal cracks of the beams strengthened with glass and coal plastic//Scientific review. 2014. No. 12, p. 2. P. 490-492.*
3. *Polskoy P.P., Mailyan D. R. Experience of the use of composite materials when strengthening the building of Aksaysk car center//Scientific review. 2014. No. 12, p. 3. P. 762-765.*
4. *Polskoy P.P., Georgiev S. V. Questions of the research of the squeezed ferroconcrete elements strengthened by different types of composite materials [Electronic resource]// Engineering bulletin of Don. 2013. No. 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134)*
5. *Mailyan D. R., Polskoy P.P., Georgiev S. V. Strengthening techniques with coal plastic and testing of short and flexible racks//Scientific review. 2014. No. 10, p. 2. P. 415-418.*
6. *Polskoy P.P., Mailyan D. R., Georgiev S. V. Durability and deformation qualities of the flexible strengthened racks at big eccentricities//Scientific review. 2014. No. 12, p. 2. P. 496-499.*
7. *Polskoy P.P., Georgiev S. V. Characteristics of the materials used at the research of the short and flexible racks strengthened by coal plastic// Scientific review. 2014. No. 10, p. 2. P. 411-414.*
8. *Klevtsov V.A. Manual on the strengthening of ferroconcrete designs with composite materials//SRIFC. 2006. P. 48.*
9. *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1//General rules and rules for buildings. 2004. P. 229.*
10. *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures//ACI 440.2R-08. American Concrete Institute. 2008. R. 76*