

УДК 624.014.2

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЧЕНИЯ СТЕНКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ БАЛОК ОТКРЫТОГО СЕЧЕНИЯ

Представлены результаты численного моделирования динамического поведения стальных балок открытого сечения. Рассмотрены варианты двух конструктивных решений балок. Исследованы динамические характеристики балок с постоянным и переменным по длине поперечным сечением. На основе полученных данных сделан вывод о возможности применения балок с переменным по длине поперечным сечением при действии динамической нагрузки.

The results of numerical simulation of the dynamic behavior of open section steel beams are presented in article. Two variants of constructive solutions of beams are investigated. The dynamic characteristics of the beams with constant or variable cross section along their length were investigated. Based on the findings, concluded that the possibility of using beams with a variable cross-section along its length under dynamic loading.

Ключевые слова: балки переменного сечения, собственные частоты колебаний, собственные формы колебаний, численное моделирование.

Актуальность исследования динамических характеристик балок открытого сечения обусловлена применением множества конструктивных решений разрезных балок пролетных строений конвейерных галерей, обладающих малой материалоемкостью. Одно из направлений улучшения весовых характеристик двутавровых балок – это уменьшение расхода материала на менее напряженных участках, где прочность стали используется не полностью [1, с. 7]. Изменение поперечного сечения балок по длине выполняется путем концентрации материала в наиболее напряженных участках.

Отметим, что помимо требований малой материалоемкости, к конструкциям пролетных строений конвейерных галерей предъявляются и эксплуатационные требования, в частности к динамическим характеристикам.

В настоящее время проектирование зданий и сооружений невозможно без учета динамических воздействий. Это объясняется увеличением динамических нагрузок от машин и оборудования, применением вибрации, ударов и производственных взрывов как элементов технологического процесса. Влияние этих факторов на конструкции сооружений имеет негативный характер и часто приводит к аварийным ситуациям [2].

В случае, если к колебаниям промышленного сооружения не предъявляются требования, определяемые санитарными нормами или технологическими условиями производственных процессов, то помимо ограничения колебаний по несущей способности должны предъявляться требования ограничения динамического прогиба. Это требование основывается на необходимости обеспечения достаточной жесткости сооружения в его совместной работе на статические и динамические нагрузки.

В таблице 1 приведены данные о предельно допустимых динамических прогибах строи-



В.Е. Волкова
профессор ГВУЗ «Национальный горный университет», д.т.н., г. Днепропетровск



И.С. Смолий
аспирант ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

тельных конструкций предельно допустимым динамическим прогибом [2, с. 19].

Целью настоящего исследования является оценка влияния конструктивного решения балки на её динамические характеристики.

Таблица 1
Амплитуды колебаний конструкций, соответствующие предельно допустимому динамическому прогибу

Частота, Гц	Амплитуда, мм	Частота, Гц	Амплитуда, мм
1	10	10	0,1
2	2,5	15	0,067
3	1,111	20	0,05
4	0,625	25	0,04
5	0,4	50	0,02
6	0,278	75	0,013
7	0,156	100	0,01

Балочные конструкции. В настоящее время применяется множество типов конструктивных решений сварных двутавровых балок. Распространение получили тонкостенные, гофрированные и перфорированные балки двутаврового сечения. Однако наиболее широко используются сплошнотенчатые балки.

Одним из показателей экономичности сечения балки является совпадение эпюр внутренних усилий балок и эпюр несущей способности. Однако применение балок, имеющих криволинейное очертание поясов или стенки, существенно повышает трудоемкость изготовления и не всегда удобно с конструктивной точки зрения. Поэтому на практике пролет балки разбивают на несколько участков, для каждого из которых принимают свои размеры поперечного сечения балки соответственно действующим усилиям.

В сварных конструкциях используют два варианта изменения сечений – путем изменения ширины пояса или размеров стенки. Нормы рекомендуют в балках пролетом до 30 м выполнять изменение сечения один раз на расстоянии 1/6 пролета от опоры, таким образом балка состоит из трех элементов. Средний участок рассчитывают на действие максимального момента в середине пролета, а два крайних – на момент в месте изменения сечения и поперечной силы на опоре [3, с. 252–253].

Численное моделирование. В работе рассмотрены два варианта конструктивного решения двутавровой металлической балки – с постоянным поперечным сечением по длине балки и с переменным сечением. Длина балок составляла 12 м, высота 2,1 м, толщина полок $t_f = 64$ мм. Балки укреплялись поперечными ребрами жесткости толщиной 17 мм с шагом 3 м.

Балки с поперечным сечением имели приведенную гибкость $\bar{\lambda}_{w1} = 3,2$, $\bar{\lambda}_{w2} = 2,5$, толщина стенок 21 и 27 мм соответственно. У балок с переменным сечением сброс сечения был принят на расстоянии 3,2 от края балки. Приведенная гибкость третьей балки в приопорных участках составляла $\bar{\lambda}_{w31} = 1,7$, в середине пролета – $\bar{\lambda}_{w32} = 2,5$. Приведенная гибкость четвертой балки в приопорных участках составляла $\bar{\lambda}_{w3o} = 2,5$, в середине пролета – $\bar{\lambda}_{w3c} = 3,2$.

Метод конечных элементов ориентирован на применение исключительно компьютерных технологий. Он объединяет особенности метода сосредоточенных масс и метода обобщенных координат. МКЭ позволяет построить удобную и обоснованную модель системы [4, с. 16–17]. При моделировании конструкция рассматривается как некоторая совокупность конструктивных элементов, соединенных между собой в узловых точках. При заданных соотношениях между силами и перемещениями для каждого отдельного элемента можно исследовать поведение конструкции в целом [5, с. 11].

Расчеты проводились методом конечных элементов в среде ПК SCAD. Для определения частот и форм собственных колебаний использовался блочный метод Ланцоша. Как показано в [6], применение метода Ланцоша в анализе динамических систем имеет ряд преимуществ, особенно для систем с густым спектром низших частот.

Моделирование выполнялось для разрезных шарнирно опертых балок. Результаты получены на основе использования программного комплекса SCAD, реализующего для динамического анализа метод Ланцоша [6, с. 102–105]. В исследовании применялась прямоугольная сетка конечных элементов. Использовались пластины размером 100×100 мм с толщинами 21–40 мм в стенке и 160×100 при толщине 64 мм в полке [5]. Нормами рекомендуется анализировать 3–5 низших форм колебаний. Во избежание накопления ошибок интегрирования, в моделировании задавалось 10 форм колебаний. Для дальнейших исследований использовались первые 5 форм.

Численный анализ проводился при расчете балок с заданными геометрическими характеристиками. Исследовались колебания шарнирно опертых балок. Размеры поперечного сечения балок приняты в соответствии с рекомендациями [7]. Данные были получены для сварной балки двутаврового сечения пролетом 12 м.

Таблица 2

Собственные частоты балки

Форма колебаний	Частота собственных колебаний			
	постоянное $\bar{\lambda}_w = 3,2$	переменное $\bar{\lambda}_{w1} = 2,5$ $\bar{\lambda}_{w2} = 3,2$	постоянное $\bar{\lambda}_w = 2,5$	переменное $\bar{\lambda}_{w1} = 1,7$ $\bar{\lambda}_{w2} = 2,5$
1	4,59	4,46	4,39	4,17
2	20,66	20,63	20,29	20,26
3	21,82	21,8	21,65	21,26
4	27,81	28,35	32,32	33,12
5	28,68	32,74	34,27	38,99

Практическая сходимость результатов исследований обеспечивается совпадением полученных значений при изменении размеров конечных элементов [8].

Численное моделирование выполнялось для двух вариантов конструктивного решения балок – с постоянным и переменным сечениями стенки по длине пролета. В приопорных участках толщина стенки балки принималась $t_{w1} = 27$; 40 мм, и в середине пролета $t_{w2} = 21$; 27 мм. Уменьшение толщины стенки балки позволяло

снизить вес всей конструкции на 4 % (500 кг стали). Анализируя частоты первых пяти форм колебаний балок, можно отметить, что уменьшение толщины стенки балки в средних по длине пролета сечениях не оказывает существенного влияния на значения первых трех нижних частот. Частоты второй и третьей форм колебаний близки для рассмотренных вариантов балок. В то же время, для четвертой и пятой форм колебаний снижение веса стенки приводит к увеличению частот колебаний. Так в четвертой форме различие частот между балками со сплошным и переменным сечением составляет 2 %, а в пятой форме уже 12 %.

Первой и второй формам соответствуют безузловые изгибные колебания как для балок постоянного сечения, так и балок с переменным сечением стенки. Отличительной особенностью 3–5 форм колебаний балок с переменным сечением стенки является увеличение амплитуд колебаний стенки в средних по длине участках стенки и уменьшение амплитуд колебаний стенки в приопорных участках. Таким образом, увеличение толщины стенки в приопорных участках способствует снижению уровня вибрационных воздействий, передаваемых с балки на опоры, т.е. улучшает эксплуатационные свойства балки.

Выводы. На основе полученных результатов исследования можно сделать вывод о том, что уменьшение толщины стенки сварной двутавровой металлической балки в средних по длине пролета участках не оказывает существенного влияния на характеристики первой и второй форм колебаний. В то же время, для третьей, четвертой и пятой форм колебаний наблюдается существенное уменьшение амплитуд колебаний в приопорных участках, что позитивно отражается на эксплуатационных характеристиках балки.

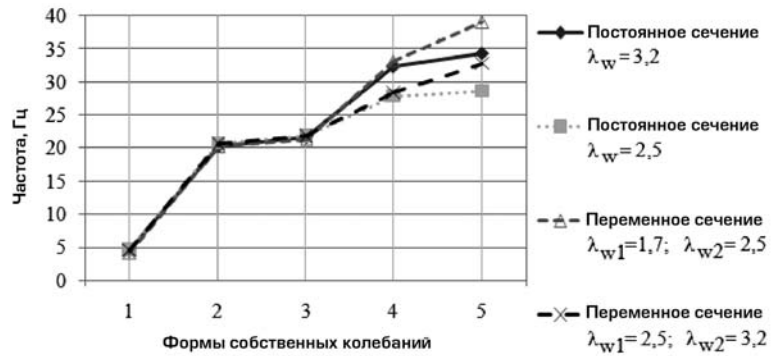


Рис. 1. Собственные частоты балки

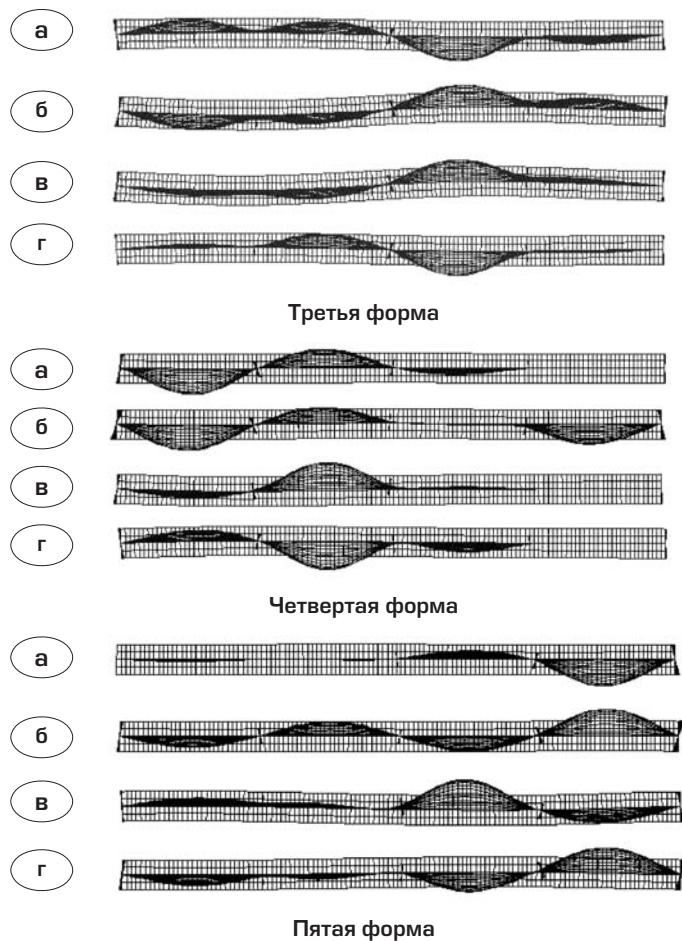


Рис. 2. Собственные формы колебаний балки:

а – постоянное сечение стенки балки $\bar{\lambda}_w = 3,2$; б – переменное сечение стенки балки $\bar{\lambda}_{w1} = 2,5; \bar{\lambda}_{w2} = 3,2$; в – постоянное сечение стенки балки $\bar{\lambda}_w = 2,5$; г – переменное сечение стенки балки $\bar{\lambda}_{w1} = 1,7; \bar{\lambda}_{w2} = 2,5$

- [1] Полторацнев А.С. Параметрическая оптимизация стальных тонкостенных балок двутаврового сечения // Инженерные сооружения на транспорте. – М.: МИИТ, 2012. – Вып. 4.
- [2] Корнев Б.Г., Барштейн М.Ф., Ильичев В.А. Динамический расчет зданий и сооружений 2-е изд. перераб. и доп. / Б.Г. Корнев – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
- [3] Горев В.В. Металлические конструкции. том 1 Элементы конструкций / В.В. Горев – М.: Высшая школа, 2002. – 552 с.
- [4] 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.
- [5] Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст]: Монография / О.К. Зенкевич – Москва: Мир, 1975 – 543 с.
- [6] Фиалко С. Реализация в программном комплексе SCAD блочного метода Ланцоша со сдвигами применительно к сейсмическому анализу сооружений [Текст]: Статья. / С. Фиалко – CADmaster, № 5/2007.
- [7] Пособие по проектированию конвейерных галерей (к СНиП 2.09.03-85) / ГПИ Ленпроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 111 с.
- [8] Карпиловский В.С., Криксунов Э.З. Structure CAD для пользователя / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов – Киев, 2003. – 328 с.

Надійшла 04.08.2015 р.