



УДК 624.014

**ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ГОФРИРОВАННОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ НЕСИММЕТРИЧНОГО
СЕЧЕНИЯ****Молева Наталия Юрьевна**аспирант, Самарский государственный технический университет, г. Самара
moleva.nat@yandex.ru**Аннотация**

Рассматриваются особенности напряженно-деформированного состояния гофрированной балки несимметричного сечения при изменении ширины нижнего пояса. Произведен расчет и анализ модели двутавровой гофрированной балки симметричного сечения (ширина обоих поясов 300 мм), затем варианта балки несимметричного сечения с уменьшенной шириной нижнего пояса (240 мм) и затем третьего варианта с шириной нижнего пояса 180 мм. Приведено сравнение полученных результатов с точки зрения напряженно-деформированного состояния. Расчет выполнялся в прикладном комплексе «ЛИРА САПР». Результаты расчета представлены в виде мозаики напряжений.

Ключевые слова: двутавровая балка, гофрированная балка, несимметричное сечение, устойчивость.

**FEATURES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE CORRUGATED I-
GIRDER WITH ASYMMETRICAL CROSS-SECTION****Nataliya Yu. Moleva**post-graduate student of Samara State Technical University, Samara
moleva.nat@yandex.ru**ABSTRACT**

The article analyzes features of the stress-strain state of the corrugated beam with asymmetrical cross-section when changing the width of the lower flange. First model of corrugated I-girder with symmetrical cross-section was calculated and analyzed (the flanges width is 300 mm), second variant of girder with asymmetrical cross-section (the width of the lower flange is 240 mm) and finally the third version of girder which width of lower flange is 180 mm. The comparison of obtained results is given in the point of view of the stress-strain state. The calculating has been done in a special program complex "LIRA-SAPR". The results of the calculating are displayed as a mosaic of obtained voltages.

Keywords: I-girder, corrugated girder, asymmetrical cross-section, stability.

Двутавровые балки с гофрированными стенками являются последние десятилетия стремительно развивающимся направлением в области металлических конструкций. Достоинства гофрированных балок: увеличение жесткости, отсутствие необходимости в установке ребер жесткости, возможность снижения толщины стенки. В качестве недостатков можно выделить трудозатраты при изготовлении, в частности существенно усложнен процесс сварки таких профилей. Гофрирование стенки значительно повышает ее гибкость [1,2], что делает такой вариант балки предпочтительным, в том числе при работе на кручение. Исследованиям балок с гофрированной стенкой посвящены, например, работы [3,4,5] и др. В данном исследовании произведен анализ изменения напряженно-деформированного состояния балки с гофрированной стенкой несимметричного сечения – при изменении ширины нижнего пояса. Расчет с помощью метода конечных элементов балки осуществляется в ПК «ЛИРА-САПР» с составлением матрицы жесткости ($k_{i,j}$) и векторов нагрузок P_l элементов:

$$k_{i,j} = \int_{\Omega} (DB\varphi_j)B\varphi_i d\Omega = a(\varphi_j, \varphi_i) \quad ,$$

$$P_l = \int_{\Omega} f\varphi_l d\Omega = (f, \varphi_l)$$

1. Гофрированная балка симметричного сечения

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние балки с гофрированной стенкой от действия равномерно-распределенной нагрузки $q = 40$ кН/м. Высота балки – 800 мм, толщина стенки – 3 мм. Ширина пояса – 300 мм. Материал: сталь марки С245.

Принято считать, что нормальную силу воспринимают пояса балки, но эксперимент с загрузением расчетной модели в ПК «ЛИРА-САПР» показывает, что это не совсем так, и стенка частично воспринимает усилия N_x в местах примыкания к поясу (рис.1). Вовлеченность стенки в восприятие нормальных усилий N_y значительно меньше (рис. 2).

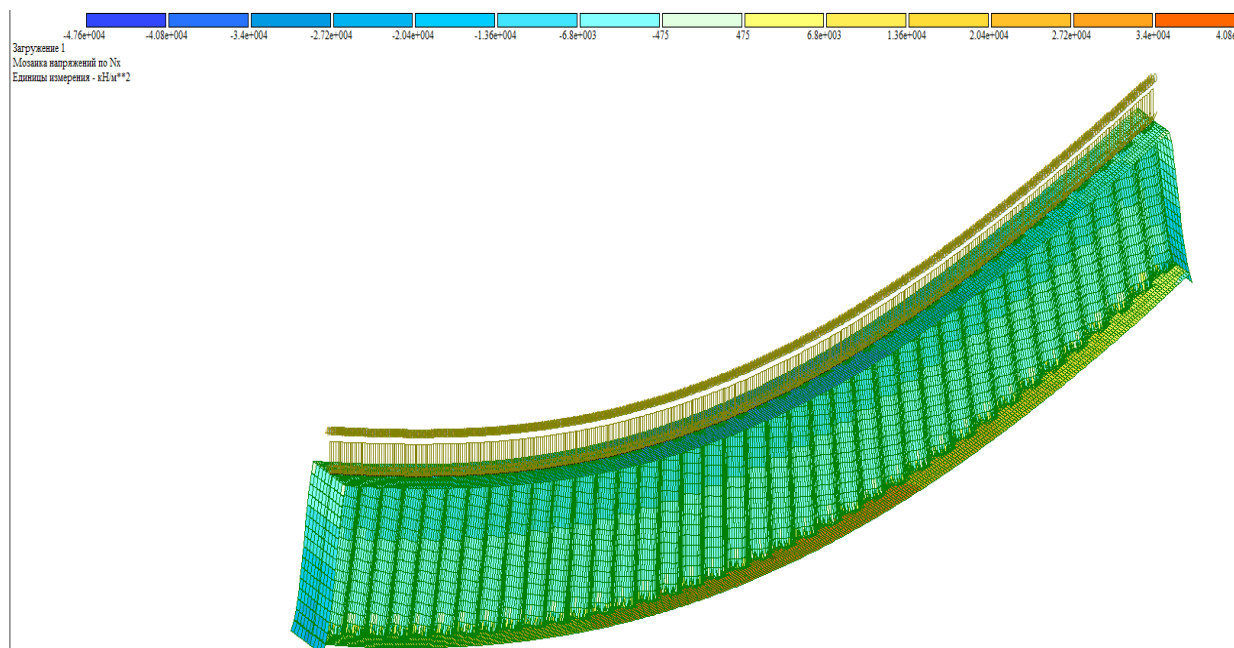


Рисунок 1. Мозаика напряжений по N_x

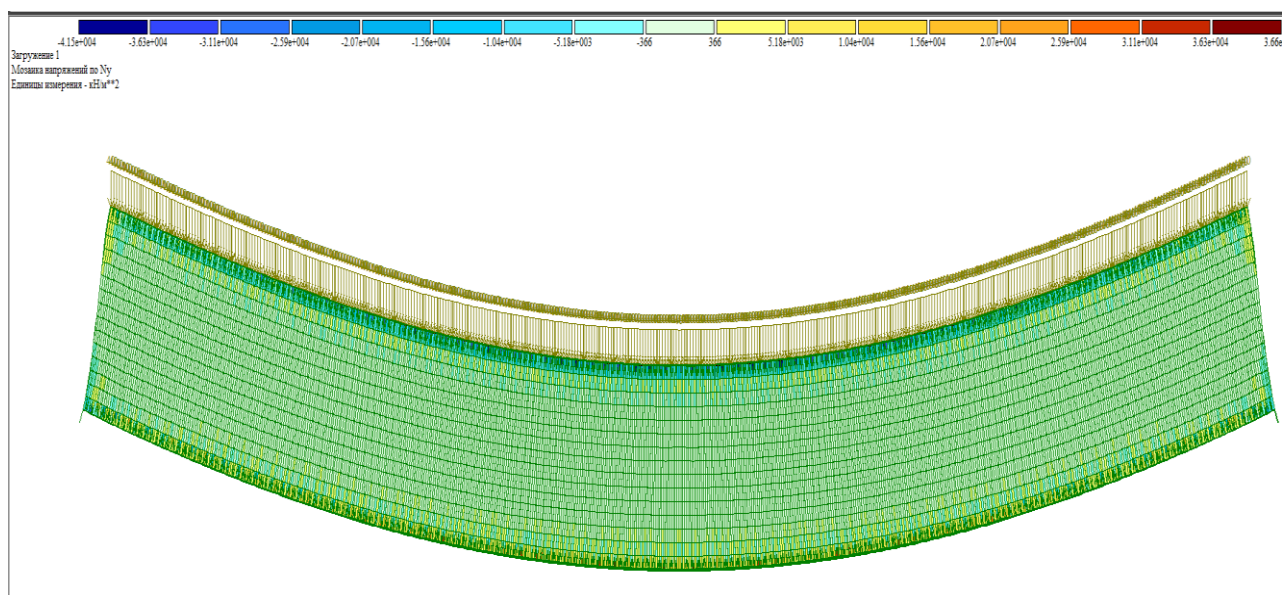


Рисунок 2. Мозаика напряжений по N_y

Изгибающие моменты M_x воспринимаются поясами, участие стенки в восприятии моментов M_y незначительно. Работа стенки на касательные напряжения τ_{xy} соответствует имеющимся теоретическим данным (рис. 3).

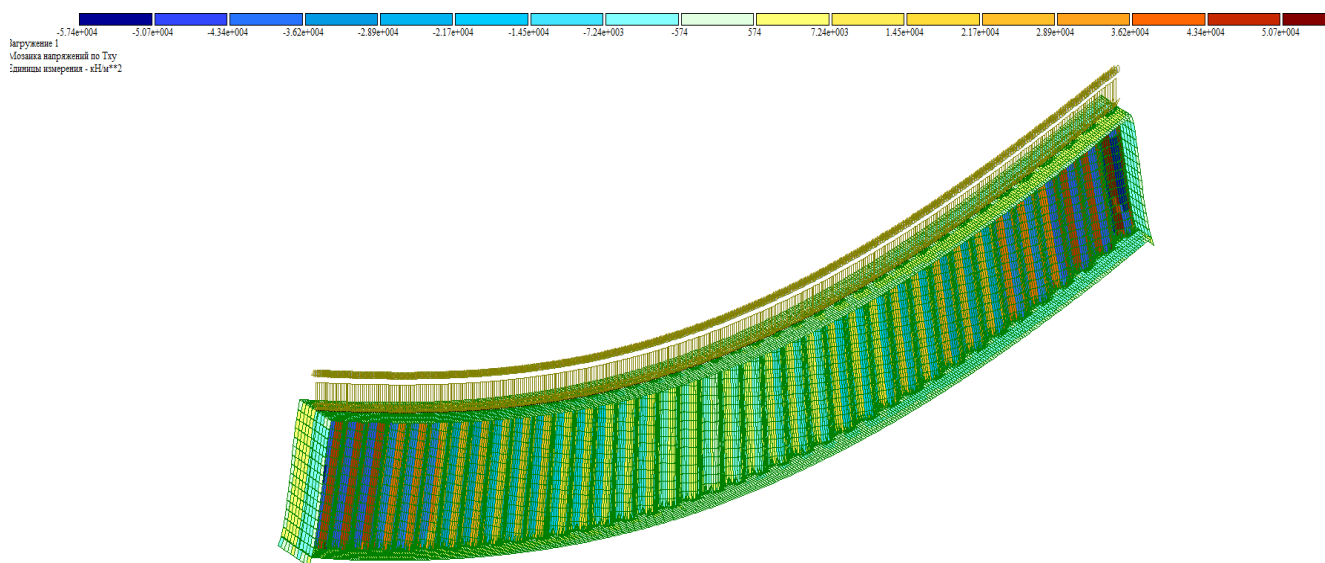


Рисунок 3. Мозаика напряжений по τ_{xy}

2. Уменьшение ширины нижнего пояса до 240 мм.

Целью данного исследования являлось определение особенностей напряженно-деформированного состояния балки с гофрированной стенкой несимметричного сечения.

Уменьшив ширину нижнего пояса балки до 240 мм и произведем расчет балки под действием той же равномерно-распределенной нагрузки $q = 40$ кН/м. Ширина верхнего пояса остается прежней (300 мм).

По результатам расчета в ПК «ЛИРА САПР» увеличиваются усилия в нижнем уменьшенном поясе (рис. 4) и величина прогиба (рис.5):

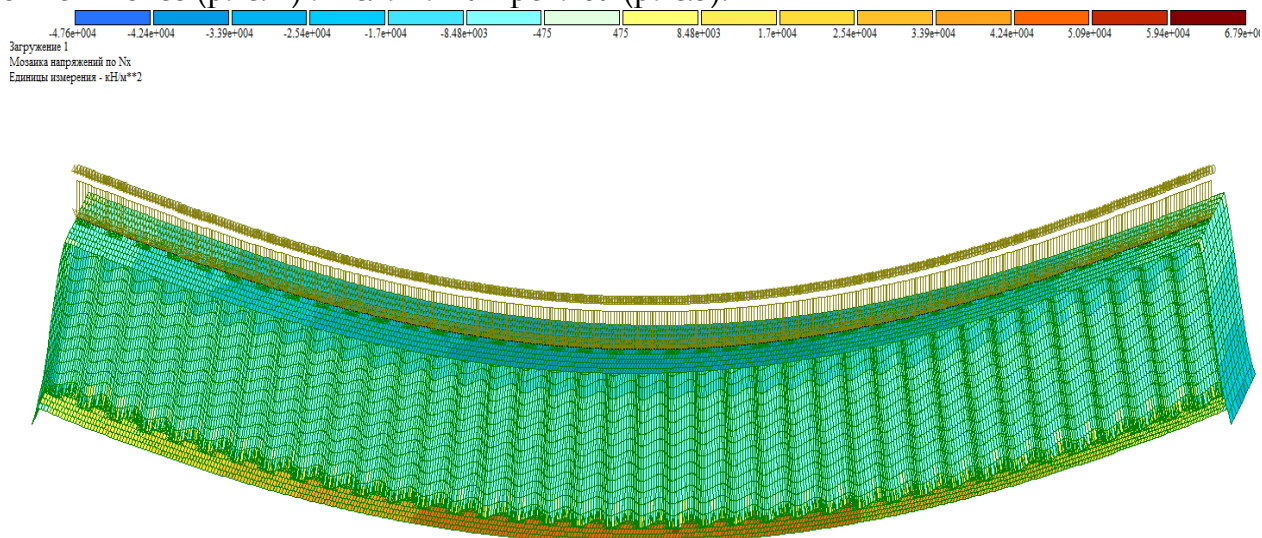


Рисунок 4. Мозаика напряжений по N_x для балки с уменьшенным поясом

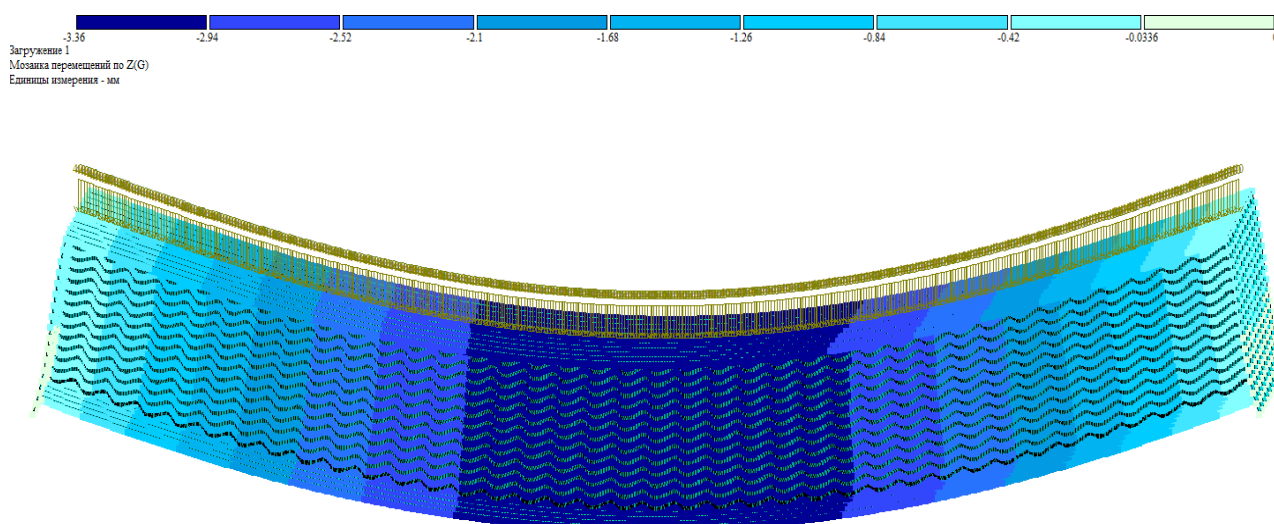


Рисунок 5. Мозаика перемещений по z для балки с уменьшенным поясом

В балке симметричного сечения прогиб от вертикальных нагрузок составлял $z_0 = 3,13$ мм.

3. Уменьшение ширины нижнего пояса до 180 мм.

Произведем еще одно уменьшение ширины нижнего пояса до 180 мм и повторим расчет. Также проверим показатели устойчивости балки в сравнении с симметричным вариантом. Произошло закономерное увеличение напряжений в нижнем поясе, а также вовлеченность большей по длине части стенки в восприятие продольной силы – более 200 мм (рис. 6), и изгибающего момента – более 250 мм (рис.7).

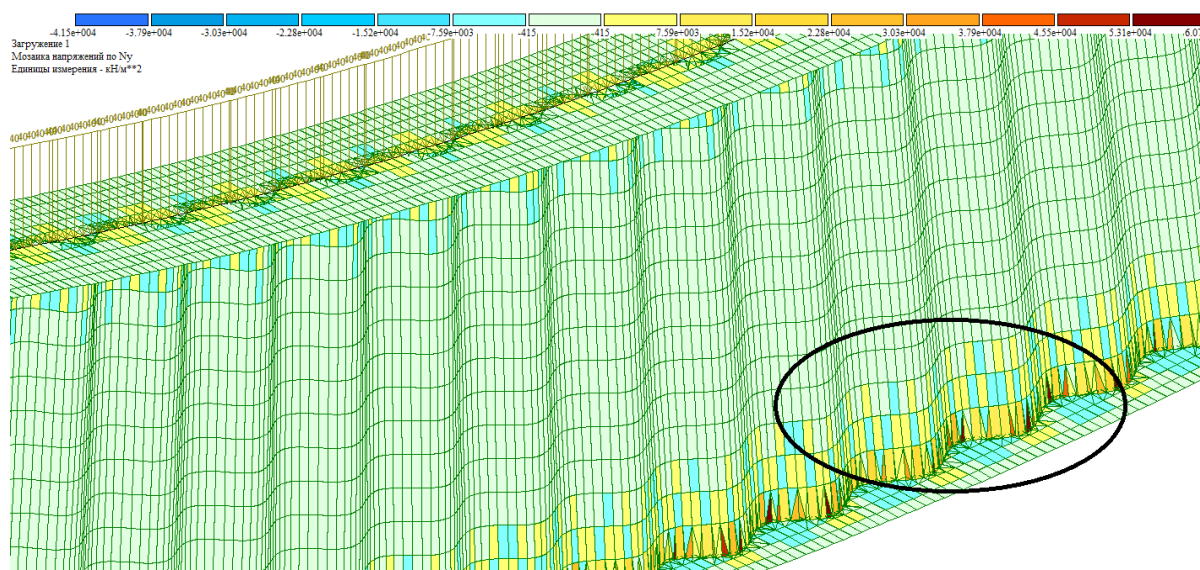


Рисунок 6. Восприятие стенкой силы N в балке с шириной нижнего пояса 180 мм

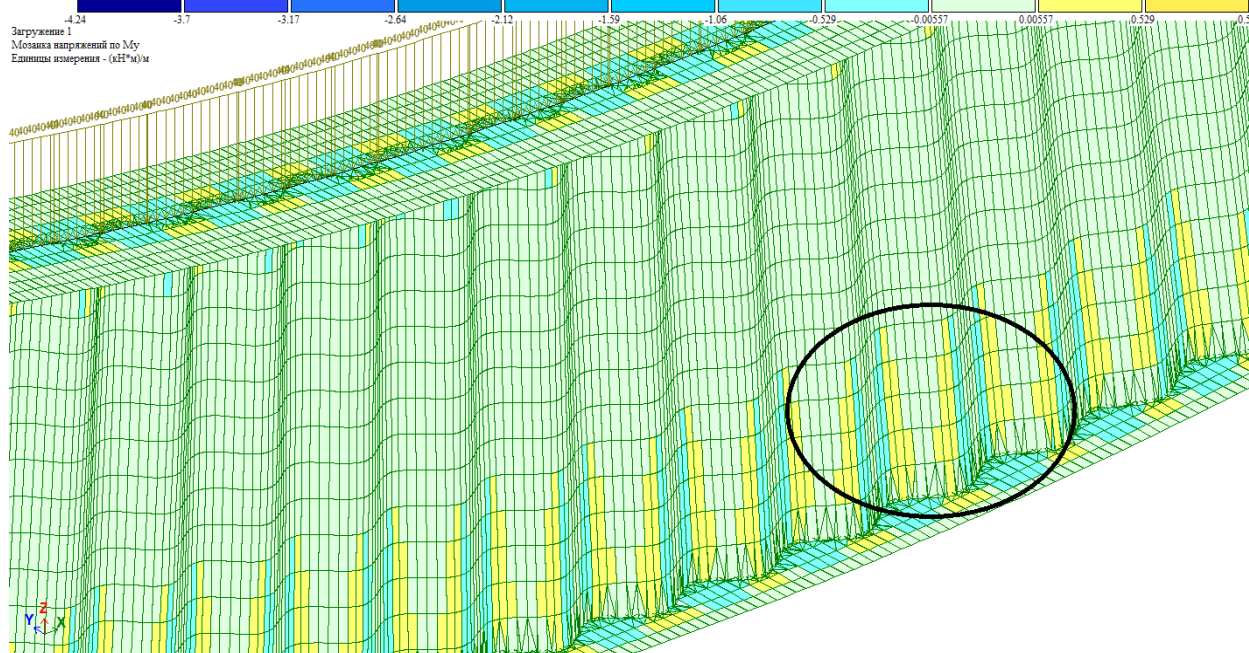


Рисунок 7. Восприятие стенкой изгибающего момента M_y в балке с шириной нижнего пояса 180 мм

Величина перемещений по z также увеличилась до 3,76 мм. Величина касательных напряжений τ_{xy} , воспринимаемых стенкой, не изменилась.

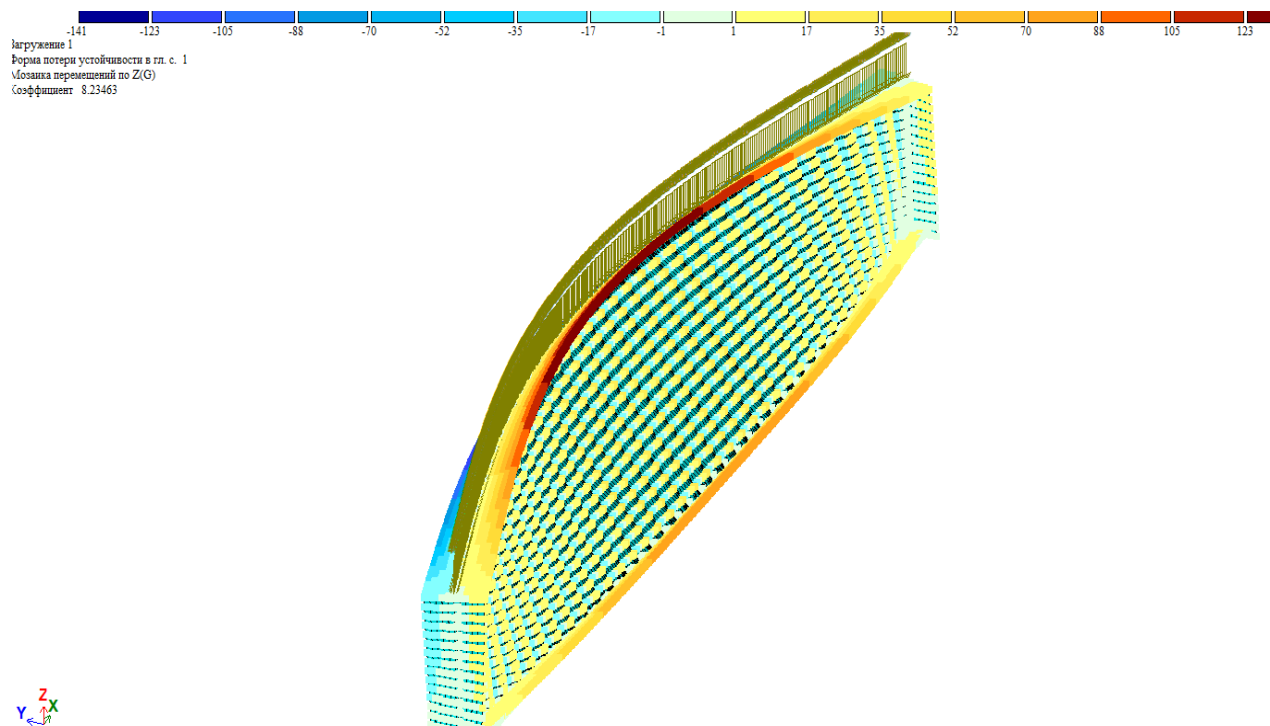


Рисунок 8. Первая форма потери устойчивости балки с шириной нижнего пояса 180 мм

Интересен тот факт, что балка с уменьшенным нижним поясом все равно имеет достаточно высокий запас устойчивости (коэффициент 8,23463) (рис. 8). Балка симметричного сечения имеет коэффициент запаса 8,73816 по первой форме потери устойчивости.

Основные выводы:

- При уменьшении ширины нижнего пояса в 1,67 раза (по сравнению с верхним) произошло изменение напряженно-деформированного состояния: в стенке возникают нормальные и изгибающие усилия, распространяющиеся на высоту, превышающую 1/4 высоты сечения всей балки. Это является главным отличием работы несимметричной балки по сравнению с симметричной, в которой эти усилия возникают в зонах непосредственного примыкания стенки к поясам.
- Увеличение прогиба при нагрузке той же величины (на 16,7% больше в сравнении с гофрированной балкой симметричного сечения).
- Увеличение напряжений в растянутом нижнем (уменьшенном) поясе.
- Балка с гофрированной стенкой несимметричного сечения отвечает требованиям устойчивости, проходит все необходимые проверки, но коэффициент запаса общей устойчивости снижен на 5,8 % в сравнении с симметричным вариантом.

Список литературы

1. Бирюлев В.В., Кошин И. И., Крылов И. И., Сильвестров А. В. Проектирование металлических конструкций: Специальный курс. Учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1990. 432 с.
2. Горев В. В., Уваров Б. Ю., Филиппов В.В., Белый Б. И. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий: Учебник для строительных вузов. Под ред. В. В. Горева. – 3-е изд. стер. – М.: Высшая школа, 2004. – 528 с.
3. Соловьев А. В., Лукин А.О., Алпатов В. Ю. Анализ эффективности применения двутаврового элемента с гофрированной стенкой при работе в сложном напряженно-деформированном состоянии// Промышленное и гражданское строительство. – 2010, - № 6. М.: ООО "Издательство ПГС"; Москва, 2010.
4. Рыбкин И. С. Совершенствование конструктивных решений, методов моделирования и расчета гофрированных элементов: дисс. канд. тех. наук: 05.23.01: защищена 29.10.08/ Автор Рыбкин Иван Сергеевич. - М., 2008. - 195 с. - 04200852373.
5. Коханский С. С. Особенности оценки несущей способности стержней с гофрированной (рифленой) стенкой / С. С. Коханский, В. П. Уласевич// Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве : сборник статей IV Международной научно-технической конференции, Брест, 27 марта 2020 года / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Строительный факультет, ООО "Ли́ра САПР", ООО "ПСС-SOFiSTiK", ООО НПФ "СКАД СОФТ", ОДО НПП "БрестКАД", ЧУП "Брестстройнаука"; ред. кол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2020. – С. 189-196.
6. Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Долинский В.В. Исследование несущей способности стальных двутавровых балок с вертикально гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. - № 1.

References

1. Biryulev V.V., Koshin I. I., Krylov I. I., Sil'vestrov A. V. Proektirovanie metallicheskih konstrukcij [Designing of steel structures]: Special'nyj kurs. Uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Strojizdat, 1990. 432 p.
2. Gorev V. V., Uvarov B. YU., Filippov V.V., Belyj B. I. Metallicheskie konstrukcii [Steel structures]. V 3 t. T. 2. Konstrukcii zdaniy: Uchebnik dlya stroitel'nyh vuzov. Pod red. V. V. Goreva. – 3-e izd. ster. – M.: Vysshaya shkola, 2004. – 528 p.
3. Solov'ev A. V., Lukin A.O., Alpatov V. YU. Analiz effektivnosti primeneniya dvutavrovogo elementa s gofirovannoj stenкой pri rabote v slozhnom napryazhenno-deformirovannom sostoyanii [Analysis of the efficiency of the I-girders with corrugated webs when operating in a complex stress-deformed state]// Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2010. - № 6. M.: ООО "Izdatel'stvo PGS"; Moskva, 2010.
4. Rybkin I. S. Sovershenstvovanie konstruktivnyh reshenij, metodov modelirovaniya i rascheta gofirovannyh elementov [Improving design, modelling and calculating of corrugated elements]: diss. kand. tekhn. nauk: 05.23.01: zashchishchena 29.10.08/ Avtor

Rybkin Ivan Sergeevich. - M., 2008. - 195 p. - 04200852373.

5. Kohanskij S. S. Osobennosti ocenki nesushchej sposobnosti sterzhnej s gofrirovannoj (riflenoj) stenкой [Features of load capacity assessment of rods with corrugated (reef) web]/ S. S. Kohanskij, V. P. Ulasevich// Teoriya i praktika issledovanij, proektirovaniya i SAPR v stroitel'stve : sbornik statej IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii, Brest, 27 marta 2020 goda / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, Stroitel'nyj fakul'tet, OOO "Lira SAPR", OOO "PSS-SOFiSTiK", OOO NPF "SKAD SOFT", ODO NPP "BrestKAD", CHUP "Breststrojnauka"; redkol.: N. N. SHalobyta [i dr.]. - Brest : BrGTU, 2020. - 189-196 p.
6. Ostrikov G.M., Maksimov YU.S., Dolinskij V.V. Issledovanie nesushchej sposobnosti stal'nyh dvutavrovyyh balok s vertikal'no gofrirovannoj stenкой [Study of the load-bearing capacity of steel I-beams with a vertically corrugated web]// Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. - 1983. - № 1.