

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ РЕЖИМОВ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТАЛЬНЫХ БАЛОК

INVESTIGATION OF STABLE MODES OF FORCED OSCILLATION OF STEEL BEAMS

*д.т.н. проф. Волкова В.Е., асп. Смолий И.С., (Государственное
ВУЗ "Национальный горный университет", г. Днепропетровск,
Украина)*

*Dr. Professor Volkova V.E., postgr. stud. Smolii I.S. (SHEI
"National Mining University", Dnipropetrovsk, Ukraine)*

Аннотация

В статье представлены результаты численного моделирования динамического поведения сварных металлических балок конвейерных галерей. Рассматривались балки симметричного поперечного сечения, имеющие различное соотношение ширины к толщине полки b_f/t_f . Исследованы закономерности влияния жесткости поясов на амплитудно-частотные зависимости вынужденных колебаний металлических балок открытого сечения.

1. Введение

В последние годы за рубежом широкое распространение в конструкциях, воспринимающих динамические нагрузки, получили двутавровые металлические тонкостенные балки. В настоящее время, область их применения стремительно расширяется. Известны случаи применения тонкостенных балок в конструкциях пролетных строений конвейерных галерей шахтных комплексов, воспринимающие нагрузки от движения конвейерного транспорта. Ввиду этого, возрастает интерес к подобным конструкциям.

Целью исследования является установление взаимосвязи между соотношением ширины и толщины полки балки, и её амплитудно-частотными характеристиками, а также, частотами и собственными формами колебаний [6]. Предельное соотношение b_f/t_f , рекомендованное нормами, несколько ниже, чем получаемое на основе идеализированной расчетной схемы. Так, для неокаймленной полки двутавра и тавра оно составляет $b_f / t_f = 0,5\sqrt{E / R_y}$, что для стали с

расчетным сопротивлением $R_y=235$ МПа дает значение $b_f / t_f = 14,8$; если расчет выполняют без учета развития пластических деформаций. Если же сечение балки подобрано с учетом развития пластических деформаций, то предельный свес полки назначают в зависимости от соотношения размеров стенки $b_f / t_f = 0,11h_w / t_w$, но не более $0,5\sqrt{E / R_y}$ [1].

2. Численное моделирование вынужденных колебаний балок открытого сечения

Численное моделирование вынужденных колебаний выполнялось на основе метода конечных элементов в среде ПК “SCAD”. Интегрирование систем дифференциальных уравнений было реализовано при помощи блочного метода Ланцоша [7], имеющему ряд преимуществ по сравнению с классическим неблочным методом расчета [2].

Тонкостенная балочная конструкция моделировалась как система пластинчатых четырехузловых элементов, в которых вычислялись по шесть перемещений. Размеры пластин принимались путем оценки сходимости результатов моделирования при изменении шага сетки конечных элементов. [3].

При исследовании собственных колебаний шарнирно опертой тонкостенной балки анализировались десять форм колебаний, такое количество было принято во избежание накопления ошибок интегрирования. Заметим, что действующими нормами [4] рекомендуется рассматривать 3-5 низших форм колебаний.

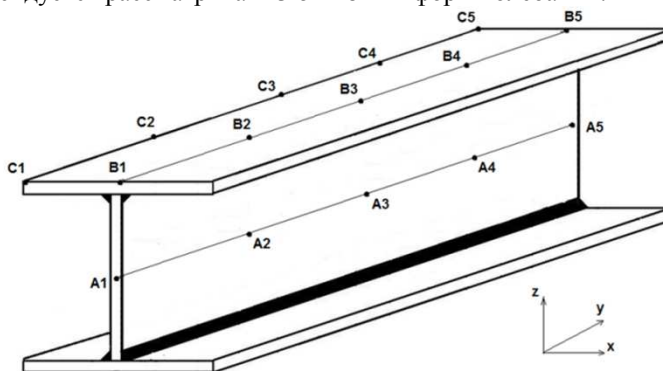


Рисунок 1. К расчетной схеме балки открытого сечения

В работе выполнен анализ влияния жесткости полки на динамические характеристики тонкостенных балок открытого сечения.

Величина b_f/t_f варьировалась в диапазоне 10...40, толщина полки принималась 64 мм для $b_f/t_f = 10$, 32 мм для $b_f/t_f = 20$, 20 мм для $b_f/t_f = 30$, 16 мм для $b_f/t_f = 40$ соответственно. Стенка балки имела постоянное сечение с толщиной $t_w=0,125$ м. Исследование выполнялось для балки высотой 2,1 м. Ширина полки принималась равной 0,64 м. Таким образом, приведенная гибкость стенки составляла $\overline{\lambda_\omega}=5,5$. В соответствии с [5], балка является тонкостенной. К балке прикладывалась сосредоточенная вертикальная нагрузка с шагом 0,8 м вдоль полки, обусловленная конструкцией конвейера, а именно шагом роlikоопор.

При исследовании вынужденных колебаний оценивались значения амплитуд характеристических точек балки, расположенных на трех линиях: a – линия симметрии полки в направлении оси Y , b – линия симметрии стенки в направлении оси Y , c – край полки [11].

Для дальнейшего анализа на каждой из этих линий рассматривались пять точек, расположенных на равных расстояниях друг от друга (рис. 1).

При построении амплитудно-частотных зависимостей частота внешнего возмущения изменялась в диапазоне от 0 до 50 Гц с шагом 0,1 Гц [10]. На основе исследований значение коэффициента трения было принято равным $\epsilon=0,05$, что позволяет отразить диссипативные свойства низколегированных стальных сплавов.

Среди различных факторов, вызывающих гашение колебаний механических систем, особый интерес представляет естественное поглощение энергия колебаний в материале упругих элементов самой колебательной системы [8]. Любой реальный материал способен при его циклическом деформировании в большей или меньшей степени поглощать энергию циклического деформирования, преобразуя ее в теплоту, которая затем рассеивается [9].

В таблице 1 представлены значения собственных частот для первых восьми форм колебаний тонкостенной двутавровой балки.

Таблица 1. Собственные частоты колебаний

Мода b_f/t_f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	8,69	10,02	15,95	16,77	18,3	19,52	20,94	22,71	24,89	26,87
20	7,1	9,47	12,4	12,92	16,04	18,36	20,46	22,38	22,67	25,19
30	6,17	8,94	10,08	12,05	12,66	15,23	17,81	20,51	23,42	23,84
40	5,84	8,66	9,33	11,47	12,24	13,8	16,33	19,1	22,13	25,03

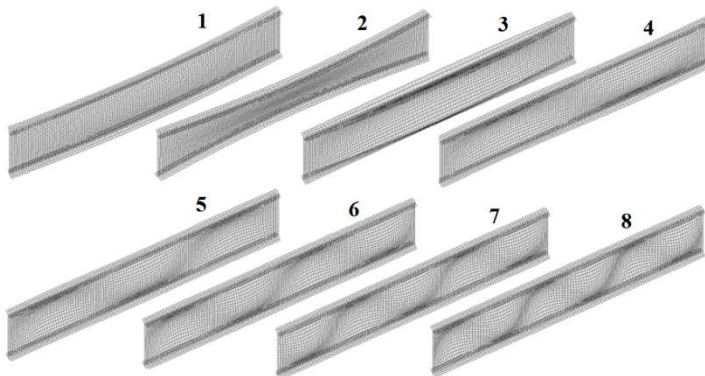


Рисунок 2. Собственные формы колебаний балки $b_f/t_f = 10$

Проанализируем колебания точек, расположенных по нейтральной оси балки, линия a . На амплитудно-частотных характеристиках можно выделить два резонансных диапазона частот. Первый резонансный диапазон колебаний устанавливается на частотах 8...9 Гц, что соответствует значениям низших собственной частоты определяемой на основании формул Власова ω_0 . Наибольшие амплитуды вынужденных колебаний стенки балки с жестким поясом, $b_f/t_f = 10$, в точках A1...A5, наблюдались при частоте 15,95 Гц, и соответствовала третьей форме собственных колебаний. Данная форма колебаний представляет собой безузловую изгибную форму в горизонтальной плоскости. Амплитуды вынужденных колебаний фиксировались в точках, расположенных по линиям b и c . Сопоставляя графики амплитудно-частотных характеристик для точек B и C, можно отметить, что максимальные амплитуды вынужденных колебаний устанавливаются на частоте 15,95 Гц. Однако, число резонансных диапазонов частот для точек, расположенных по линии b и c – четыре. Заметим, что амплитуды вынужденных колебаний на частотах близких к значению ω_0 , не превышают значений на $\omega = 15,95$ Гц для линии b , и $\omega = 15,95$ и 27,6 Гц для c . Колебания на частотах 26,7 Гц поддерживаются десятой формой собственных колебаний. Данная форма проявляется только в точках расположенных по краям полки и её влиянием можно пренебречь для стенки. На амплитудно-частотных характеристиках точек по линиям b и c также реализуются резонансные колебания на частоте 10 Гц, что соответствует второй форме собственных колебаний. Амплитуды колебаний в данном диапазоне соизмеримы с амплитудами колебаний на частоте ω_0 .

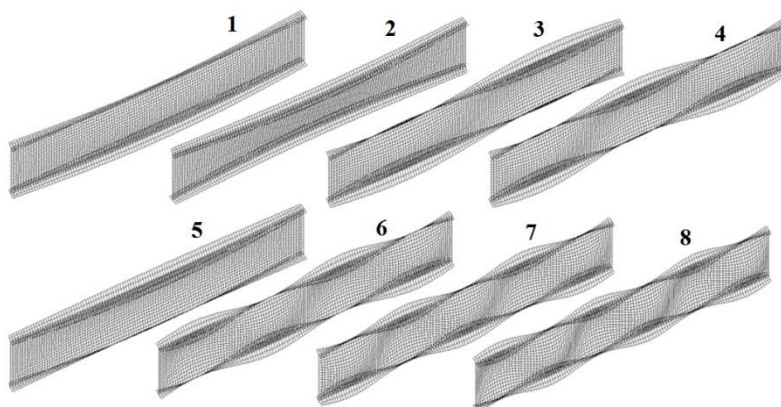


Рисунок 3. Собственные формы колебаний балки $b_f/t_f = 40$

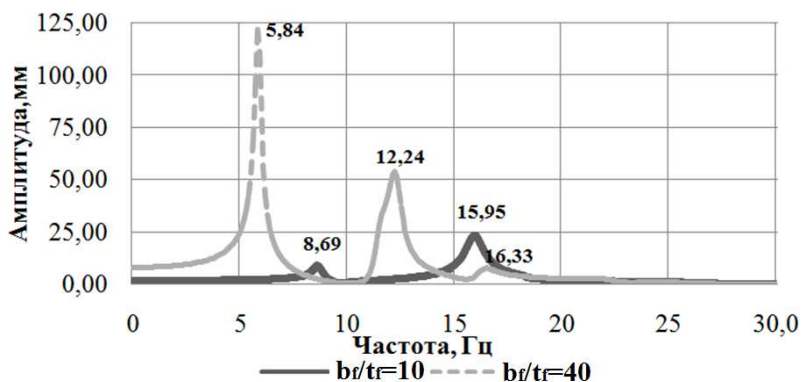


Рисунок 4. Амплитудно-частотные зависимости для точки А3

При уменьшении жесткости полки $b_f/t_f = 20 \dots 40$, значение собственной частоты ω_0 снижается, $\omega_0 = 7,1; 6,17; 5,84$ Гц. Однако, общие закономерности выявленные на амплитудно-частотных характеристиках балок с $b_f/t_f = 10$ качественно сохраняются. Следует отметить, что при снижении жесткости полки, пики резонансных колебаний смещаются в область низких частот спектра и их значения сближаются. Амплитуды вынужденных колебаний тонкостенных балок возрастают с уменьшением жесткости полки.

Выводы

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Первая и третья формы собственных колебаний тонкостенной балки открытого сечения оказывают существенное влияние на формирование резонансных режимов.

2. Вторая форма колебаний способствует установлению резонансных режимов колебаний точек полки.

3. С увеличением гибкости полки b_f/t_f значения резонансных частот смещаются в область низких частот. Значения частот первой, второй, третьей форм становятся близкими.

Список литературы:

1. Горев В.В. Металлические конструкции. Том 1 Элементы конструкций / В.В. Горев – М.: Высшая школа, 2002. - 552 с.
2. Фиалко, С., Реализация в программном комплексе SCAD блочного метода Ланцоша со сдвигами применительно к сейсмическому анализу сооружений [Текст]: Статья. / С. Фиалко – CADmaster, №5/2007 – с. 102-105
3. Клааф Р., Пензиен Дж Динамика сооружений: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с. – Первод изд.: Dynamics of Structures/Ray W. Clough, Joseph Penzien. – New York, 1975., с. 16-17
4. ДБН В.1.1-12-2014 Будівництво у сейсмічних районах України/ Київ: Мінрегіонбуд, 2014
5. ДБН В.2.6-163:2010 Сталеві конструкції/ Київ: Мінрегіонбуд, 2010
6. Челомей В.Н. Вибрации в технике. Том 1. Колебания линейных систем / В.Н Челомей – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.
7. Баженов В.А., Перельмутер А.В., Шишов О.В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології: Підручник / В.А. Баженов – К.: Каравела, 2009. – 696 с.
8. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем / А.П. Филиппов – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
9. Сорокин Е.С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е.С. Сорокин – М.: Госстройиздат, 1956. – 337 с.
10. Шмуклер В.С. Динамические испытания образца-представителя стележелезобетонного пролетного строения пешеходного моста / В.С. Шмуклер, С.Н. Краснов – Матеріали IV Міжнародної конференції «Будівництво, реконструкція та відновлення будівель міського господарства» - Х.: ХНУМГ, 2014 – с.131-138
11. Волкова В.Е., Смолий И.С. Динамические характеристики уклонных пролетных строений конвейерных галерей / Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2015, вип.153, 2015 – с. 157 – 162.