

УДК 624.014.2

Волкова В.Е., д.т.н., проф., Смолий И.С., аспирант.  
*Государственное ВУЗ "Национальный горный университет",  
г. Днепрпетровск, Украина*

## **ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ОСИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ БАЛОК ОТКРЫТОГО СЕЧЕНИЯ**

Широкое распространение в комплексе сооружений промышленных предприятий получили конвейерные галереи. Конвейерные галереи предназначены для размещения технических коммуникаций и конвейеров, с помощью которых производится перемещение сыпучих материалов. Галереи представляют собой как горизонтальные, так и наклонные сооружения с продольным углом наклона, не превышающим  $24^\circ$ . В зависимости от условий эксплуатации и требуемого температурного режима галереи проектируют отапливаемыми и не отапливаемыми. Последние, могут быть открытыми, частично или полностью закрытыми. [6]

Конвейерные галереи являются частью транспортной системы на горнодобывающих предприятиях и относятся к объектам высокой ответственности. [1] Основными несущими конструкциями галерей являются пролетные строения и опоры. Внутри пролетных строений размещаются ленточные конвейеры для транспортировки сыпучих материалов. При необходимости в пролетных строениях могут быть размещены также технологические коммуникации различного назначения. В пролетных строениях галерей расположена, как правило, только средняя часть ленточного конвейера, а «головная» и «хвостовая» части конвейера – вне пролетных строений. [2] Технологические нагрузки, действующие на строительные конструкции конвейерных галерей, имеют динамический характер, обусловленный вынужденными колебаниями конвейерной ленты с сыпучим материалом при различных фазах работы. [3].

Систематические экспериментальные и расчетно-теоретические исследования работы ленточных конвейеров и поддерживающих их строительных конструкций, начатые лабораторией защиты от вибраций Уральского промстрой-ниипроекта в 1965 г. по заданию Главпромстройпроекта. [5]

Ранее при расчете конвейерных галерей широко использовался метод, основанный на гипотезе плоских сечений. Однако, такое представление является приближенным по отношению к динамическому поведению балок пролетных строений. Также широко используются модели Тимошенко и Власова [4]

Объектом исследования являются пролетные строения конвейерных галерей шахтных комплексов. А именно – собственные колебания сварных симметричных балок конвейерных галерей.

Расчеты проводились методом конечных элементов в среде ПК SCAD. Для определения частот и форм собственных колебаний использовался блочный метод Ланцоша. В модели использовались конечные элементы типа «прямоугольная четырехузловая пластина» (КЭ 13) – изгибаемые пластины, лежащие в плоскости XOY. Показатель степени в оценках скорости сходимости для КЭ 13: по перемещениям – 2, по моментам – 2, по поперечным силам – 1. В узлах этих конечных элементов определено по три степени свободы:  $w$  – вертикальное перемещение (прогиб), а также  $UX$ ,  $UY$  – углы поворота относительно осей  $X$  и  $Y$ .

Расчетные модели строились при помощи инструмента «дробление четырехузловых пластин» и генератора треугольных\четыреугольных сеток конечных элементов на плоскости. Число конечных элементов выбиралось путем сгущения сетки до получения стабильных результатов расчета.

Численный анализ проводился при расчете балок заданной геометрии в диапазоне угла наклона балки относительно горизонта  $0^\circ$ - $15^\circ$ , наличия или отсутствия поперечных ребер жесткости, изменения шага поперечных ребер жесткости в диапазоне 2-3 м, изменении значения коэффициента гибкости стенки балки ( $\lambda_w$ ) при сохранении момента инерции сечения балки  $I_x$ .

Условия закрепления балки соответствовали шарниру. Собственный вес конструкции учитывался.

Моделирование выполнено в ПК «SCAD».

Размеры поперечных сечений балок приняты по рекомендациям Пособия по проектированию конвейерных галерей к СНиП 2.09.03-85.

Рассмотрены варианты конструктивного решения балок: без поперечных ребер жесткости с углами уклона, а также с поперечными ребрами жесткости. Шаг поперечных ребер жесткости был принят 2 и 3 м. Рассмотрены углы уклона балок:  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $24^\circ$ .

Данные были получены для продольной сварной балки двутаврового сечения длиной 12 м. Пример поперечного сечения см. рис. 1. Модель разбивалась на конечные элементы типа «пластина». Размеры квадратных конечных элементов  $100 \times 100$  мм. Стенка балки и поперечные ребра генерировались сеткой произвольной формы на плоскости. Далее задавался контур и генерировалась сетка прямоугольных конечных элементов на плоскости. Были приняты следующие граничные условия: закрепление концов балки – с одной стороны разрешены перемещения по оси  $X$  и  $Z$ .

Приложенные нагрузки: собственный вес; динамическая нагрузка – модальный анализ. Далее производился расчет и анализ результатов.

В динамическом анализе применяются рекомендации европейских норм. Таким образом, исследуются первые или низшие 3-5 форм колебаний.

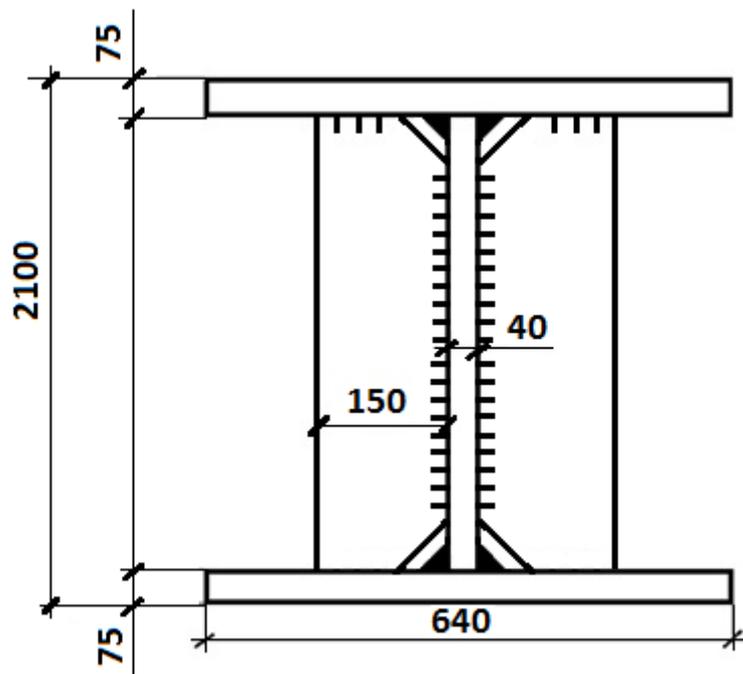


Рис. 1 Поперечное сечение балки

Для рассмотренных вариантов первая и вторая формы соответствуют изгибу в горизонтальной плоскости; форма 3 описывала кручение балки. А высшие 4-я и 5-я формы варьировали в зависимости от шага поперечных ребер жесткости. Колебания первой формы имеют низшую частоту, по мере возрастания номера формы, частота собственных колебаний увеличивается.

При увеличении угла наклона оси, собственные частоты формы 1 плавно увеличиваются, формы 2 – уменьшаются, формы 3, 4 и 5 изменяются нелинейно.

При добавлении поперечных ребер жесткости, частоты 1-й собственной формы уменьшаются, а частоты форм 2-5 увеличиваются.

Исходя из результатов исследования можно сделать вывод о том, что изменение угла наклона оси стальных сварных балок открытого сечения не оказывает существенного влияния на первые три формы собственных колебаний. Однако в формах 4 и 5 возникают существенные изменения, чему способствует возникновение дополнительной скатной составляющей нагрузки при повышении угла наклона балки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кущенко, В. Н., Губарев, М. В. Анализ причин аварий строительных конструкций конвейерных галерей в условиях длительной эксплуатации [Текст]: Статья. / В. Н. Кущенко, М. В. Губарев – Металлические конструкции №3/том 18/2012. – с. 209–218.

2. СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий / Государственный комитет СССР по делам строительства.

3. Кущенко, В. Н., Губарев, М. В. Анализ влияния динамического характера технологической нагрузки на напряженно-деформированное состояние пролетного строения решетчатой конвейерной галереи [Текст]: Статья. / В. Н. Кущенко, М. В. Губарев – Металлические конструкции, №4/том 19/2013, с. 225–234

4. Soltani, M., Asgarian, B., Mohri F. “Finite element method for stability and free vibration analyses of non-prismatic thin-walled beams” [Текст]: Статья. / M. Soltani, B. Asgarian, F. Mohri – Thin Walled Structures №82/2014 – с. 245-261

5. Ним, А.Д., Динамические воздействия ленточных конвейеров на несущие строительные конструкции [Текст]: Автореферат диссертации. / А.Д. Ним – Екатеринбург: 2002

6. Горев В.В. Металлические конструкции. том 3 Специальные конструкции и сооружения / В.В. Горев – М.: Высшая школа, 2002. - 543 с.