

Я.Л. ОБЕРНИХИНА<sup>1</sup>, Г.А. СМОЛЯГО<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия

## ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКОМ ПОД НАГРУЗКОЙ

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований перераспределения изгибающих моментов в двухпролетных неразрезных железобетонных балках, усиленных углепластиком под нагрузкой, а именно, пятнадцати балок пяти серий. Первая серия балок (БМ) – эталонные образцы без усиления. Ко второй серии балок (БМУ) относились образцы, усиленные углепластиком путем приклеивания его к растянутой зоне в пролетах с U-образной анкерровкой на опорных участках без предварительного нагружения. Третья (БМУ В), четвертая (БМУ Г) и пятая (БМУ Д) серии балок – образцы, усиленные углепластиком при 30%, 50% и 70% от предполагаемой разрушающей нагрузки эталонных образцов, аналогично второй серии балок. Для раскрытия статической неопределенности в начале и конце каждого этапа экспериментального исследования снимались показания опорных динамометров. На основании полученных данных были построены средние по каждой серии опытные эпюры изгибающих моментов. Кроме того, в результате исследования было выявлено, что усиление углепластиком оказывает влияние на характер перераспределения изгибающих моментов в неразрезных балках, изменяя соотношения опорного  $M_{оп}$  и пролетных  $M_{пр}$  моментов. Таким образом, с помощью использования системы внешнего армирования на основе полимеркомпозитных материалов можно скорректировать при необходимости характер перераспределения изгибающих моментов в неразрезных балках. В частности, выполнив усиление пролетных зон, можно разгрузить опору.

**Ключевые слова:** неразрезная железобетонная балка, перераспределение усилий, усиление под нагрузкой, система внешнего армирования, углепластик

Y. L. OBERNIKHINA<sup>1</sup>, G. A. SMOLYAGO<sup>1</sup><sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

## REDISTRIBUTION OF FORCES IN CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH CFRP UNDER LOAD

**Abstract.** This article presents the results of experimental studies of bending moment redistribution in two-span continuous reinforced concrete beams reinforced with CFRP under load. Namely, fifteen beams of five series. The first series of beams (CB) are reference specimens without reinforcement. The second series of beams (MSB) included specimens reinforced with CFRP by gluing it to the tension zone in spans with U-shaped anchorage in the support sections without preliminary loading. The third (MSB C), fourth (MSB D) and fifth (MSB E) series of beams are specimens reinforced with CFRP at 30%, 50% and 70% of the expected breaking load of the reference specimens, similar to the second series of beams. To reveal static indeterminacy, readings of support dynamometers were taken at the beginning and end of each stage of the experimental study. Based on the data obtained, average experimental bending moment diagrams for each series were constructed. In addition, the study revealed that carbon fiber reinforcement affects the nature of the redistribution of bending moments in continuous beams, changing the ratio of the support  $M_{su}$  and span  $M_{sp}$  moments. Thus, by using an external reinforcement system based on polymer composite materials, it is possible to adjust, if necessary, the nature of the redistribution of bending moments in continuous beams. In particular, by reinforcing the span zones, it is possible to relieve the support.

*Keywords: continuous reinforced concrete beam, redistribution of forces, reinforcement under load, external reinforcement system, CFRP.*

### Введение

В статически неопределимых конструкциях неупругие деформации вызывают перераспределение усилий, т.е. отклонение фактического распределения усилий от упругого – полученного в результате расчета упругой системы [1]. Изучению характера перераспределения моментов в неразрезных железобетонных балках, а также факторов на него влияющих посвящено множество работ [2-9].

Однако исследованию влияния системы внешнего армирования на перераспределение изгибающих моментов в многопролетных балках, особенно в отечественных исследованиях, уделено недостаточно внимания.

Изучению характера перераспределения моментов в неразрезных железобетонных балках, усиленных ламинатами из углепластика, посвящены работы зарубежных авторов [10-18]. В работе [10] представлены результаты экспериментальных исследований пяти неразрезных балок, усиленных полимеркомпозиционными материалами. Первый и третий образцы были усилены в зонах действия максимальных изгибающих моментов, а второй и четвертый образцы дополнительно были усилены еще и в зонах действия максимальных поперечных сил. В качестве материала усиления использовались стеклопластиковые углепластиковые холсты. Пятый образец был эталонным. Каждая балка перед разрушением была поэтапно нагружена и разгружена. В ходе исследования было выявлено, что использование полимеркомпозиционных материалов для усиления неразрезных балок повышает прочность, снижает деформативность, а также способствует изменению характера трещинообразования: после усиления трещины распределены более равномерно, а их ширина раскрытия меньше.

Кроме того, авторами [11] также были проведены экспериментальные исследования влияния на несущую способность усиления углепластиком сжатой зоны неразрезных железобетонных балок. Экспериментальные образцы были разделены на 2 серии (I и II), по 5 полноразмерных образцов в серии. Балки серии I были спроектированы таким образом, чтобы разрушение произошло по наклонным сечениям; а балки серии II – по нормальным сечениям. В ходе испытаний было выявлено, что образцы серии I разрушились в результате образования наклонных трещин, образовавшихся в следствие совместного действия нормальных и касательных напряжений, что, в свою очередь привело к отслоению углепластика. Разрушение балок серии II наступило в результате разрушения в бетоне непосредственно у склеиваемой поверхности. Разрушение образцов носило пластический характер. В результате усиления углепластиком, несущая способность балок серии I увеличилась на 29%, а балок серии II - на 40% в сравнении с эталонными образцами.

Автором [15] были проведены экспериментальные исследования НДС неразрезных железобетонных балок, усиленных углепластиком как в зонах положительных, так и в зонах отрицательных моментов. Разрушение усиленных балок произошло в результате разрыва слоев углепластика с раздроблением контактного слоя бетона. Кроме того, было замечено, что после того, как армирование было выполнено в растянутых и сжатых зонах, наблюдалось перераспределение изгибающих моментов, в том числе и благодаря усилению сжатой зоны, а несущая способность образцов увеличилась примерно на 20%.

В работе [17] проведено экспериментальное исследование НДС и перераспределения изгибающих моментов неразрезных железобетонных балок (RHSC), усиленных полимеркомпозитными материалами на основе стекла- (GFRP) и углепластика (CFRP). Опытные образцы разделены на следующие группы: СВ эталонный образец; SC1, SC2 и SC3 - балки, усиленные углепластиком в 1, 2 и 3 слоя соответственно (в пролете и на промежуточной

опоре); SG3 балка, усиленная стекловолокном в 3 слоя (в пролете и на промежуточной опоре). В ходе экспериментального исследования было выявлено, что при увеличении количества слоев композитного материала увеличивается несущая способность балки, в то время как деформативность углепластика, перераспределение изгибающих моментов и жесткость образца уменьшаются.

Однако, несмотря на накопленный мировой опыт экспериментальных исследований статически неопределимых изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиком, изучению влияния системы внешнего армирования на изменение характера перераспределения усилий посвящено достаточно мало работ.

### Модели и методы

Для исследования характера перераспределения изгибающих моментов в неразрезных железобетонных балках, усиленных углепластиком под нагрузкой, были проведены экспериментальные исследования опытных образцов – 15-ти двухпролетных балок пяти серий. Первая серия балок (БМ) - эталонные образцы без усиления. Ко второй серии балок (БМУ) относятся образцы, усиленные углепластиком путем приклеивания его к растянутой зоне в пролетах с U-образной анкерровкой на приопорных участках без предварительного нагружения. Третья (БМУ В), четвертая (БМУ Г) и пятая (БМУ Д) серии балок – образцы, усиленные углепластиком при 30% (12кН), 50% (20кН) и 70% (28кН) от предполагаемой разрушающей нагрузки эталонных образцов, аналогично второй серии балок. Конструкция опытных образцов и схема их армирования представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Для армирования опытных образцов двухпролетных балок использовались плоские сварные каркасы. В качестве рабочей и конструктивной арматуры каркасов принята стальная горячекатаная арматура класса А500 Ø8 мм. В качестве поперечной арматуры используется холоднотянутая проволока из низкоуглеродистой стали класса Вр500 Ø5 мм. Балки изготавливались из бетона класса по прочности на сжатие В30.

В качестве материала усиления была использована система внешнего армирования, состоящая из однонаправленного углеродного холста на основе высокопрочного углеродного волокна со стеклянной уточной тканью марки FibARM 530/300 с прочностью на растяжение 4200 МПа и модулем упругости 240 000 МПа и адгезива - клея на основе эпоксидной смолы FibArm Resin 530+.

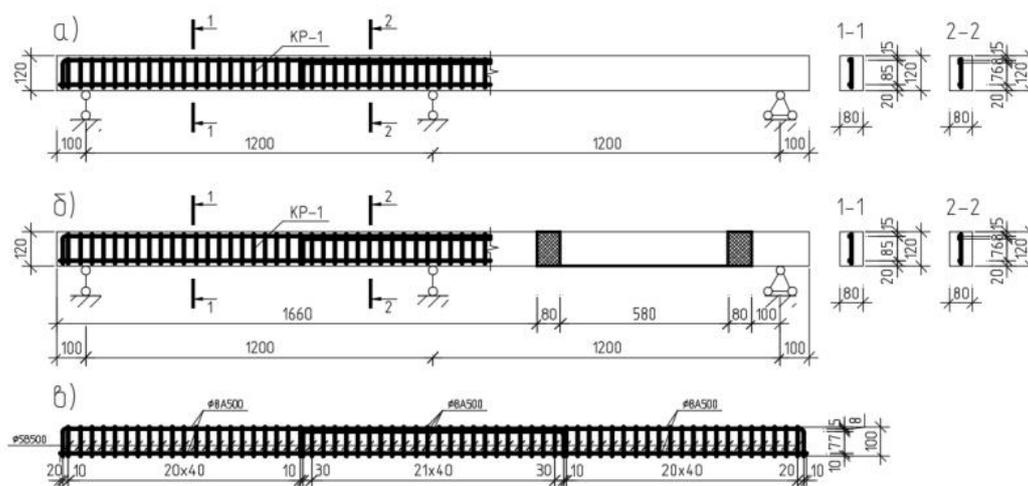


Рисунок 1 – Схема армирования опытных образцов: а) эталонный образец - серия БМ; б) усиленный образец - серии БМУ В; БМУ Г; БМУ Д; в) каркас КР-1.

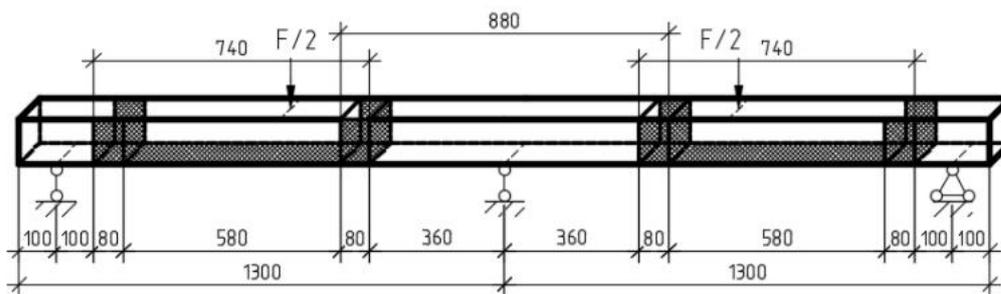


Рисунок 2 – Схема усиления опытных образцов

Фиксация величины опорных реакций осуществлялась с помощью трех динамометров ДОСМ 3-5, расположенных под каждой опорой.

В рамках экспериментального исследования эталонные балки серии «БМ» нагружались поэтапно вплоть до разрушения.

Балки серии «БМУ», усиливали углеродным волокном без предварительного нагружения по описанной ранее схеме. Затем нагружали поэтапно вплоть до разрушения.

Балки серий «БМУ В», «БМУ Г» и «БМУ Д» усиливали углепластиком под нагрузкой, составляющей 30% (12кН), 50% (20кН) и 70% (28кН) соответственно от предполагаемой разрушающей нагрузки эталонных балок, и нагружали поэтапно вплоть до разрушения.

Выполнение работ по усилению углепластиком выполнялось в соответствии с требованиями существующих норм.

Общий вид испытания неразрезных железобетонных балок до и после усиления приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Общий вид испытания до усиления углепластиком и после усиления

### Результаты исследования и их анализ

Для раскрытия статической неопределенности в начале и конце каждого этапа экспериментального исследования снимались показания опорных динамометров, установленных на опорах. На основании полученных данных были построены средние по каждой серии опытные эпюры изгибающих моментов на каждом этапе нагружения (рисунок 4). Также в таблице 1 приведены данные о характере перераспределения усилий – соотношения опорного и пролетного моментов балок на некоторых характерных этапах нагружения.

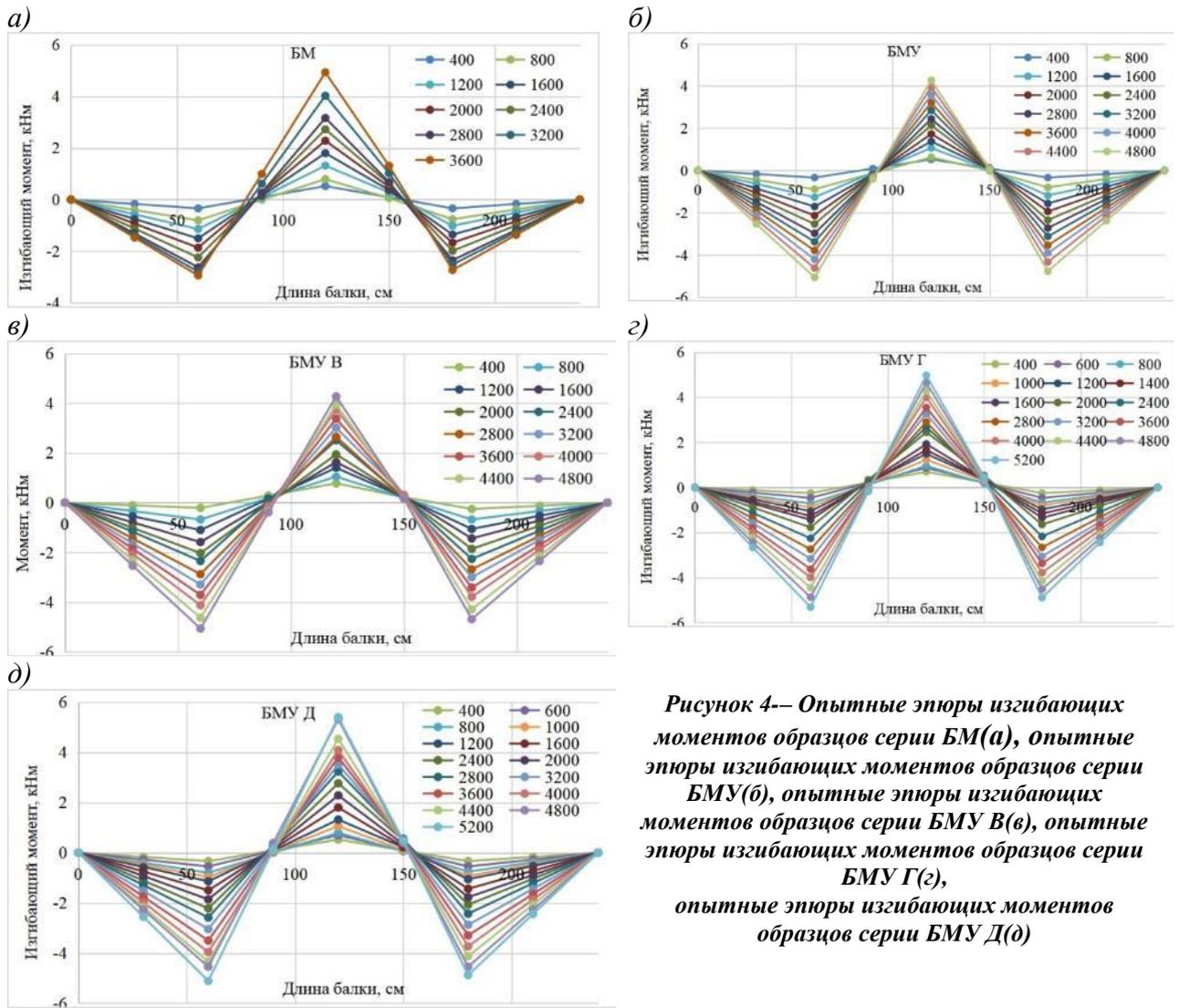


Рисунок 4-- Опытные эпюры изгибающих моментов образцов серии БМ(а), опытные эпюры изгибающих моментов образцов серии БМУ(б), опытные эпюры изгибающих моментов образцов серии БМУ В(в), опытные эпюры изгибающих моментов образцов серии БМУ Г(г), опытные эпюры изгибающих моментов образцов серии БМУ Д(д)

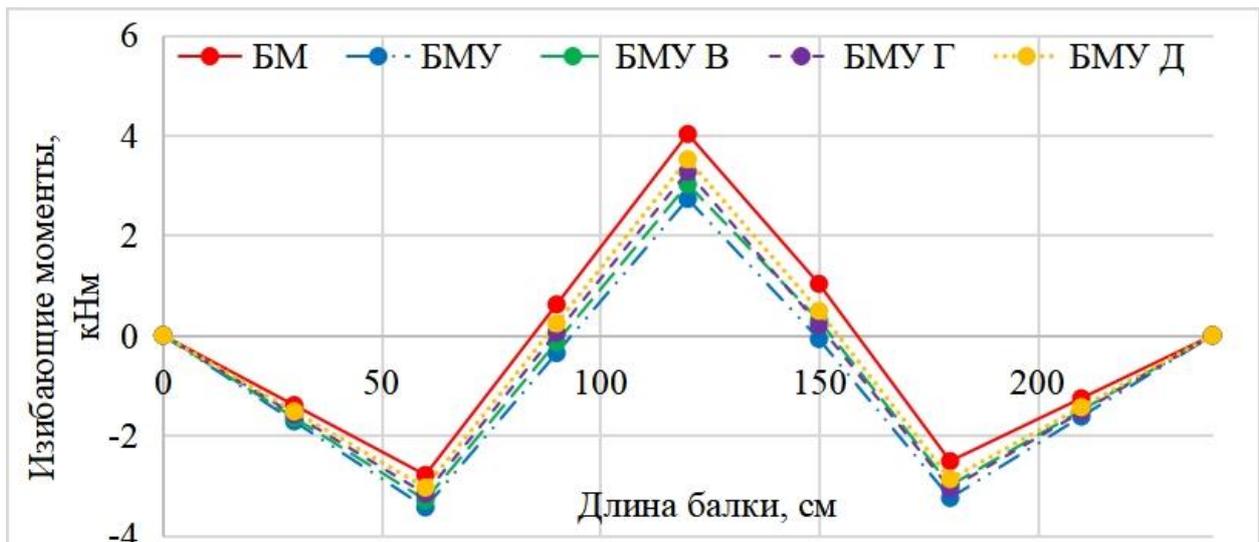


Рисунок 5 – Опытные эпюры изгибающих моментов образцов серий БМ, БМУ, БМУ В, БМУ Г и БМУ Д при заданной нагрузке (32 кН)

Таблица 1 – Опытные значения изгибающих моментов при заданной нагрузке (14 кН; 24 кН; 32 кН; 34 кН) в экспериментальных балках

Серия балок	Среднее опытное значение моментов, кНм				Соотношение моментов $\frac{\bar{M}_{оп}^{exp}}{\bar{M}_{пр}^{exp}}$
	В пролете $\bar{M}_{пр}^{exp}$	На опоре $\bar{M}_{оп}^{exp}$	$\frac{\bar{M}_{пр}^{exp}}{\bar{M}_{пр, БМ}^{exp}}$ , %	$\frac{\bar{M}_{оп, i}^{exp}}{\bar{M}_{оп, БМ}^{exp}}$ , %	
14кН					
БМ	1,23	-1,66	100	100	1,35
БМУ	1,45	-1,20	117,9	72,3	0,83
БМУ В	1,27	-1,39	103,3	83,7	1,09
БМУ Г	—	—	—	—	—
БМУ Д	—	—	—	—	—
24кН					
БМ	2,11	-2,72	100	100	1,29
БМУ	2,48	-2,09	117,5	76,8	0,84
БМУ В	2,31	-2,32	109,5	85,3	1,0
БМУ Г	2,17	2,65	102,8	97,4	1,22
БМУ Д	—	—	—	—	—
32кН					
БМ	2,65	-4,02	100	100	1,52
БМУ	3,30	-2,79	124,5	69,4	0,85
БМУ В	3,15	-2,91	118,9	72,4	0,92
БМУ Г	3,06	-3,25	115,5	80,5	1,06
БМУ Д	2,96	-3,52	111,7	87,6	1,19
34кН					
БМ	2,71	-4,32	100	100	1,59
БМУ	3,26	-3,47	120,3	80,3	1,06
БМУ В	3,28	-3,38	121,0	78,2	1,03
БМУ Г	3,06	-3,37	119,2	78,0	1,04
БМУ Д	3,10	-3,61	114,4	83,6	1,16

### Выводы

Усиление углепластиком оказывает влияние на характер перераспределения изгибающих моментов, изменяя соотношения опорного  $M_{оп}$  и пролетных  $M_{пр}$  моментов. Так, на одном из этапов нагружения соотношение опорного и пролетного моментов эталонных образцов (БМ) составляет 1,59, а усиленных образцов серий БМУ, БМУ В, БМУ Г, БМУ Д – 1,06; 1,03; 1,04; 1,16 соответственно.

Таким образом, используя систему внешнего армирования на основе полимеркомпозиционных материалов можно скорректировать при необходимости характер перераспределения изгибающих моментов в неразрезных балках. В частности, выполнив усиление пролетных зон, можно разгрузить опорную, и что достаточно важно, в случае необходимости усиления, т.к. зачастую, это связано с демонтажем пола, а в ряде случаев и оборудования, а также и остановки технологического процесса на предприятии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов С.М., Гуца Ю.П., Абakanов М.С. Прочность статически неопределимых балок, армированных сталью без площадки текучести // Сборник НИИЖБ: Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных конструкций. 1979. С. 40-41.
2. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Дрокин С.В., Дронов А.В. Расчет многопролетных железобетонных балок по методу заданных деформаций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 59-61.

3. Тамразян А.Г., Сайед Й.А.К. Экспериментальное исследование коэффициента перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках // Строительство и реконструкция. 2023. № 5. С. 24–35. [doi.org:10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35)
4. Сайед Й.А.К. Исследование перераспределения моментов в статически неопределимых корродированных железобетонных балках // Инженерный вестник Дона. 2024. № 1.
5. Гиль А.И., Лазовский Е.Д. Анализ результатов экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием композитной и стальной арматурой растянутой зоны над промежуточной опорой // Вестник БрГТУ. 2023. №2(131). С. 3-8. [doi.org:10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8](https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8)
6. Маилян Л.Р. Перераспределение усилий в статически неопределённых железобетонных балках // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1983. № 4. С. 6.
7. Никулин А.И., Сотников Д.Ю., Казаков Д.В. Перераспределение усилий в статических расчётах неразрезных железобетонных балок // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2008. № 17. С. 34-37.
8. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л., Обернихин Д.В. Влияние внешнего армирования углепластиком на перераспределение усилий в неразрезных железобетонных балках // Архитектура. Строительство. Информационные технологии - 2023 (АСИТ-2023). 2023. С. 33-34.
9. Попов Д.С. Численные исследования перераспределений усилий в статически неопределимых коррозионно-повреждённых железобетонных балках // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4 (100). С. 591-610.
10. Grace N.F., Sayed G.A., Saleh K.R. Strengthening of continuous beams using fibre reinforced polymer laminates // Fourth International Symposium on FRP Reinforcement for RC Structures. ACI. 1999. Pp. 647-657.
11. Grace N.F. Strengthening of negative moment region of RC beams using CFRP Strips // ACI Struct. J. 2001. Vol. 98(3). Pp. 347-357.
12. El-Refai S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. Sagging and hogging strengthening of continuous reinforced concrete beams using carbon fibre-reinforced polymer sheets // ACI Struct. J. 2003. Vol.100. Pp. 446-453. [doi.org/10.14359/12653](https://doi.org/10.14359/12653)
13. El-Refai S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. CFRP strengthened continuous concrete beams // Proceedings of the ICE - Structures and Buildings. 2003. Vol. 156 (4). Pp. 395-404. [doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.395](https://doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.395)
14. Aly H.A., Nasr E.A., El-Ghandour A.A., Abdelrahman A. A. Moment redistribution in RC continuous beams strengthened in flexure by CFRP laminates // FRP Composites in Civil Engineering – CICE. 2004. Pp. 227-235. [doi.org:10.1201/9780203970850.ch22](https://doi.org/10.1201/9780203970850.ch22).
15. Aiello M.A., Valente L., Rizzo A. Moment redistribution in continuous reinforced concrete beams strengthened with carbon-fiber-reinforced polymer laminates // Mech. Compos. Mater. 2007. Vol. 43. Pp. 453-66. [doi.org/10.1007/s11029-007-0043-x](https://doi.org/10.1007/s11029-007-0043-x)
16. Maghsoudi A.A., Bengar H. Moment redistribution and ductility of RHSC continuous beams strengthened with CFRP // Turkish J. Eng. Env. Sci. 2009. Vol. 33. Pp. 45-59. [doi.org/10.3906/muh-0901-6](https://doi.org/10.3906/muh-0901-6)
17. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer // Materials and Design. 2010. Vol.31. Pp. 1130-1147. [doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.041](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.041)
18. Araba A., Ashour A. Flexural performance of hybrid GFRP-steel reinforced concrete continuous beams // Composites Part B. 2018. Vol. 154. Pp. 321–336. [doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.077](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.077).

## REFERENCES

1. Krylov S.M., Gushcha Yu.P., Abakanov M.S. Prochnost' staticheski neopredelimykh balok, armirovannykh stalyami bez ploshchadki tekuchesti [Strength of statically indeterminate beams reinforced with steels without a yield plateau]. *Sbornik NIIZHB: Prochnost', zhestkost' i treshchinostoykost' zhelezobetonnykh konstruksiy*. 1979. Pp. 40-41. (rus)
2. Smolyago G.A., Zhdanov A.E., Drokin S.V., Dronov A.V. Raschet mnogoproletnykh zhelezobetonnykh balok po metodu zadannykh deformatsiy [Calculation of multi-span reinforced concrete beams using the method of specified deformations]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. Vol. 12. Pp. 59-61. (rus)
3. Tamrazyan A.G., Sayed Y.A.K. Eksperimental'noye issledovaniye koeffitsiyenta pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balkakh [Experimental study of the coefficient of moment Redistribution in statically indeterminate rc beams]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2023. No. 5. Pp. 24–35. [doi.org:10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35](https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-109-5-24-35). (rus)
4. Sayed Y.A.K. Issledovaniye pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykhkorrodirovannyye zhelezobetonnyye balki [Study of moment redistribution in statically indeterminate corroded reinforced concrete beams]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2024. No. 1. (rus)
5. Gil A.I., Lazovsky E.D. Issledovaniye pereraspredeleniya momentov v staticheski neopredelimykh korrodirovannykh zhelezobetonnykh balkakh [Analysis of experimental research results of continuous reinforced concrete beams with combined reinforcement of the tensile zone above the intermediate support with composite and steel reinforcement]. *Bulletin of BrSTU*. 2023. No. 2. Vol. 131. Pp. 3-8. [doi.org:10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8](https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-131-2-3-8). (rus)
6. Mailyan L.R. Pereraspredeleniye usiliy v staticheski neopredelennykh zhelezobetonnykh balkakh [Redistribution of forces in statically indeterminate reinforced concrete beams]. *News of higher educational institutions. Construction and architecture*. 1983. No. 4. Pp. 6. (rus)

7. Nikulin A.I., Sotnikov D.Y., Kazakov D.V. Pereraspredeleniye usiliiy v staticheskikh raschotakh nerazreznykh zhelezobetonnykh balok [Redistribution of forces in static calculations of continuous reinforced concrete beams]. *Bulletin of the Oryol State Technical University. Series: Construction and transport*. 2008. No. 17. Pp. 34-37. (rus)
8. Smolyago G.A., Obernikhina Ya.L., Obernikhin D.V. Vliyaniye vneshnego armirovaniya ugleplastikom na pereraspredeleniye usiliiy v nerazreznykh zhelezobetonnykh balkakh [Influence of external reinforcement with carbon fiber on the redistribution of forces in continuous reinforced concrete beams]. *Architecture. Construction. information technologies - 2023 (ASIT-2023)*. 2023. Pp. 33-34. (rus)
9. Popov D.S. Chislennyye issledovaniya pereraspredeleniy usiliiy v staticheski neopredelimykh korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh balkakh [Numerical Investigations of Stress Redistributions in Statically Indeterminate Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023. No. 4. Vol. 100. Pp. 591-610. (rus)
10. Grace N.F., Sayed G.A., Saleh K.R. Strengthening of Continuous Beams Using Fibre Reinforced Polymer Laminates. *Fourth International Symposium on FRP Reinforcement for RC Structures. ACI*. 1999. Pp. 647-657.
11. Grace N.F. Strengthening of Negative Moment Region of RC Beams Using CFRP Strips. *ACI Struct. J.* 2001. Vol. 98. No. 3. Pp. 347-357.
12. El-Refaie S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. Sagging and hogging strengthening of continuous reinforced concrete beams using carbon fiber-reinforced polymer sheets. *ACI Struct. J.* 2003. Vol. 100. Pp. 446-453. [doi.org/10.14359/12653.13](https://doi.org/10.14359/12653.13).
13. El-Refaie S.A., Ashour A.F., Garrity S.W. CFRP strengthened continuous concrete beams. *Proceedings of the ICE - Structures and Buildings*. 2003. Vol. 156. No. 4. Pp. 395-404. [doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.395](https://doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.395)
14. Aly H.A., Nasr E.A., El-Ghandour A.A., Abdelrahman A.A. Moment redistribution in RC continuous beams strengthened in flexure by CFRP laminates. *FRP Composites in Civil Engineering - CICE*. 2004. Pp. 227-235. [doi.org/10.1201/9780203970850.ch22](https://doi.org/10.1201/9780203970850.ch22).
15. Aiello M.A., Valente L., Rizzo A. Moment redistribution in continuous reinforced concrete beams strengthened with carbon-fiber-reinforced polymer laminates. *Mech. Compos. Mater.* 2007. Vol. 43. Pp. 453-66. [doi.org/10.1007/s11029-007-0043-x](https://doi.org/10.1007/s11029-007-0043-x)
16. Maghsoudi A.A., Bengar H. Moment redistribution and ductility of RHSC continuous beams strengthened with CFRP. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 2009. Vol. 33. Pp. 45-59. [doi.org/10.3906/muh-0901-6](https://doi.org/10.3906/muh-0901-6)
17. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer. *Materials and Design*. 2010. Vol.31. Pp. 1130-1147. [doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.041](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.09.041)
18. Araba A., Ashour A. Flexural performance of hybrid GFRP-steel reinforced concrete continuous beams. *Composites Part B*. 2018. Vol. 154. Pp. 321-336. [doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.077](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.077).

#### Информация об авторах:

##### **Обернихина Яна Леонидовна**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия,  
старший преподаватель кафедры Строительства и городского хозяйства.  
E-mail: yana.ishuk@yandex.ru

##### **Смоляго Геннадий Алексеевич**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)», г. Белгород, Россия,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Строительства и городского хозяйства.  
E-mail: str-exp@mail.ru

#### Information about authors:

##### **Obernikhina Yana L.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation,  
Senior Lecturer of the Department of Construction and Urban Economics.  
E-mail: yana.ishuk@yandex.ru

##### **Smolyago Gennadiy A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation,  
D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction and Urban Economics,  
E-mail: str-exp@mail.ru