

УДК. 624.072.2

ББК 38.5

П-78

*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.

**О ПРОГРАММЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ БАЛОК  
С ТРЕЩИНАМИ, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ**  
(рецензирована)

*Представлено обоснование темы исследования прочности наклонных сечений балок с трещинами. Приведена программа исследования опытных образцов, усиленных композитными материалами на основе углепластика, при различных пролетах среза и вариантах усиления.*

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, сталь, композит, углепластик, балка, образец, прочность, пролет среза.

*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.*

**ON THE PROGRAM OF THE RESEARCH OF INCLINED SECTIONS OF THE BEAMS  
WITH CRACKS STRENGTHENED BY THE COAL PLASTIC**  
(reviewed)

*The subject of the research of durability of inclined sections of beams with cracks has been proved. The program of the research of the test samples strengthened by composite materials on the basis of a coal plastic at various flights of a cut and options of strengthening has been provided.*

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, steel, composite, coal plastic, beam, sample, durability, flight of a cut.

## Введение

В соответствии с перспективной программой исследования, приведенной на страницах данного журнала [1], в 2015 году кафедра железобетонных и каменных конструкций РГСУ приступила к третьему этапу. Он предусматривает проведение опытов по испытанию прочности наклонных сечений балок, усиленных углепластиком. Два первых этапа были посвящены исследованию изгибаемых и сжатых элементов, усиленных различными видами композитных материалов.

Все ранее опубликованные статьи, в частности [2, 3, 4], связанные с несущей способностью усиленных балок, а также [5, 6, 7, 8], посвященные несущей способности коротких и гибких стоек при различном эксцентриситете приложения нагрузки, показали высокую эффективность и широкие возможности использования композитных материалов. Третий этап предусматривает несколько другое направление исследования по изучению эффективности композитного усиления.

Это связано с тем, что в теории железобетона вопрос о прочности наклонных сечений балок является более сложным по сравнению с нормальными сечениями, т.к. зависит от многих факторов. К ним относятся такие как: вид и класс бетона; класс рабочей и поперечной арматуры; интенсивность продольного и поперечного армирования; величина пролета среза; соотношения значений изгибающего момента и поперечных сил. Изменение одного из перечисленных факторов приводит к существенному изменению несущей способности и характера разрушения конструкции.

В еще большей степени это проявляется, если загрузка конструкции после ее усиления при проведении реконструкции осуществляется при другом виде или характере приложения нагрузки. Это связано с тем, что при эксплуатационном уровне нагрузки все обычные железобетонные конструкции работают с трещинами.

Наличие начальных трещин с разным уровнем раскрытия обязательно должно сказываться на несущей способности конструкций и при их усилении. Однако этот вопрос в открытой печати никак не оговорен, а сами исследования усиленных конструкций пока малочисленны.

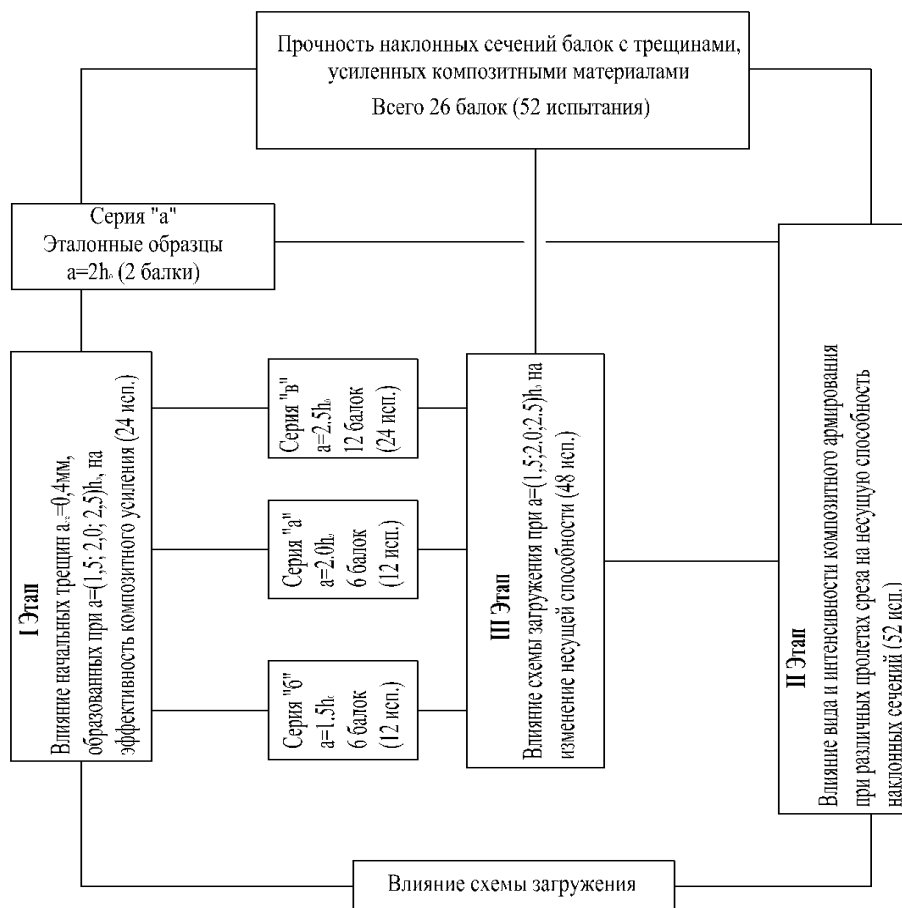
## Материалы и методы

Выход в свет свода правил СП.164.1325800.2014 также не дал пока ответы на многочисленные вопросы. Влияние начальных трещин не оговорено и в ранее опубликованных нормативных материалах [9, 10, 11]. В этой связи, на кафедре ЖБК РГСУ запланированы опыты по изучению прочности наклонных сечений балок с начальными трещинами, усиленных углепластиком. Ширина начальных трещин составляет  $a_{cr} = 0.4$  мм, и получены они при трех пролетах среза  $a = 1.5h_0$ ,  $2.0h_0$  и  $2.5h_0$ .

Для изучения поставленных вопросов было изготовлено 26 опытных образцов из тяжелого бетона с проектным классом В30. Все опытные образцы имеют одинаковые размеры поперечного сечения 125x250 мм и длину 2000 мм.

Стальная **рабочая** арматура всех балок принята одинаковой и состоит из 2Ø18А500. Монтажная арматура принята из 2Ø6В500. Принятое армирование практически совпадает с предельным для элемента с одиночной арматурой.

Стальная **поперечная** арматура принята вязанной, в виде замкнутых хомутов Ø3В500, установленных с шагом 150 мм. По своему статусу, поперечное армирование больше соответствует конструктивному, а не рабочему. Исключение составляют два опытных образца, у которых поперечная арматура на одном опирном участке вообще отсутствует. Эти образцы приняты эталонными и предназначены для получения данных о прочности бетона в наклонном сечении и несущей способности поперечных хомутов. Программа исследований с учетом поставленных задач представлена на рис. 1.



**Рисунок 1.** Программа испытаний для исследования влияния начальной ширины раскрытия наклонных трещин, полученных до усиления, на несущую способность наклонных сечений балок, усиленных внешней композитной арматурой и испытанных при различных пролетах среза

## Результаты и обсуждения

Для получения ответов на поставленные в задачах исследования вопросы, программа проведения опытов разбита на три этапа.

**Первый этап** предусматривает, как уже сказано выше, начальное испытание всех опытных образцов при пролетах среза  $1,5h_0$ ,  $2,0h_0$  и  $2,5h_0$  до нагрузок, при которых образовавшиеся наклонные трещины достигают раскрытия  $a_{срс} = 0,4$  мм, то есть предельного значения ширины раскрытия трещин для нормально эксплуатируемых конструкций.

**Второй этап** предусматривает усиление наклонных сечений балок с трещинами U-образными вертикальными хомутами из углеткани различной ширины. При этом, минимально-допустимая ширина хомутов будет составлять  $W_f = 50$  мм, а их шаг в чистоте не должен превышать меньшую из двух значений  $h/2$  и  $3W_f$ . В нашем случае это 125 и 150 мм соответственно. Варьироваться будут и варианты усиления внутри этапа по числу слоев ткани в поперечном хомуте.

**Третий этап** – это собственно испытание усиленных образцов. Для учета влияния пролета среза «а» на несущую способность усиленных наклонных сечений, первый и третий этапы разбиты на три серии а, б и в. Серия «а» соответствует пролету среза равным  $2,0h_0$ , «б» –  $2,5h_0$  и «в» –  $1,5h_0$ .

## Заключение

Таким образом, опытные образцы, имеющие трещину, образованную, например, согласно серии «а», после усиления будут испытываться при трех различных пролетах

среза. Внешнее поперечное армирование при этом будет одинаковым. Отметим также, что образцы испытанные на I и II этапах по серии «а», т.е. при пролете среза равном  $2h_0$ .

Каждый из опытных образцов будет испытываться дважды. После разрушения усиленного образца на одном из приопорных участках, он будет усилен стальными хомутами, после чего балка повторно испытывается до разрушения второго приопорного участка. Данная методика испытания позволит получить 52 результата. При этом, в соответствии с программой, для каждого из вариантов усиления будет испытано не менее двух балок-близнецов, независимо от этапа и серии образцов.

Прочностные характеристики всех материалов для опытных образцов, включая композитные, будут приведены на страницах данного журнала по мере публикации результатов испытания.

Класс бетона определен по результатам испытания кубов с ребром 150 мм. Нормативные и расчетные сопротивления бетона на осевое сжатие ( $R_{bn}$  и  $R_b$ ) и растяжение ( $R_{bt,n}$  и  $R_{bt}$ ) приняты по таблице 6.7 СП63.13330.2012.<sup>1</sup>

### *Литература:*

1. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы – как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений [Элек-тронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2012. №4, ч. 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307)
2. Польской П.П., Маилян Д.Р. Об уточнении расчетов прогибов балок, усиленных композитными материалами // Научное обозрение. 2014. №12, ч. 2. С. 493-495.
3. 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.
4. Польской П.П., Маилян Д.Р. Опыт использования композитных материалов при усилении здания Аксайского автоцентра // Научное обозрение. 2014. №12, ч. 3. С. 762-765.
5. 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/magazine/archive/n4y2013/2134](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2134)
6. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Методики усиления углепластиком и испытания коротких и гибких стоек // Научное обозрение. 2014. №10, ч. 2. С. 415-418.
7. 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.
8. 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.
9. Клевцов В.А. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами // НИИЖБ. 2006. С. 48.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 // General rules and rules for buildings. 2004. P. 229.
11. 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:*

---

<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.

1. Polskoy P.P., Mailyan D. R. *Composite materials as an efficient basis in the construction and reconstruction of buildings and constructions [Electronic resource]//Engineering bulletin of Don. 2012. №4, p. 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307*
2. Polskoy P.P., Mailyan D. R. *On the specification of calculations of deflections of the beams strengthened by composite materials//Scientific review. 2014. No. 12, p. 2. P. 493-495.*
3. 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.*
4. 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.*
5. 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/magazine/archive/n4y2013/2134*
6. 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.*
7. 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.*
8. 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.*
9. Klevtsov V.A. *Manual on the strengthening of ferroconcrete designs with composite materials//SRIFC. 2006. P. 48.*
10. *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1//General rules and rules for buildings. 2004. P. 229.*
11. *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.*