

О результатах предварительного испытания балок на поперечную силу перед композитным усилением.

П.П. Польской, Д.Р. Маилян, А.А. Шилов, К.В. Шевляков

Донской государственной технической университет

Аннотация: Дано обоснование необходимости предварительного испытания железобетонных балок на поперечную силу. Их целью является определение влияния наклонных трещин, образованных при эксплуатационных уровнях нагрузки, на эффективность композитного усиления приопорных сечений. Приведены результаты этих испытаний, полученные при пролетах среза $1,5h_0$; $2h_0$ и $2,5 h_0$, который заметно влияет на характер развития наклонных трещин. По результатам эксперимента сформулированы рекомендации по конструированию композитного усиления.

Ключевые слова: бетон, арматура, железобетон, композит, углепластик, усиление, трещина, уровень нагрузки, хомут, пролет среза, прочность.

Как это уже известно активным читателям Инженерного вестника Дона, интересующихся инновационными материалами в строительстве, кафедра железобетонных и каменных конструкций Ростовского государственного строительного университета, начиная с 2012 года, проводит масштабные исследования железобетонных конструкций, усиленных различными видами композитных материалов (в апреле 2016г. РГСУ вошел в состав Донского государственного технического университета – ДГТУ). Согласно перспективной программе этих исследований [1], в настоящее время реализуется уже их третий этап. Он посвящен работе наклонных сечений изгибаемых элементов, усиленных внешним армированием композитными материалами. Напомним, что на первом этапе исследовалась несущая способность нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов при нормальном и избыточном внешнем композитном усилении. А на втором – прочность сжатых элементов различной гибкости при трех значениях эксцентриситета приложения нагрузки. Варьировались также различные виды композитных материалов и проценты внешнего продольного и поперечного композитного армирования. Результаты этих исследований были также опубликованы на страницах настоящего журнала [2, 3, 4] и других изданиях [5].

Выход в 2014 г. свода Правил России по усилению железобетонных конструкций композитными материалами СП 164.1325800.2014, дал не только нормативную базу для расчета элементов усиления, но и дополнительный импульс к проведению научных исследований, т. к. обнажил ряд вопросов, которые раньше не лежали на поверхности.

К числу таких вопросов относятся: влияние существующих наклонных трещин с различной шириной раскрытия и характером их развития на прочность усиленных конструкций; влияние вида и процента внешнего композитного усиления; вопросы конструирования и др. Нет точного ответа на эти вопросы и в нормах других стран [6, 7].

Подтверждением сказанного служит следующее. Первое - в процессе длительной эксплуатации производственных зданий осуществляется не только их реконструкция, но и неоднократная замена технологического оборудования. Как следствие, изменяется и схема приложения нагрузки на несущие конструкции. Второе - все конструкции без исключения, которые работают при эксплуатационных уровнях нагрузки, имеют как нормальные, так и наклонные трещины, ширина которых порой более чем вдвое превышает их нормативные значения. Третье - при осуществлении любых видов работ, включая и усиление конструкций, всегда присутствует человеческий фактор, влияние которого всегда необходимо свести к минимуму конструктивными мероприятиями.

С учетом вышеизложенного, для реализации третьего этапа исследований и получения ответов на поставленные вопросы, на кафедре ЖБК в 2015г. была разработана программа исследований [8]. Она предусматривает изучение влияния существующих начальных наклонных трещин с раскрытием более 0,4 мм, на несущую способность наклонных сечений железобетонных балок, полученных до их усиления внешней углепластиковой арматурой. Рассматривается влияние трех различных пролетов среза – $1,5h_0$; $2 h_0$ и $2,5h_0$.

Все опытные образцы сечением 125x250 мм и длиной 2,0 м были изготовлены из тяжелого бетона. Стальная рабочая арматура всех балок состоит из 2Ø18A500, а монтажная принята из 2Ø6B500. Принятое армирование практически соответствует предельному армированию для элемента с одиночной арматурой. Стальная **поперечная** арматура представлена вязаными замкнутыми хомутами Ø3B500, установленными с шагом 150мм. Принятое поперечное армирование является минимальным и больше соответствует конструктивному. Исключение составляют два опытных образца, у которых поперечная арматура на одном из приопорных участков вообще отсутствует. Эти образцы приняты эталонными и предназначены для получения данных об усилиях, воспринимаемых сжатым бетоном в наклонном сечении и несущей способности поперечных хомутов. Конструкция каркасов представлена в статье [9].

Для формирования наклонных трещин в опытных образцах, программой предусмотрен первый этап исследования, при реализации которого было испытано 18 опытных образцов, разбитых на три серии. В серии "а" наклонные трещины были получены при пролете среза, равном $2h_0$, а в сериях "б" и "в" – соответственно при $2,5h_0$ и $1,5h_0$.

В каждой серии испытывались по три пары балок-близнецов. Наклонные трещины формировались только на одном приопорном участке всех балок. С этой целью до начала испытания один из приопорных участков усиливался стальной обоймой. Схема усиления и испытания образцов на приопорных участках приведена на рис. 1. Принятая методика формирования наклонных трещин позволяет получить достоверные результаты благодаря использованию метода прямого сопоставления опытных данных, полученных при абсолютно одинаковых значениях прочности бетона, сечений стальной продольной и поперечной арматуры, а также при прочих равных условиях.

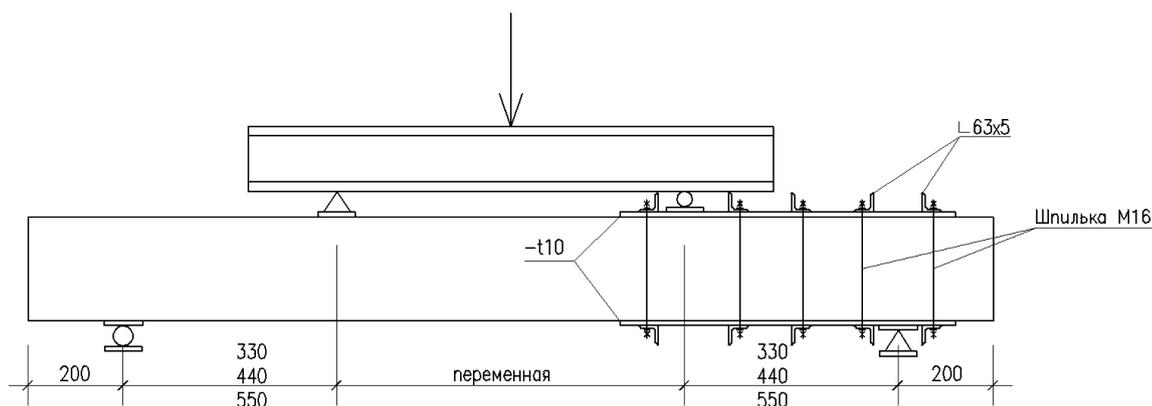


Рис. 1. – Схема усиления и испытания опытных образцов при формировании трещин.

Все опытные образцы испытывались ступенчато-возрастающей нагрузкой на специально оборудованном стенде по схеме однопролетной шарнирно-опёртой балки, загруженной двумя сосредоточенными силами. Результаты испытания опытных образцов приведены в табл. 1, а типовой характер развития наклонных трещин при различных пролетах среза представлен на фотографиях (рис. 2).

По результатам предварительного испытания опытных образцов, связанных с формированием начальных наклонных трещин на приопорных участках, необходимо отметить следующее:

- проекция всех наклонных трещин не вышла за пределы нормируемого сводами правил условия, а именно $c \leq 2h_0$. Однако, при усилении внешним армированием, особую роль играет не величина горизонтальной проекции наклонной трещины, а характер их развития. В наших опытах была получена следующая закономерность: при пролете среза $a=2h_0$ истинная наклонная трещина развивалась примерно от центра тяжести сечения в сторону оси действующей опорной реакции и оси приложения действующей поперечной силы. При величине $a=2,5h_0$, истинная наклонная трещина имела свое начало на

Таблица № 1

Результаты предварительного испытания
опытных образцов при формировании начальных наклонных трещин

Этап испытания	Пролет среза "а", см	Класс бетона В, МПа	Шифр балок	Предельная попер. сила Q, кН	Ширина накл. трещины, мм		Примечание
					Под нагрузкой	После разгрузки	
I этап	2h ₀	26,16	a1Б	37.5	0,60/0,68	0,40/0,48	
			a2Б	32.5	0,60/0,68	0,40/0,48	
		32,78	a3Б	52.5	0,64/0,70	0,40/0,30	
			a4Б	45.0	0,60/0,40	0,45/0,30	
		24,26	a5Б	35.0	0,80/0,50	0,40/0,20	
			a6Б	32.5	0,40/0,85	0,15/0,40	
	2,5h ₀	28,44	б1Б	40.0	0,88/0,40	0,35/0,20	
			б2Б	35.0	0,75/0,70	0,45/0,45	
		33,30	б3Б	49.0	0,56/0,30	0,45/0,20	
			б4Б	40.0	0,70/0,80	0,35/0,45	
		28,96	б5Б	45.0	0,60/0,85	0,40/0,65	
			б6Б	60.0	0,66/0,60	0,40/0,45	
	1,5h ₀	35,96	в1Б	85.0	0,49/0,54	0,20/0,20	
			в2Б	62.5	0,50/0,65	0,25/0,38	
		33,24	в3Б	67.5	0,64/0,56	0,40/0,40	
			в4Б	77.55	0,40/0,70	0,12/0,30	
		29,60	в5Б	80.0	0,42/0,90	0,10/0,50	
			в6Б	70.0	0,90/0,50	0,50/0,40	

Примечание: В знаменателе приведена ширина наклонных трещин для обратной стороны балок.

расстоянии примерно h_0 от оси опоры, а конец этой трещины заходил в зону чистого изгиба под опорную пластину. При $a=1,5h_0$, наклонная трещина со стороны растянутой зоны балок заходила за ось опорной реакции примерно $a 0,5h_0$, а в сжатой зоне располагалась вблизи оси приложения силы.

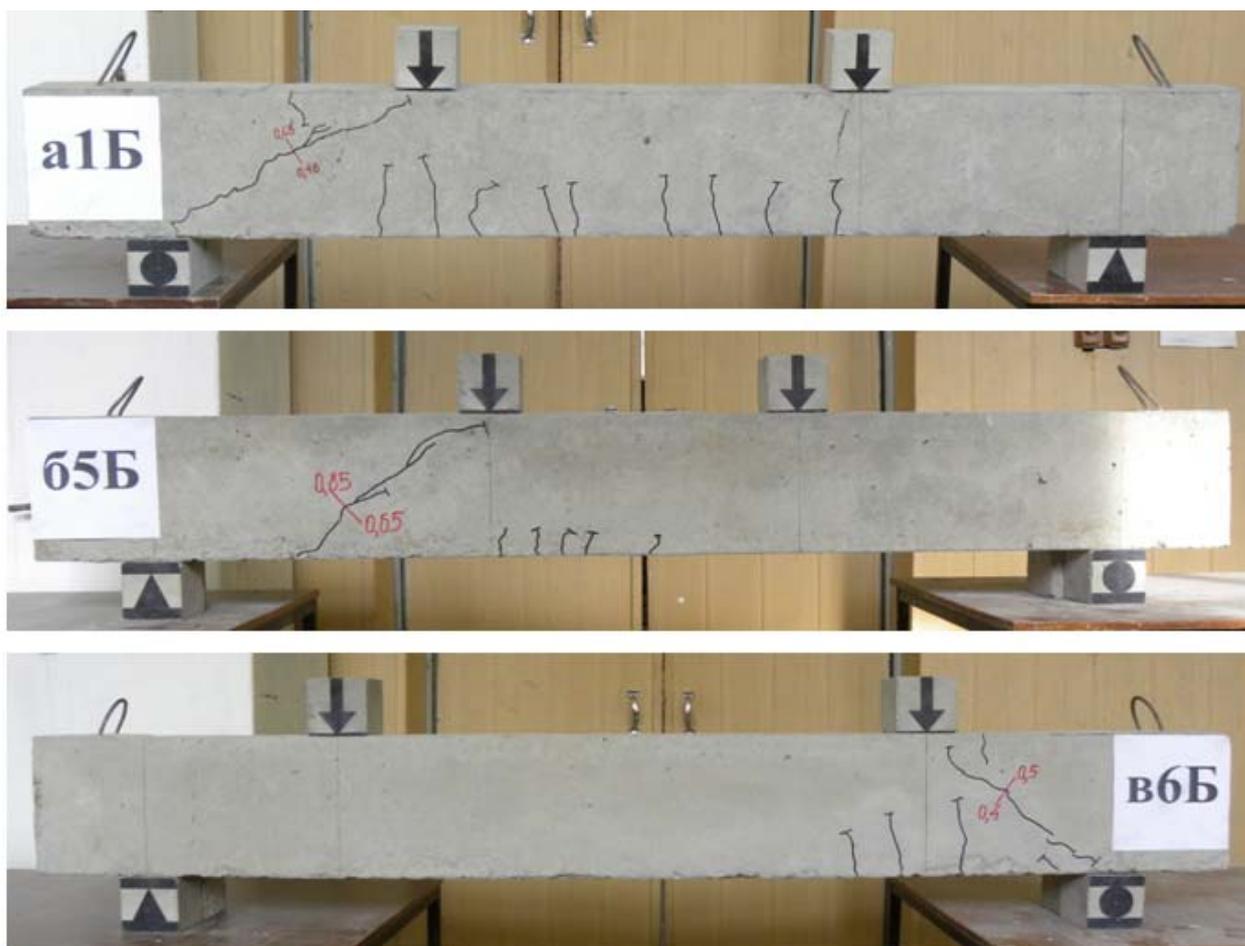


Рис. 2. – Типовой характер развития наклонных трещин испытанных соответственно при пролетах среза, равных $2h_0$ (a1Б); $2,5h_0$ (65Б) и $1,5h_0$ (в6Б).

К изложенному следует добавить и то, что в отдельных балках, испытанных при $a=1,5h_0$, наклонная трещина пересекла рабочую арматуру у грани опоры и продолжала в дальнейшем свое развитие вдоль арматуры, нарушая тем самым сцепление с бетоном. Проводимые ранее одним из авторов опыты с арматурой класса А400, такую картину развития наклонных трещин не показывали. Этот фактор особо важен, если иметь ввиду то, что СП 63.13330.2012г. рекомендует использовать арматуру классов А500 и А600 в качестве рабочей и для обычных конструкций, т. е. не имеющих преднапряжения.

С учетом вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Использование арматуры классов А500 и А600 в обычных железобетонных конструкциях должно сопровождаться конструктивными мерами, на-

правленными на увеличение силы сцепления арматуры с бетоном за счет увеличения длины анкеровки и толщины защитного слоя бетона, либо используя конструктивные виды анкеровки.

2. Внешняя арматура усиления, наклеенная только на боковые поверхности балок, будет малоэффективной, т. к. уже при эксплуатационных уровнях нагрузки наклонные трещины располагаются вблизи сжатой или растянутой грани балок (см. фото на рис. 2), не обеспечивая тем самым длину анкеровки внешней композитной арматуры, которая становится меньше 100мм.

3. Наиболее рациональным будет использование U – образных хомутов, наклеиваемых снизу-вверх, начиная непосредственно у опорной грани стен и до середины пролета среза, а затем, сверху-вниз, начиная от середины пролета среза в сторону приложения сосредоточенных нагрузок.

4. Последний хомут внешнего усиления композитными материалами должен располагаться по грани опорных пластин (закладных деталей) со стороны зоны чистого изгиба усиливаемых элементов.

Литература

1. Польской П.П., Маилян Д.Р. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307

2. Польской П.П., Маилян Д.Р. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1675

3. Польской П.П., Георгиев С.В. Вопросы исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134

4. Польской П.П., Маилян Д.Р. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675

5. 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.

6. 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.

7. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 // General rules and rules for buildings, 2004, p.229.

8. Польской П.П., Маилян Д.Р., Шилов А.А., Меретуков З.А. О программе исследования наклонных сечений балок с трещинами, усиленных углепластиком // Новые технологии. 2015. №4. С. 35-39.

9. Польской П.П., Маилян Д.Р., Шилов А.А., Меретуков З.А. Армирование и схемы испытания наклонных сечений балок с внешним композитным усилением // Новые технологии. 2015. №4. С. 44-48.

10. Польской П.П., Проектирование и расчет железобетонных элементов, усиленных наращиванием сечений. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2011. 164 с.

References

1. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4/2
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307

2. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1675

3. Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2134



4. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675
5. Chernjavskij V.A., Aksel'rod E.Z. Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2003 №3. pp.15-16.
6. 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.
7. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1. General rules and rules for buildings, 2004, p.229.
8. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Shilov A.A., Meretuckov Z.A. Noviye Technologii (Rus), 2015, №4, p.35-39
9. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Shilov A.A., Meretuckov Z.A. Noviye Technologii (Rus), 2015, №4, p.44-48.
10. Pol'skoj P.P., Proektirovanie i raschet zhelezobetonnyh jelementov, usilennyh narashhivaniem sechenij. [Design and construction of reinforced concrete elements, strengthened by increasing sections scale]. RSUCE, 2011, p. 164.