

УДК 624.074

**В.И. Коробко, А.В. Турков**

Орловский государственный технический университет

Коробко Виктор Иванович родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Хабаровский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и материалов Орловского государственного технического университета. Имеет около 300 печатных работ в области строительной механики и строительных конструкций.



Тел.: (4862) 73-15-10

Турков Андрей Викторович родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Таджикский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и материалов Орловского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области строительных конструкций.

E-mail: antur@orel.ru



## **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЫКА СОСТАВНОЙ БАЛКИ**

Построены графики изменения прогибов и собственных частот однопролетных двухшарнирных балок с укрупнительным упругоподатливым стыком в середине пролета; по экспериментальным значениям прогибов и частот колебаний определена фактическая изгибная жесткость стыка.

*Ключевые слова:* составная балка, укрупнительный стык, податливость соединений, прогиб, частота колебаний, изгибная жесткость.

При укрупнительной сборке составных деревянных балок стремятся, чтобы изгибная жесткость укрупнительного (монтажного) стыка была не ниже изгибной жесткости основного сечения. Поскольку стыковое соединение обладает существенной податливостью при нагружении, то снижается основная (или первая резонансная) частота собственных колебаний балки  $\omega$  в ненагруженном состоянии и увеличивается максимальный прогиб  $W_0$  под действием заданной равномерно распределенной нагрузки  $q$ . Таким образом, податливостью жестких узлов пренебрегать нельзя.

Целью настоящего исследования является экспериментально-теоретическое определение изгибной жесткости стыкового соединения.

Величину максимального прогиба от действия некоторой равномерно распределенной нагрузки находят экспериментально, а по ней, зная изгибную жесткость основного сечения балки и ее граничные условия, с помощью метода конечных элементов определяют изгибную жесткость укрупнительного стыка, используя способ последовательных итераций. Длину конечного элемента следует принимать равной или кратной длине укрупнительного стыка балки.

Кроме того, изгибную жесткость укрупнительного стыка можно определить по экспериментально найденной основной (или первой резонансной) частоте колебаний.

Предлагаемый способ обладает рядом недостатков: он является достаточно трудоемким; требует знания величины изгибной жесткости основного сечения балки и ее действительных граничных условий. Два последних недостатка весьма существенны, поскольку для конструкций, стоящих непосредственно в сооружении, в некоторых случаях указать действительные граничные условия и изгибную жесткость основного сечения балки невозможно.

Максимальный прогиб и основная частота колебаний составных балок функционально зависят от изгибной жесткости стыка  $(EI)_c$  или от отношения изгибных жесткостей стыка и основного сечения балки  $(EI)_c/(EI)_б$ .  
**Результаты теоретического расчета деревянных балок с переменной изгибной жесткостью вертикального укрупнительного стыка в середине пролета**

| Жесткость стыка $(EI)_c$ , кН·м <sup>2</sup> | Отношение $k=(EI)_c/(EI)_б$ | Основная частота колебаний $\omega_0$ , с <sup>-1</sup> | Максимальный прогиб $W_0$ , мм | $k$ по формуле (1) | Разница, % | $k$ по формуле (2) | Разница, % |
|--|-----------------------------|---|--------------------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| 140  | 1,000                       | 241,7   | 0,544                          | 0,999              | 0,10       | 1,00               | 0,00       |
| 100  | 0,714                       | 239,8   | 0,554                          | 0,716              | 0,28       | 0,717              | 0,42       |
| 80   | 0,571                       | 238,1   | 0,563                          | 0,571              | 0,00       | 0,569              | 0,35       |
| 60   | 0,429                       | 235,5   | 0,578                          | 0,426              | 0,70       | 0,429              | 0,00       |
| 40   | 0,286                       | 230,5   | 0,607                          | 0,286              | 0,00       | 0,287              | 0,35       |
| 20   | 0,143                       | 217,3   | 0,695                          | 0,143              | 0,00       | 0,144              | 0,49       |
| 10   | 0,071                       | 196,4   | 0,871                          | 0,072              | 1,41       | 0,72               | 1,41       |
| 8  | 0,057                       | 187,9   | 0,958                          | 0,058              | 1,75       | 0,057              | 1,75       |
| 6  | 0,043                       | 176,0   | 1,105                          | 0,043              | 0,00       | 0,043              | 0,00       |
| 4  | 0,029                       | 157,6   | 1,398                          | 0,029              | 0,00       | 0,029              | 0,00       |
| 2  | 0,014                       | 124,8   | 2,277                          | 0,014              | 0,00       | 0,014              | 0,00       |
| 1  | 0,007                       | 94,5  | 4,035                          | 0,007              | 0,00       | 0,007              | 0,00       |

Поэтому, построив на основании испытаний эталонных балок аналитические зависимости «максимальный прогиб – отношение  $(EI)_c/(EI)_б$ », можно по величине максимального прогиба конкретной балки с неопределенными граничными условиями, стоящей в сооружении, найти изгибную жесткость укрупнительного стыка.

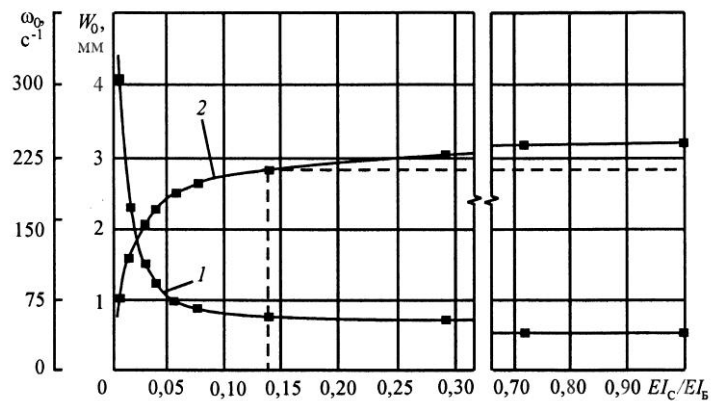
Аналогично это можно осуществить и по основной частоте колебаний, если построить на основании испытаний эталонных балок аналитическую зависимость «основная частота колебаний –  $(EI)_c/(EI)_б$ ».

Поэтому для реализации предлагаемого способа определения изгибной жесткости укрупнительного стыка составных балок необходимо экспериментально построить зависимости  $W_0 - (EI)_c/(EI)_б$  и  $\omega_0 - (EI)_c/(EI)_б$  в широком диапазоне изменения отношения изгибных жесткостей стыка и основного сечения балки\*.

\* Пат. 2306547 РФ. Способ определения изгибной жесткости укрупнительного стыка однопролетных составных балок постоянного сечения (варианты)

Используя данные исследований балки, приведенные в таблице, построим графики изменения максимального прогиба балки и основной частоты колебаний в зависимости от отношения изгибных жесткостей стыка и сечения балки (см. рисунок).

По этим же данным строим аппроксимирующие зависимости



$$k = \frac{(EI)_c}{(EI)_б} = \frac{1}{39,537W_0 - 20,506}; \quad (1)$$

Зависимости  $W_0$  (1) и  $\omega_0$  (2) от отношения  $(EI)_c/(EI)_б$  для составной балки с вертикальным стыком

$$k = \frac{(EI)_c}{(EI)_б} = \frac{-0,003 + 7,242 \cdot 10^{-5} \omega_0}{1 - 0,00524\omega_0 + 4,81 \cdot 10^{-6} \omega_0^2}, \quad (2)$$

с помощью которых можно по максимальному прогибу или основной частоте

---

[Текст] / В.И. Коробко, А.В. Турков, П.А. Гвозков, О.В. Бояркина; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет». – Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений РФ 20.09.2007.

те колебаний определять изгибную жесткость укрупнительного стыка. Формулы (1) и (2) являются эмпирическими (в них прогибы  $W_0$  подставляются в миллиметрах, а частота  $\omega$  – в секундах в минус первой).

Как видно из данных таблицы, полученные по формулам (1) и (2) значения коэффициента  $k$  с хорошей точностью описывают его действительные значения (см. шестую и восьмую колонки таблицы).

Для экспериментальной проверки предлагаемого способа была изготовлена балка сечением  $b \times h = 50 \times 150$  мм, длина пролета 2,9 м. Для создания жесткого укрупнительного стыка использовали четыре стальные полосы сечением  $20 \times 1$  мм, крепление которых осуществлялось четырьмя стальными нагелями диаметром 4 мм с каждой стороны стыка. Для изготовленной таким образом деревянной балки с укрупнительным стыком были определены резонансная частота колебаний конструкции в ненагруженном состоянии ( $\omega_0 = 218,6 \text{ с}^{-1}$ ) и максимальный прогиб от нагрузки  $q = 82,8 \text{ Н/м}$  ( $W_0 = 0,0068 \text{ м}$ ).

Подставляя  $W_0$  в формулу (1), получаем

$$k = \left( \frac{1}{39,537W_0 - 20,506} \right) = \frac{1}{39,537 \cdot 0,68 - 20,506} = 0,157.$$

Этому значению коэффициента  $k$  соответствует изгибная жесткость укрупнительного стыка  $(EI)_c = 0,157 \cdot 140 = 21,95 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$ .

Подставляя  $\omega_0$  в формулу (2), получаем

$$k = \frac{-0,003 + 7,242 \cdot 10^{-5} \omega_0}{1 - 0,00524 \omega_0 + 4,81 \cdot 10^{-6} \omega_0^2} =$$

$$= \frac{-0,003 + 7,242 \cdot 10^{-5} \cdot 218,6}{1 - 0,00524 \cdot 218,6 + 4,81 \cdot 10^{-6} \cdot 218,6^2} = 0,152.$$

Этому значению коэффициента  $k$  соответствует изгибная жесткость укрупнительного стыка  $(EI)_c = 0,152 \cdot 140 = 21,28 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$ .

Таким образом, изгибные жесткости укрупнительного стыка, полученные двумя предложенными способами, незначительно отличаются друг от друга.

Если балка изготовлена с несколькими вертикальными укрупнительными стыками по одному и тому же проекту, то изгибную жесткость каждого стыка можно брать по результатам экспериментального исследования балки с одним стыком.

Изложенная методика определения жесткости вертикального стыка составной балки применима и для определения жесткости горизонтальных связей в многослойных балках, если их слои изготовлены из одного и того же материала, например древесины. При этом сначала следует рассмотреть двухслойную балку с одинаковыми толщинами обоих слоев и, варьируя жесткостью связей составной балки от нуля до жесткости, соответствующей балке с монолитным сечением, необходимо записать функциональные зави-

симости от основной частоты колебаний или от величины максимального прогиба балки. Затем экспериментально следует определить жесткость связей, соответствующую принятой конструкции сплавляемых слоев. При переходе к многослойной балке используют жесткость связей каждого слоя, как для двухслойной балки.

Поступила 18.03.08

*V.I. Korobko, A.V. Turkov*  
Orlov State Technical University

### **Method for Determining Vertical Joint Stiffness of Composite Beam**

The diagrams are built for bending change and own frequencies of single-span two-hinged beams with enlarged resilient flexing joint in the middle of span. The actual bending stiffness of joint is determined based on the experimental values of bending and frequencies of oscillations.

Keywords: composite beam, enlarged joint, joints' compliance, bending, frequency of oscillations, bending stiffness.

---

---