

Экспериментальные исследования

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, УСИЛЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ЛЕНТАМИ, ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА

О.Д. РУБИН*, доктор технических наук,
С.Е. ЛИСИЧКИН**, доктор технических наук,
К.Е. ФРОЛОВ***, инженер,

*АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (АО «НИИЭС»), 125362, г. Москва, Строительный проезд, д. 7А, info@niies.ru

**ООО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике» (ООО «ИЦСКТЭ»), 125362, г. Москва, ул. Свободы, д.35, cskte@mail.ru

***ПАО «РусГидро», 127006, г. Москва, ул. Малая Дмитровка, д.7, FrolovKE@rushydro.ru

Предлагается выполнять усиление железобетонных конструкций гидротехнических сооружений углеродными лентами в качестве системы внешнего армирования. Представлены результаты экспериментальных исследований прочности железобетонных конструкций гидротехнических сооружений без усиления и усиленных углеродными лентами при действии изгибающего момента. Определено повышение прочности за счет усиления углеродными лентами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетонные конструкции; гидротехнические сооружения; усиление; углеродные ленты; экспериментальные исследования.

Анализ отечественного и зарубежного опыта [1-3] показал, что наиболее эффективным способом усиления железобетонных конструкций (и в первую очередь длительно эксплуатируемых) является усиление углеродными лентами в качестве системы внешнего армирования.

В этой связи были проведены экспериментальные исследования прочности железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (ГТС), усиленных углеродными лентами, при действии изгибающего момента (на специальных испытательных стендах).

Для проведения экспериментальных исследований на действие изгибающего момента были изготовлены железобетонные модели балочного типа длиной 215 см, высотой 30 см и шириной 15 см (рис.1). При этом было изготовлено две серии моделей, отличающиеся армированием и классом бетона, присущих конструкциям гидротехнических сооружений.

Одна серия балок имела армирование 2 диаметра 10 мм класса А500С (процент армирования 0,39%) и изготавливалась из бетона класса В15 (рис. 1).

Другая серия балок имела армирование 3 диаметра 12 мм класса А500С (процент армирования 0,83%) и изготавливалась из бетона класса В25 (рис. 1).

В опорных четвертях пролета моделей устанавливались поперечные хомуты диаметром 8 мм с шагом 50 мм. Толщина защитного слоя бетона принималась равной 25 мм (рис. 1).

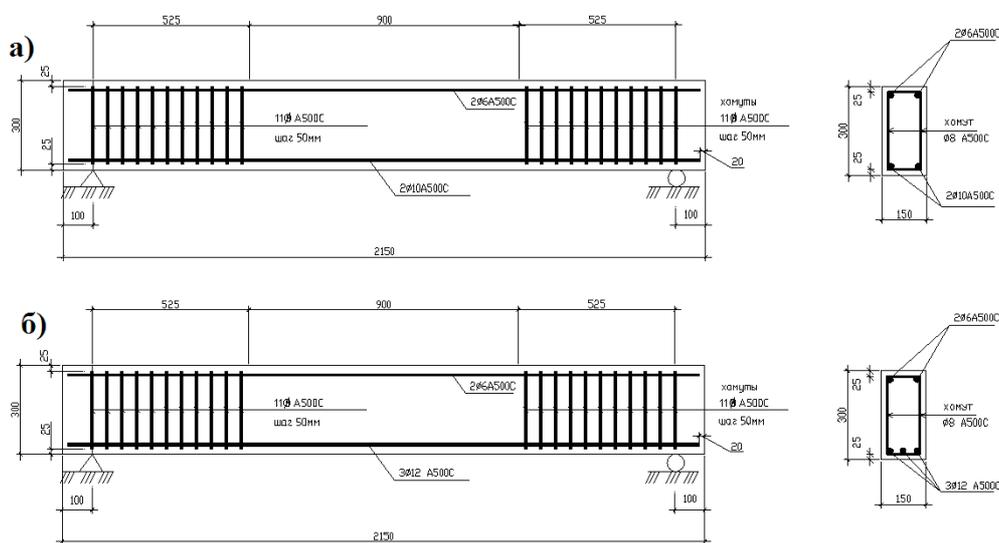


Рис.1. Конструкция железобетонных моделей

В каждую серию входило по две балки-близнеца без усиления и по две балки-близнеца, усиленных углеродными лентами. Таким образом, было изготовлено 8 моделей. Для усиления железобетонных моделей использовалась углеродная лента типа FibArm Tape 230/300. Ширина ленты принималась равной ширине моделей 150 мм. Ленты наклеивались на нижней растянутой грани моделей в два слоя. На опорных участках продольные углеродные ленты закреплялись также замкнутыми хомутами из углеродной ленты FibArm Tape 230/300 шириной 300 мм (рис. 2).

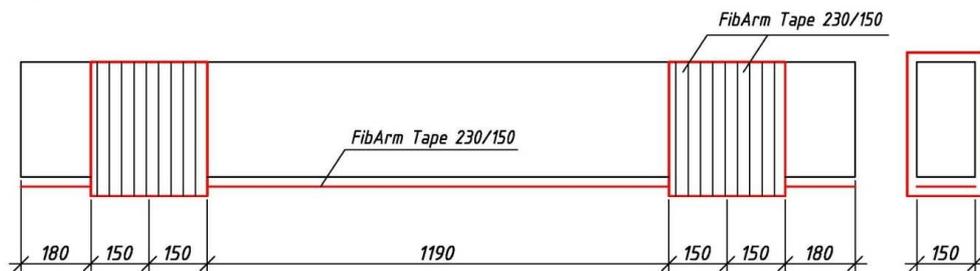


Рис. 2. Схема оклейки железобетонных моделей углеродными лентами

Предварительно бетонная поверхность моделей выравнивалась путем шлифования, в процессе которого удалялась цементная пленка; а также ремонтировалась (при наличии дефектов и каверн) путем нанесения эпоксидной шпаклевки типа MapeWrap 12. Далее поверхность грунтовалась эпоксидной грунтовкой типа MapeWrap Primer 1. Непосредственно углеродные ленты наклеивались на подготовленную поверхность эпоксидным двухкомпонентным связующим (клеем) FibArm Resin 230+.

В целях определения фактической прочности бетона моделей на сжатие и растяжение, а также модуля деформации одновременно с моделями бетонировались стандартные контрольные образцы: кубики размером $100 \times 100 \times 100$ мм; призмы размером $100 \times 100 \times 400$ мм и цилиндры диаметром 150 мм и высотой 150 мм.

Для контроля напряженно-деформированного состояния моделей в процессе испытаний устанавливалась контрольно-измерительная аппаратура.

Величины прогибов моделей регистрировались прогибомерами в виде индикаторов часового типа ИЧ-10 (точность измерений составляла 0,01 мм, диапазон измерений - 10 мм), которые устанавливались на каждой из боковых граней. При этом по 2 индикатора устанавливалось в центре пролета и по 2 индикатора - на каждой из опор моделей. Компоненты напряженно-деформированного состояния элементов моделей фиксировались тензорезисторами с базой измерений 30 мм и 50 мм (точность измерений 0,00001), которые наклеивались на бетонные поверхности моделей и на углеродные ленты (рис. 3).

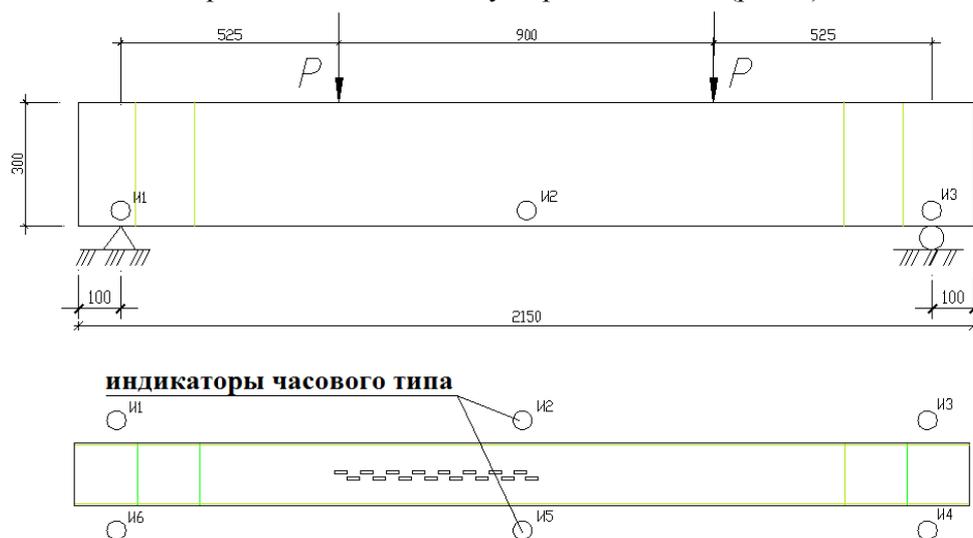


Рис. 3. Схемы испытаний и оснащения железобетонных моделей контрольно-измерительной аппаратурой

Для проведения испытаний на действие изгибающего момента железобетонные модели длиной 2,15 м устанавливались на специальном стенде в горизонтальном положении на двух опорах, расположенных на расстоянии 1,95 м друг от друга. Одна из опор – неподвижная, другая – катковая.

Для приложения вертикальной нагрузки применялся гидродомкрат, расположенный в центре пролета. Нагрузка передавалась на конструкцию через распределительную traversу симметрично в двух точках на расстояниях 45 см от центра пролета и 52,5 см - от опор (рис. 3).

В ходе испытаний железобетонных моделей опытная нагрузка прикладывалась ступенями, составляющими 10 % от разрушающей нагрузки. При дости-

жени 80% от нагрузки разрушения нагрузка прикладывалась более мелкими ступенями (по 5% от нагрузки разрушения). После приложения соответствующей нагрузки на каждом этапе производилась выдержка, составляющая 15 мин, после этого регистрировались показания приборов.

Образование и развитие трещин в железобетонных моделях наблюдалось с использованием микроскопа отсчетного МПБ-2.

Вид испытания железобетонной модели представлен на рис. 4.



Рис. 4. Испытание железобетонной модели

В результате проведенных испытаний железобетонных моделей, в том числе усиленных углеродными лентами, на действие изгибающего момента были получены следующие результаты.

Железобетонные модели-близнецы, изготовленные из бетона В15 с армированием 0,39%, не имеющие усиления, разрушались при величине нагрузки 83,0 и 88,0 кН. Железобетонные модели-близнецы, изготовленные из бетона В15 с армированием 0,39%, усиленные углеродными лентами, разрушались при нагрузках 159,2 и 191,0 кН.

Железобетонные модели-близнецы, изготовленные из бетона В25 с армированием 0,83%, не имеющие усиления, разрушались при величине нагрузки 165,8 кН. Железобетонные модели-близнецы, изготовленные из бетона В25 с армированием 0,83%, усиленные углеродными лентами, разрушались при нагрузках 232,0 и 257,0 кН.

Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таким образом, за счет усиления углеродными лентами, прочность железобетонных конструкций из бетона В15 с армированием 0,39% повысилась в среднем в 2,06 раза; прочность железобетонных конструкций из бетона В25 с армированием 0,83% повысилась в среднем в 1,5 раза.

Л и т е р а т у р а

1. *Jian-he Xie , Ruo-lin Hu.* Experimental study on rehabilitation of corrosion-damaged reinforced concrete beams with carbon fiber reinforced polymer // *Construction and Building Materials.* 38 (2012). Pp.708–716.

2. *Ehab Hamed* \hat{H} , *Mark A. Bradford*. Flexural time-dependent cracking and post-cracking behaviour of FRP strengthened concrete beams // *International Journal of Solids and Structures*. 49 (2012). Pp.1595–1607.

Таблица 1. Технические характеристики и результаты экспериментальных исследований железобетонных балок-моделей, усиленных системой внешнего армирования (СВА), при действии изгибающего момента M (растяжения при изгибе)

№ п/п	Наименование модели	Установка элементов усиления	Прочность бетона на сжатие, МПа	Разрушающая нагрузка, кН	$\frac{P_{\text{эксп.}}}{P_{\text{расч.}}}$
<i>Бетон В15, армирование 2Ø10А500С</i>					
1	Б-И15-1	Без усиления	25,80	88,00	1,14
2	Б-И15-2		15,90	83,00	1,09
3	Б-И15-3	Усиление углеродной лентой	24,40	191,00	2,50
4	Б-И15-4		24,40	159,20	2,10
<i>Бетон В25, армирование 3Ø12А500С</i>					
5	Б-И25-1	Без усиления	29,50	165,80	1,03
6	Б-И25-6		36,50	165,80*	1,03
7	Б-И25-4	Усиление углеродной лентой	39,70	257,00	1,57
8	Б-И25-5		24,30	232,00	1,42

3. *Yinzi Zhou, Mingkang Gou, Fengyu Zhang, Shoujun Zhang, Dan Wang*. Reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber reinforced polymer by friction hybrid bond technique: Experimental investigation // *Materials and Design*. 50 (2013). Pp 130–139.

4. *Сердюк А.И., Чернявский В.Л.* Опыт усиления строительных конструкций композиционными материалами при реконструкции Баксанской ГЭС // *Гидротехника*. 3 (32). 2013. С. 115-117.

5. *Козырев Д.В., Симохин А.С., Чернявский В.Л., Осмак П.П.* Ремонт участков напорного коллектора композитными материалами // *Монтажные и специальные работы в строительстве*. №9. 2009. С. 2-5.

6. *Александров А.В., Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Балагуров В.Б.* Расчетное обоснование и технические решения по усилению железобетонных конструкций ГЭС (ГАЭС), имеющих трещины различного направления, при действии комплекса нагрузок // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*, № 6, 2014, с. 50-54.

7. *Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Балагуров В.Б., Александров А.В.* Новая технология ремонта ГЭС посредством армирования композитными материалами // *Изв. ВНИИГ*. т. 280. 2016. С. 3-10.

References

1. *Jian-he Xie, Ruo-lin Hu* (2012). Experimental study on rehabilitation of corrosion-damaged reinforced concrete beams with carbon fiber reinforced polymer, *Construction and Building Materials*, 38, p.708–716.

2. *Ehab Hamed* \hat{H} , *Mark A. Bradford* (2012). Flexural time-dependent cracking and post-cracking behaviour of FRP strengthened concrete beams, *International Journal of Solids and Structures*, 49, .1595–1607.

3. *Yinzi Zhou, Mingkang Gou, Fengyu Zhang, Shoujun Zhang, Dan Wang* (2013). Reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber reinforced polymer by friction hybrid bond technique: Experimental investigation, *Materials and Design*, 50, p 130–139.

4. *Serdyuk, A.I., Chernyavskij, V.L.* (2013). Opyt usileniya stroitel'nykh konstruksij kompozitsionnymi materialami pri rekonstruktsii Baksanskoj GES, *Gidrotekhnika*, 3 (32), p. 115-117.

5. *Kozyrev, D.V., Simokhin, A.S., Chernyavskij, V.L., Os'mak P.P.* (2009). Remont uchastkov napornogo kolektora kompozitnymi materialami, *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve*, №9, p. 2-5.

6. *Aleksandrov, A.V., Rubin, O.D., Lisichkin, S.E., Balagurov, V.B.* (2014). Raschetnoe obosnovanie i tekhnicheskie resheniya po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksij GES (GAES), imeyushhikh treshhiny razlichnogo napravleniya, pri dejstvii kompleksa nagruzok, *Stroitel'naya Mekhanika Inzhenernykh Konstruksij i Sooruzhenij*, № 6, p. 50-54.

7. Rubin, O.D., Lisichkin, S.E., Balagurov, V.B, Aleksandrov, A.V. (2016). Novaya tekhnologiya remonta GTS posredstvom armirovaniya kompozitnymi materialami, *Izv. VNIIG*, Vol. 280, p. 3-10.

**THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF CONCRETE STRUCTURES OF
HYDRAULIC ERECTIONS REINFORCED WITH CARBON TAPE UNDER THE
ACTION OF BENDING MOMENTS**

O.D. Rubin*, S.E. Lisichkin**, K.E. Frolov***

** *Scientific Research Institute of Energy Structures (Open Joint-stock Company), Moscow*

*** *Engineering Center of Structures, Constructions and Technologies in Energy (Limited Liability Company), Moscow*

The reinforcement of concrete structures of hydraulic erections with carbon ribbons as external reinforcement system is proposed to carry out. The results of experimental studies of the strength of concrete structures of hydraulic erections without reinforcement and reinforced with carbon ribbons with bending moment are presented. The strength improvement by increasing with carbon ribbons is defined.

Key words: reinforced structures, hydraulic erections, external reinforcement, carbon ribbons, experimental researches.

