

# СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТАЛЬНЫХ СВАРНЫХ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ КОНВЕЙЕРНЫХ ГАЛЕРЕЙ

## OWN OSCILLATIONS OF WELDED STEEL BEAMS OF SPANS OF CONVEYOR GALLERIES

*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)*

**Ключевые слова:** динамика, металлические конструкции, балки, конвейерные галереи.

### Аннотация

В статье представлены результаты численного моделирования динамического поведения сварных металлических балок конвейерных галерей. Рассматривались балки симметричного поперечного сечения, имеющие различную приведенную гибкость стенки. Исследованы закономерности смены форм колебаний в зависимости от геометрических характеристик балок.

### Введение

Ленточные конвейеры широко применяются на обогатительных фабриках металлургии для транспортирования материалов в бункеры эстакад доменных печей, на предприятиях строительной индустрии и других отраслей народного хозяйства [1].

Повышенная повреждаемость галерей обусловлена совместным воздействием неблагоприятных факторов, включая динамические нагрузки [2]. Они обладают высокой надежностью и низкой эксплуатационной стоимостью по отношению к фермам.

В качестве несущих конструкций пролетных строений применяют составные и тонкостенные балки, фермы с параллельными поясами, прямоугольные и круглые цилиндрические оболочки, а также другие виды конструкций. С точки зрения экономичности эксплуатации для пролетных строений длиной до 30 м, рационально применение балочных несущих конструкций [2]. Они обладают высокой надежностью и низкой эксплуатационной стоимостью по отношению к фермам. По технологическим требованиям пролетные строения конвейерных галерей могут выполняться прямолинейными

либо наклонными (10-15°) [6]. Технологические нагрузки, действующие на строительные конструкции конвейерных галерей, имеют динамический характер. Ввиду этого исследование динамических характеристик пролетных строений конвейерных галерей является весьма актуальным.

## 1. Объект исследования

Объектом исследования являются конструкции пролетных строений конвейерных галерей. Существующие строительные нормы содержат рекомендации к выбору геометрических и жесткостных характеристик пролетных строений, с целью обеспечения прочности, жесткости и устойчивости на стадиях изготовления, транспортирования и монтажа. В реальных конструкциях возможны начальные несовершенства элементов, а именно погнутости, изгиб под поперечной нагрузкой, а также и другие недостатки. Предельное соотношение  $b_f/t_f$ , рекомендованное нормами, несколько ниже, чем получаемое на основе идеализированной расчетной схемы. [3]

Граничные условные гибкости поясов балок согласно ДБН В.2.6-163:2010 назначаются  $\bar{\lambda}_{yf} = 0,36 + 0,1\bar{\lambda}$  и для стенки  $\bar{\lambda}_{yw} = 1,30 + 0,15\bar{\lambda}^2$ . Здесь  $\bar{\lambda}$  - условная гибкость стержневого элемента, которая определяется с учетом общей устойчивости системы под действием центральной силы сжатия [4].

Ранее при расчете конвейерных галерей широко использовался метод, основанный на гипотезе плоских сечений [10]. Однако, такое представление является приближенным по отношению к динамическому поведению балок пролетных строений. Также широко используются модели Тимошенко и Власова [7].

## 2. Метод исследования

Моделирование выполнялось для разрезных шарнирно опертых балок. Результаты получены на основе использования программного комплекса SCAD, реализующего для динамического анализа метод Ланцоша [8]. Прямоугольная сетка конечных элементов применялась в исследовании. Использовались конечные элементы – пластины размером 100x100 мм с толщинами 5-64 мм [11]. 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. Выполнено сопоставление полученных результатов с известными приближенными решениями [9].

Расчеты выполнены методом конечных элементов в среде ПК SCAD. Численный анализ проводился при расчете балок с заданными геометрическими характеристиками. Приведенная гибкость стенки балок изменялась в диапазоне  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=2,5\div 13$ , а гибкости поясов изменялись в установленном диапазоне  $b_f/t_f = 10\div 40$ .

Граничные условия соответствовали шарнирному закреплению. Размеры поперечных сечений балок приняты в соответствии с рекомендациями «Пособия по проектированию конвейерных галерей к СНиП 2.09.03-85». Данные были получены для сварной балки двутаврового сечения пролетом 12 м.

В качестве контрольных, были выбраны точки расположенные на равных расстояниях по верхнему и нижнему поясам балки, а также на стенке. Практическая сходимость результатов исследований обеспечивается совпадением полученных значений при изменении сетки конечных элементов [5].

### 3. Анализ полученных результатов

По результатам расчета выявлены следующие закономерности изменения форм колебаний для различных значений приведенной гибкости стенки и гибкости пояса балки.

В качестве контрольных, были выбраны точки расположенные на равных расстояниях по верхнему и нижнему поясам балки, а также стенке.

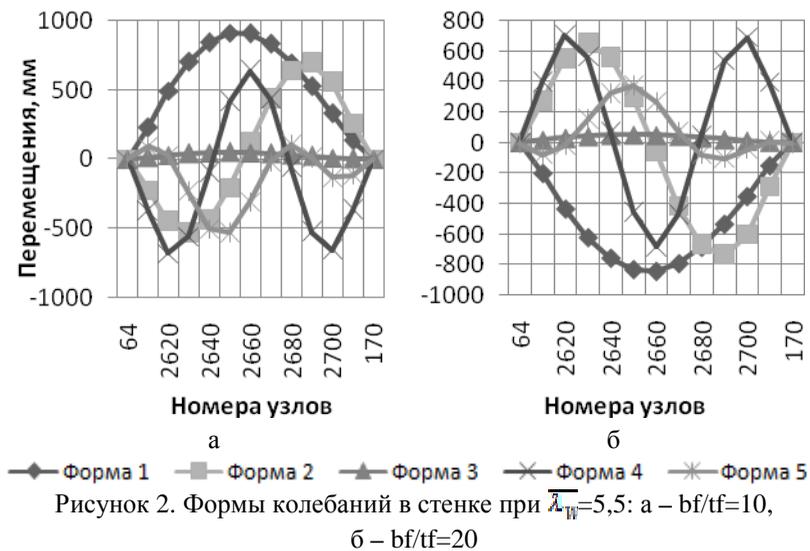
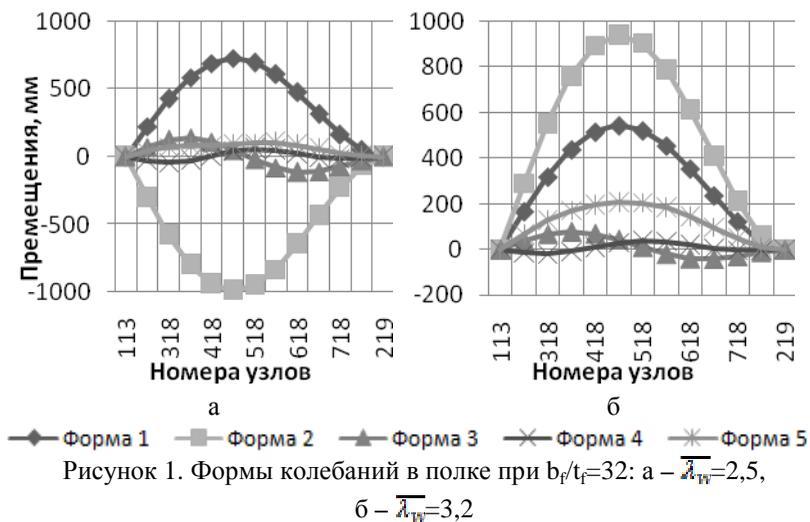
В исследуемом диапазоне гибкости стенки  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=2,5\div 5,5$  и гибкости полок  $b_f/t_f = 10\div 40$ , балки с гибкостью  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=2,5$  и 3,2 относятся к балкам с жесткой стенкой, а балки с гибкостью  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=5,5$  к балкам с гибкой стенкой.

Первой форме колебаний полок соответствовали исключительно безузловые формы. Фаза колебаний была постоянной. Для гибкости стенки  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=5,5$  получена одна смена фазы колебаний при переходе значений  $b_f/t_f$  от 10 к 20. Влияние гибкости поясов и стенки балки на вторую форму колебаний имеет следующий характер. Балкам соответствовала безузловая форма. Смена фаз колебаний наблюдалась для  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=2,5$  при переходе значений  $b_f/t_f$  от 20 к 32 и от 32 к 40. Выявлены смены фазы колебаний при переходе значений  $b_f/t_f$  от 10 к 20 для  $\overline{\lambda}_{\text{н}}=5,5$ . При переходе значений  $b_f/t_f$  от 20 к 32 наблюдается переход от безузловой формы колебаний к одноузловой. Для третьей формы переход от безузловой формы колебаний к одноузловой происходит при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20. При переходе значения

отношения  $b_f/t_f$  от 20 к 32 для  $\overline{A_{11}}=5,5$  происходит замена безузловой формы колебаний двухузловой. В четвертой форме колебаний, значения приведенной гибкости стенки  $\overline{A_{11}}=2,5$  наблюдался переход от безузловой формы колебаний к одноузловой при переходе значения  $b_f/t_f$  от 10 к 20 и от одноузловой к двухузловой при  $b_f/t_f$  от 20 к 32. В то же время, наблюдался переход от безузловой к двухузловой форме при переходе значения отношения  $b_f/t_f$  от 20 к 32 для  $\overline{A_{11}}=3,2$ . Для значения  $\overline{A_{11}}=5,5$  характерны только безузловые формы колебаний. Смещения фазы наблюдаются при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20 и от 20 к 32. Для пятой формы колебаний характерны приведенные ниже изменения. При  $\overline{A_{11}}=2,5$  для значения  $b_f/t_f=10$  характерна двухузловая форма колебаний, в то время как для  $b_f/t_f=20$  и 32 она безузловая. Для  $\overline{A_{11}}=3,2$  и 5,5 выявлены только безузловые формы колебаний, при этом смещения фазы происходили на всем промежутке изменения  $b_f/t_f = 10\div 40$  при  $\overline{A_{11}}=5,5$ .

Для стенки балки выявлены следующие закономерности. Первой форме соответствовали безузловые формы колебаний. Смещения фазы происходят при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20 для  $\overline{A_{11}}=5,5$ . В то же время для второй формы колебаний наблюдаются безузловые формы колебаний. Для  $\overline{A_{11}}=5,5$  характерны одноузловые формы, смещение фазы выявлено при переходе значения  $b_f/t_f$  от 10 к 20. Для третьей формы колебаний наблюдались одноузловые формы колебаний. Смещений фазы выявлены для  $\overline{A_{11}}=2,5$  при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20, для  $\overline{A_{11}}=3,2$  и 6 при переходе  $b_f/t_f$  от 20 к 32. Переход от безузловой формы к двухузловой происходил при изменении  $b_f/t_f$  от 20 к 32 для  $\overline{A_{11}}=5,5$ . В четвертой форме наблюдался переход от одноузловой к двухузловой форме колебаний при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20. Для этих же значений  $\overline{A_{11}}$  выявлено смещение фазы при переходе  $b_f/t_f$  от 32 к 40. При  $\overline{A_{11}}=5,5$  двухузловые формы переходят в безузловые при изменении  $b_f/t_f$  от 20 к 32, поворот фазы выявлен при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20. Наиболее сложное влияние оказывает изменение параметров  $\overline{A_{11}}$  и  $b_f/t_f$  на пятую форму колебаний стенки балки. Для  $\overline{A_{11}}=2,5$  при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20 происходит замена двухузловой формы одноузловой, от 20 к 32 одноузловой двухузловой, от 32 к 40 смещение фазы колебаний. В то же время для  $\overline{A_{11}}=3,2$  двухузловая форма заменяется трехузловой при переходе  $b_f/t_f$  от 20 к 32, смещения фазы наблюдаются при переходе  $b_f/t_f$  от 10 к 20 и от 32 к

40. При  $\bar{\lambda}_{\text{н}}=5,5$  выявлены трехузловые формы со смещением фазы на всем промежутке  $b_f/t_f=10\div 40$ .



## Выводы

Результаты анализа различных вынужденных колебательных режимов дают возможность выявить внутренние динамические характеристики. На основе этих характеристик можно прогнозировать реакцию конструкции на различные внешние влияния. При увеличении гибкости пояса, амплитуды двух низших форм колебаний полки балки увеличиваются. Собственные частоты балок с гибкой стенкой уменьшаются при увеличении гибкости пояса. Возникновение двух- и трехузловых форм колебаний наблюдалось при увеличении гибкости полки балки. С увеличением гибкости стенки и поясов, появляются дополнительные узлы на форах колебаний.

### *Список литературы:*

1. Гордеев В.Н., Лантух-Ляшенко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007 – 482 с.
2. Горев В.В. Металлические конструкции. том 3 Специальные конструкции и сооружения / В.В. Горев – М.: Высшая школа, 2002. - 543 с.
3. Горев В.В. Металлические конструкции. том 1 Элементы конструкций / В.В. Горев – М.: Высшая школа, 2002. - 552 с.
4. ДБН В.2.6-163:2010 Сталеві конструкції/ Київ: Мінрегіонбуд, 2010
5. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З. Structure CAD для пользователя/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов – Киев, 2003. – 328с.
6. СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий / Государственный комитет СССР по делам строительства
7. Soltani, M., Asgarian, B., Mohri F. “Finite element method for stability and free vibration analyses of non-prismatic thin-walled beams” [Text]: Article. / M. Soltani, B. Asgarian, F. Mohri – Thin Walled Structures №82/2014 – p. 245-261
8. 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
9. Перельмутер А.В. Беседы о строительной механике [Текст]: Научное издание / А.В. Перельмутер, - М.: SCAD Soft, 2014 - с.214
10. Перельмутер, А.В., Сливкер. В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст]: Научное издание / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер – Киев, Сталь, 2002. – с.465
11. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст]: Монография / О.К. Зенкевич – Москва: Мир, 1975 – 543 с.