

## Определение усилий в соединениях балок покрытий и перекрытий с настилом с использованием углепластика

*С.А. Крутик*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)*

**Аннотация:** При проектировании узлов соединения настила с несущими конструкциями покрытий и перекрытий в виде полос углепластика одной из главных задач является определение нагрузки, действующей на соединение. В статье рассмотрены результаты расчетного определения усилий в элементах соединения металлических балок с настилом в зависимости от величины начального искривления, как нормативного, так и сверхнормативного. Результаты исследования могут быть использованы для проектирования крепления стальных настилов к несущим стальным элементам покрытий и перекрытий из композитных материалов.

**Ключевые слова:** углепластик, композитные материалы, углеродное волокно, фиброармированные пластики (ФАП), усиление, начальный прогиб, металлические конструкции, реконструкция, соединение элементов конструкций, нагрузки и воздействия

Использование композитных материалов для усиления строительных конструкций является важной и актуальной задачей для повышения технологичности и снижения трудозатрат при производстве работ. Исследования в области усиления строительных конструкций композитными материалами проводятся как в нашей стране в области железобетонных конструкций [1-4] и в металлических конструкциях [4-5], так и за рубежом [6-8]

В соединениях балок с настилом усилия могут возникать при работе настила, как диска жесткости, а также при наличии искривлений балок из плоскости изгиба в процессе их нагружения. При этом можно говорить об искривлениях балок в пределах значений, предусмотренных действующими нормами, а также о сверхнормативных значениях искривлений, выявленных в процессе обследований.

Согласно ГОСТ Р 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.» стрела прогиба

изгибаемого элемента из плоскости изгиба может составлять не более  $1/500l$  и не более 15 мм, где  $l$  – длина элемента.

Значения сверхнормативных искривлений, выявленные в процессе обследования, могут достигать и даже в некоторых случаях превышать 50мм.

Благодаря этому, в программном комплексе ЛИРА-САПР [9] были смоделированы балки покрытия с учетом нормативных и сверхнормативных искривлений для определения усилий в соединениях балок с настилом.

Балки моделировались конечными элементами пластин, связи – одноузловыми конечными элементами (элемент 51). Соединения балок с настилом обеспечивали закрепление верхнего пояса балок в горизонтальной плоскости.

При моделировании загрузки были приняты типовые нагрузки на покрытие с профилированным настилом. В качестве несущего элемента покрытия рассматривался Дв. 25Б1 пролетом 6 м.

Суммарные нагрузки на покрытие принимались 4-5,2 кН/м<sup>2</sup>, коэффициенты надежности по нагрузке приняты в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*», шаг элементов покрытия – 3 м. Нагрузка выбиралась таким образом, чтобы для балок выполнялись требования по 2-му предельному состоянию, а при расчете по 1-му предельному состоянию конструкции имели запас в районе 5%. Общий вид расчетной модели представлен на Рис. 1. Значение усилий в связевых элементах определялось путем деформационного расчета искривленных балок.

Были смоделирована балка пролетом 6 м с искривлениями 12 мм. По результатам расчета балок по 1-му предельному состоянию было установлено, что минимально необходимое количество точек закрепления для обеспечения общей устойчивости составляет 3.

Количество точек закрепления балки в пролете принято от 3 до 66 (66 точек закрепления соответствует креплению профилированного настила к балке в каждой гофре).

Результаты расчета представлены в таблице 1. Зависимость усилий в связях от количества точек закрепления представлены на рис. 2.

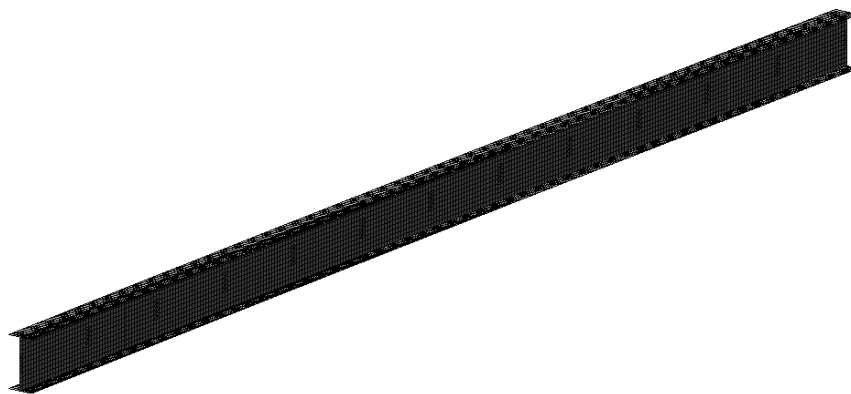


Рис. 1– Общий вид расчетной модели.

Дополнительно было исследовано влияние сверхнормативных искривлений при значениях 15, 25 и 50 мм.

Также было проанализировано влияние точек закрепления верхнего пояса балки. Всего было рассмотрено три варианта закреплений, соответствующих рассматриваемым в [10] техническим решениям. Схемы закреплений представлены на Рис. 3.

Таблица №1

Дв 25Б1. Зависимость усилия в связях от количества точек закрепления

№ пп	Наименование профиля	Длина, м.	Шаг балок, м.	Нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Кол-во закреплений	Усилие R <sub>max</sub> , кг
1	2	3	4	5	6	7
1	Дв.25Б1	6	3	5,2	32	0,10
2		6	3	5,2	15	0,18

1	2	3	4	5	6	7
3	Дв.25Б1	6	3	5,2	7	0,30
4		6	3	5,2	3	0,45

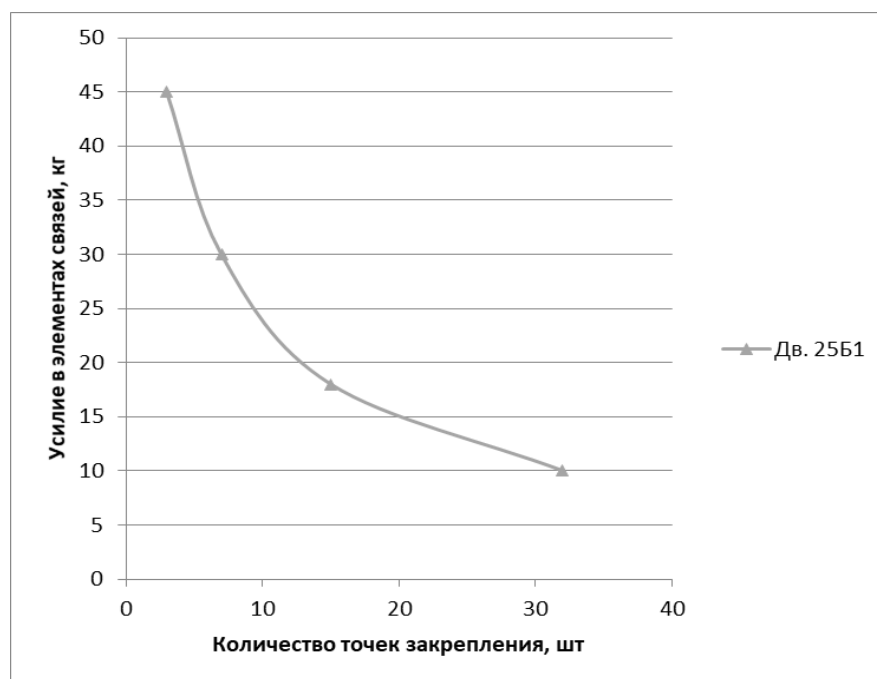


Рис. 2– Зависимость усилий в элементах связей от количества точек закрепления.

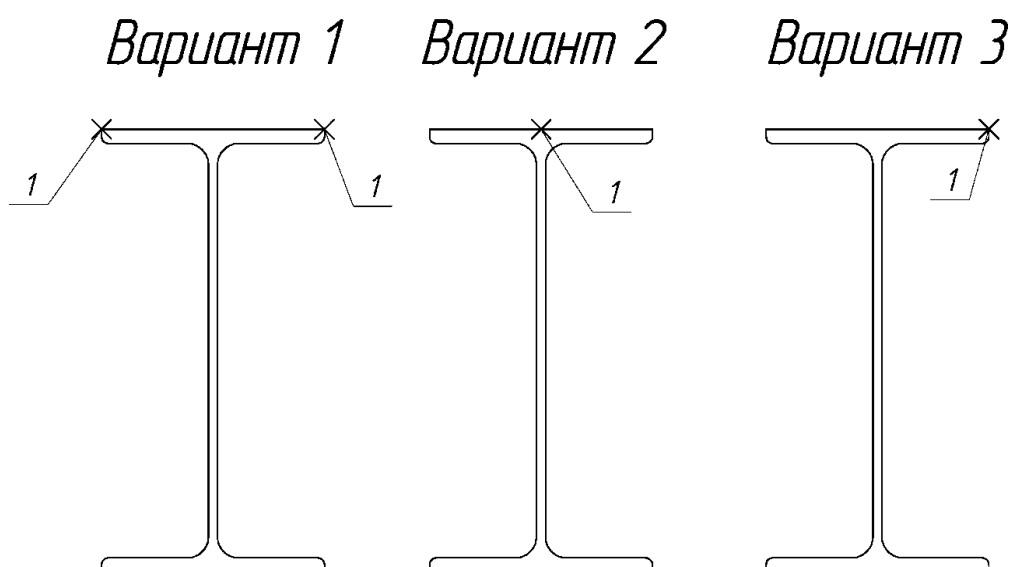


Рис. 3– Варианты закрепления поперечного сечения балки. 1- точка закрепления поперечного сечения.

Таблица №2

Зависимость усилия в связях от количества точек закрепления и варианта закрепления при  $f=15$  мм

Наименование	$f$ , мм	Кол-во закрепленных сечений	Вариант закрепления	$R_{\max}$ (справа), кН	$R_{\max}$ (слева), кН	$\sum R$ ( $R_{\max}$ ), кН
Дв. 25Б1	15	11	1	0,28	0,20	0,48
		5		0,51	0,42	0,93
		3		0,73	0,64	1,37
		2		0,81	0,76	1,57
		11	2	-	-	0,46
		5		-	-	0,90
		3		-	-	1,34
		2		-	-	1,59
		11	3	-	-	0,51
		5		-	-	0,94
		3		-	-	1,31
		2		-	-	1,60

Таблица №3

Зависимость усилия в связях от количества точек закрепления и варианта закрепления при  $f=25$  мм

Наименование	$f$ , мм	Кол-во закрепленных сечений	Вариант закрепления	$R_{\max}$ (справа), кН.	$R_{\max}$ (слева), кН.	$\sum R$ ( $R_{\max}$ ), кН
Дв. 25Б1	25	11	1	0,54	0,26	0,80
		5		0,93	0,66	1,59
		3		1,40	1,11	2,51
		2		1,53	1,38	2,91
		11	2	-	-	0,81
		5		-	-	1,62

Таблица №3 продолжение

Наименование	f, мм	Кол-во закрепленных сечений	Вариант закрепления	R <sub>max</sub> (с права), кН.	R <sub>max</sub> (слева), кН.	∑R (R <sub>max</sub> ), кН
Дв. 25Б1	25	3	2	-	-	2,49
		2		-	-	2,96
		11	3	-	-	0,93
		5		-	-	1,74
		3		-	-	2,41
		2		-	-	2,93

Таблица №4

Зависимость усилия в связях от количества точек закрепления и варианта закрепления при f=50 мм

Наименование	f, мм	Кол-во закрепленных сечений	Вариант закрепления	R <sub>max</sub> (справа), кН.	R <sub>max</sub> (слева), кН.	∑R (R <sub>max</sub> ), кН
Дв. 25Б1	50	11	1	1,46	32,89	1,79
		5		2,36	1,15	3,52
		3		3,20	1,93	5,14
		2		3,13	2,44	5,57
		11	2	-	-	1,76
		5		-	-	3,41
		3		-	-	5,01
		2		-	-	5,66
		11	3	-	-	2,34
		5		-	-	3,02
		3		-	-	4,68
		2		-	-	5,44

Зависимость усилий в связях от количества точек закрепления и значения начального искривления представлены на Рис. 4. На рис. 4 также

представлен график  $Q_{fic}$ , определяемый в соответствии с СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*"

Было проанализировано распределение усилий в элементах связей по длине балки в зависимости от значения начального искривления. Количество точек закрепления балки по длине составляет 13 шт, что соответствует раскреплению через гофр. Данные представлены на Рис. 5.

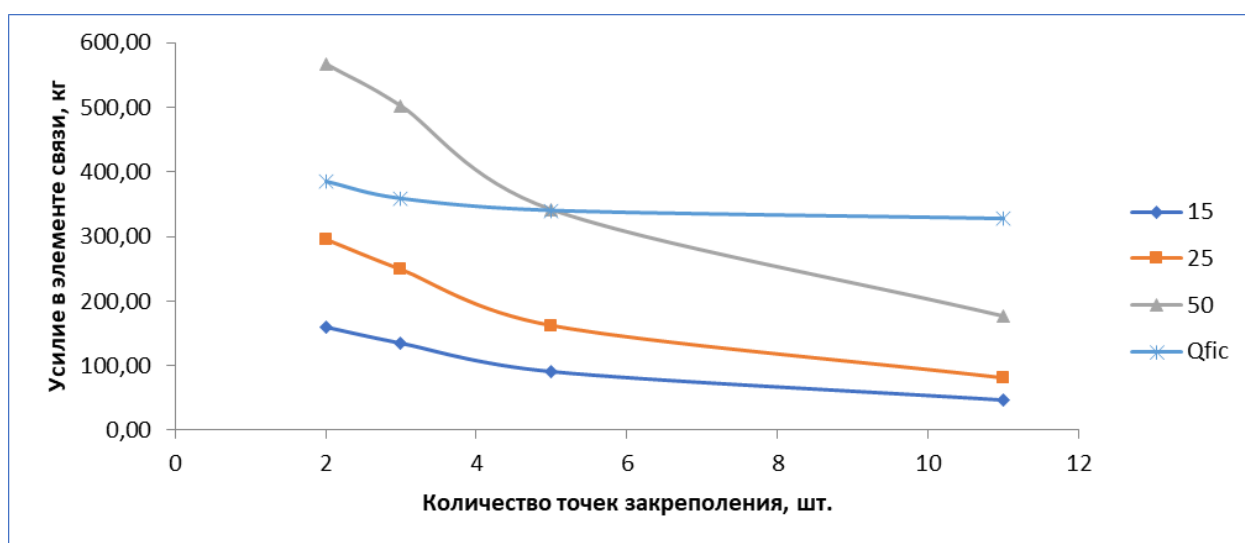


Рис. 4– Зависимость усилий в связях от количества точек закрепления и значения начального искривления (Вариант закрепления 2).

По результатам расчетов установлено следующее:

Определены зависимости усилий в элементах соединения элементов покрытий и перекрытий с настилом от количества точек закрепления и величины начального искривления.

Получены усилия в элементах зависимости от способа крепления настила к несущим элементам.

Получен график распределения усилий в элементах крепления настила при фиксированном числе закреплений в зависимости от величины начального искривления.

Результаты исследования могут быть использованы для проектирования крепления стальных настилов к несущим стальным

элементам покрытий и перекрытий из композитных материалов в виде углеродных лент [10].

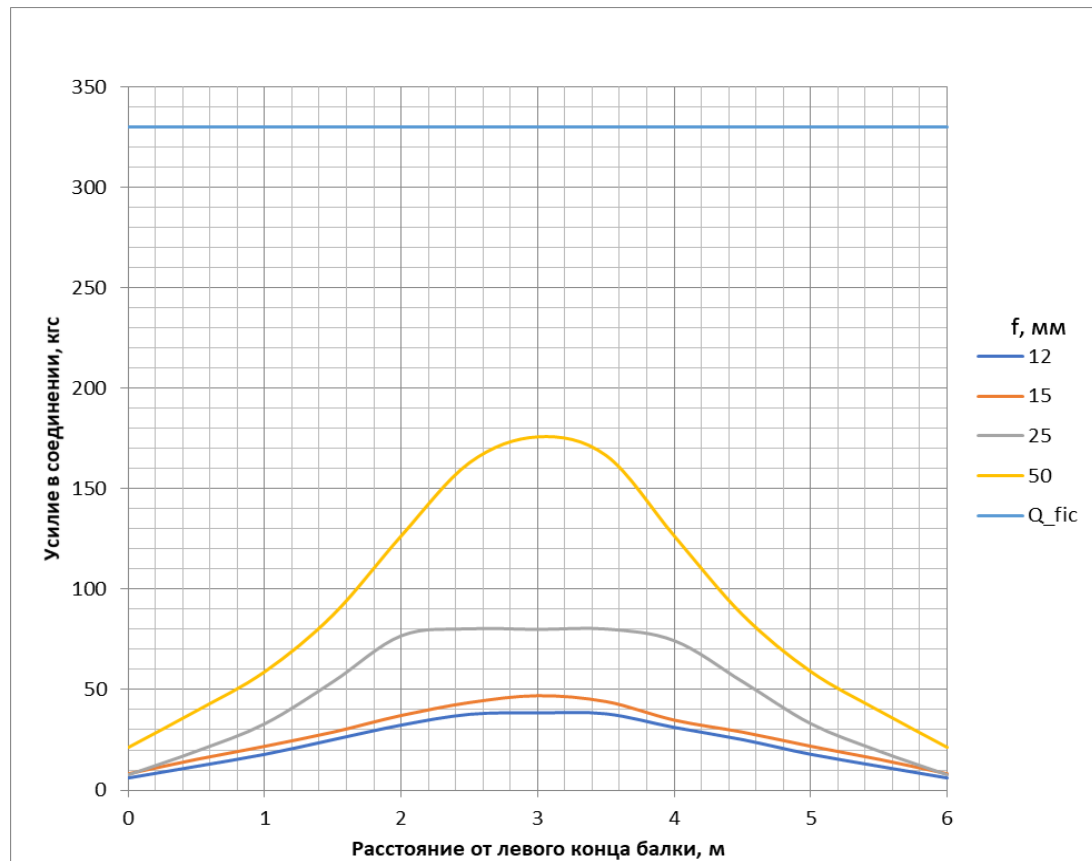


Рис. 5– Распределение усилий в связях по длине балки.

### 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. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307)
2. Польской П.П., Михуб Ахмад, Георгиев С.В. Методики усиления композитными материалами и испытания железобетонных элементов // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1687](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1687)



3. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. М.: ОАО «Издательство «Стройиздат» 2004, стр.22, рис.1.4.

4. Туснин А. Р., Щуров Е. О. Экспериментальные исследования клеевого соединения элементов из стали и углепластиковых композиционных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 7. С. 69-73.

5. Пятницкий А.А., Крутик С.А., Махов И.О. Новый способ усиления металлических конструкций памятников архитектуры // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 73-76.

6. Yu, T., Fernando, D., Teng, J.G., and Zhao, X.L. Experimental study on CFRP-to-steel bonded. Composites Part B: Engineering. 2012. 43(5), pp. 2279–2289.

7. Xia, S.H., and Teng, J.G. Behavior of FRP-to-steel bond joints. In Proceedings of International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures (BBFS 2005). 2005. Hong Kong, December, pp. 419–426.

8. Fam, A., Witt, S., and Rizkalla, S. Repair of damaged aluminum truss joints of highway overhead sign structures using FRP. Construction and Building Materials. 2006. 20(10), pp. 948–956.

9. Ромашкина М.А., Титок В.П. Программный комплекс ЛИРА-САПР®. Руководство пользователя. Обучающие примеры. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2018г. 254 с. URL: [rflira.ru/files/lira-sapr/Book\\_LIRA\\_SAPR\\_2018.pdf](http://rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf)

10. Пятницкий А.А., Крутик С.А. Усиление балок покрытий и перекрытий с использованием углепластика // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 6. С. 57-60.

## References

1. Pol'skoy P.P., Mailyan D.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307)
  2. Pol'skoy P.P., Mikhub Akhmad, Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1687](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1687)
  3. Shilin A.A., Pshenichnyy V.A., Kartuzov D.V. Usilenie zhelezobetonnykh konstruktsiy kompozitsionnymi materialami. [Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials]. M.: «Izdatel'stvo «Stroyizdat» 2004, p.22, fig.1.4
  4. Tusnin A. R., Shchurov E. O. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. № 7. pp. 69-73.
  5. Pyatnitskiy A.A., Krutik S.A., Makhov I.O. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2015. № 3. pp. 73-76.
  6. Yu, T., Fernando, D., Teng, J.G., and Zhao, X.L. Experimental study on CFRP-to-steel bonded. Composites Part B: Engineering. 2012. 43(5), pp. 2279–2289.
  7. Xia, S.H., and Teng, J.G. Behavior of FRP-to-steel bond joints. In Proceedings of International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures (BBFS 2005). 2005. Hong Kong, December, pp. 419–426.
  8. Fam, A., Witt, S., and Rizkalla, S. Repair of damaged aluminum truss joints of highway overhead sign structures using FRP. Construction and Building Materials. 2006. 20(10), pp. 948–956.
  9. Romashkina M.A., Titok V.P. Programmnyy kompleks LIRA-SAPR®. Rukovodstvo pol'zovatelya. Obuchayushchie primery Pod redaktsiey akademika RAASN Gorodetskogo A.S. [Software suite LIRA-SAPR. User's guide. Tutorials]. 2018. 254 p
  10. Pyatnitskiy A.A., Krutik S.A. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2018, no. 4, pp. 57-60.
-