

Пухов Е.Н.; Бирюков А.И.; Киселёв В.Н., канд. техн. наук, доц.  
(ПГУ, г. Новополоцк)

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАКЛОННЫХ РЕБЕР НА ЖЕСТКОСТЬ ДВУТАВРОВЫХ СВАРНЫХ БАЛОК

Теория расчета тонкостенных пространственных стержней (к ним относятся и двутавровые составные балки) непрерывно совершенствуется на базе достижений в области теоретических и экспериментальных исследований. Однако вышеназванное не относится к плоскому изгибу тонкостенных стержней открытого профиля с «противокрутильными связями».

В литературе, преимущественно отечественной, опубликовано всего несколько работ теоретического и экспериментального характера, в которых авторы рассматривают вопрос о работе стальных неразрезных балок на плоский изгиб со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости.

Известно, что предельное состояние балок двутаврового сечения определяется напряженным состоянием стенки, которое для балок с относительно тонкой стенкой ( $h_0/\delta_{ст} = 80 - 140$ ) в значительной степени зависит от величины касательных напряжений  $\tau$ . В связи с этим возникла необходимость в местах появления наибольших поперечных сил (на средней опоре двухпролетной неразрезной балки) принимать меры по укреплению стенки. Задача по укреплению стенки с целью снижения касательных напряжений и обеспечению местной устойчивости может быть решена несколькими способами: более частая постановка поперечных ребер жесткости (при этом  $\tau$  не снижается); местное увеличение толщины стенки в приопорных участках, в которых поперечная сила достигает наибольшей величины; постановка наклонных ребер жесткости в приопорных участках с наибольшим значением поперечной силы в пределах отсека стенки, ограниченного поперечными ребрами жесткости. С этой позиции и рассматривался расчет балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости. Авторы исследуют два типа наклонных ребер: связанных с поясами и не приваренных к стенке (тип «А»); связанных с поясами и приваренных к стенке (тип «Б»).

Предлагаемая методика расчета балок с наклонными ребрами зависит от типа ребер. При использовании ребер типа «А» наклонные ребра предлагается рассматривать в виде раскоса (дополнительной связи) с площадью  $F_p = 2b_{pl}\delta_{pl}$ . Характер распределения касательных напряжений при этом по высоте стенки предполагался таким же, как и в стенке, не подкрепленной

ребрами, а их величина определялась в зависимости от параметров балки, наклонных ребер и вида загрузки. Усилия в ребрах определялись из условия равенства деформаций самих ребер и стенки по направлению диагонали с наклонными ребрами. При использовании ребер типа «Б» предполагалось, что в совместную работу с наклонными ребрами включится часть стенки, образуя с ребрами крестовое сечение. Поперечная сила  $Q_x$ , действующая в любом сечении балки в пределах отсека с наклонными ребрами определяется с использованием точных методов строительной механики (метод сил).

В работах В.З. Власова проводились экспериментальные исследования вышеуказанных балок с целью выяснения характера действительной работы стенки, подкрепленной наклонными ребрами жесткости.

По результатам экспериментальных исследований однопролетных балок со стенками, подкрепленными ребрами, было установлено, что наклонные ребра значительно снижают величину поперечной силы, воспринимаемую стенкой. Эффективность ребер зависит от их типа и отношений:  $F_{cm} / 2b_{pr}\delta_{pr}$ ,  $F_{cm} / F$ ,  $h_0/\delta_{cm}$ .

Постановка наклонных ребер, не приваренных к стенке, в балках с  $h_0/\delta_{cm} = 40$  снижала поперечную силу в стенке на 40 – 50 %, в балках с  $h_0/\delta_{cm} = 100$  – на 70 – 75 %. Использование ребер, приваренных к стенке, снижало соответствующую поперечную силу в стенке на 70 – 80 %. Основным недостатком этих экспериментальных исследований было то, что они проводились на моделях с малыми геометрическими размерами ( $L = 1500$  мм). Отсутствие полных экспериментальных данных о влиянии наклонных ребер жесткости на нормальные напряжения в произвольном сечении балки, а также и на ее изгибную жесткость, потребовало выполнения исследований, которые и описываются далее.

#### **Методика и содержание исследования**

Экспериментальные исследования работы балок с наклонными ребрами жесткости на плоский изгиб проводились на двенадцати моделях сварных однопролетных шарнирно-опертых балок двутаврового симметричного профиля пролетом  $L = 3$  м с размером поперечного сечения: стенка –  $500 \times 10$  мм, горизонтальные листы –  $150 \times 10$  мм.

Расстановка по длине исследуемых балок и геометрические размеры наклонных ребер жесткости приведены в приложении А.

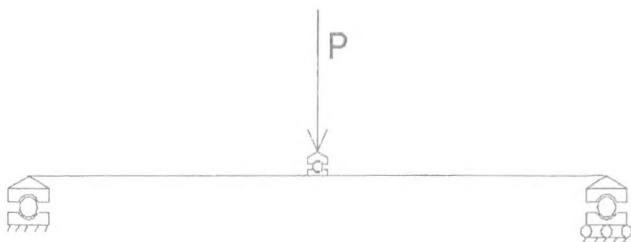
Балки были изготовлены из стали ВМ-СТ 3пс по ГОСТ 380-2005, сварка поясов, стенки и наклонных ребер жесткости велась электродами Э-42А с толщиной шва 8 мм.

Каждая балка испытывалась в горизонтальном положении на 200-тонном гидравлическом прессе.

Нагрузка в виде сосредоточенной силы  $P$  передавалась в середине пролета через квадратный штамп размером  $60 \times 60$  мм к сжатому поясу в плоскости ее наибольшей жесткости при изгибе.

Нагружение балок производилось только в упругой стадии. Поэтому максимальная нагрузка создавала в опасных сечениях нормальные напряжения  $\sigma_x = 60 - 70$  % от предела текучести.

Контроль за напряжениями в данных сечениях осуществлялся с помощью тензодатчиков, установленных на стенке и поясах в сжатой и растянутой зонах.



Расчетная схема испытаний

Нагрузка передавалась ступенями от нуля до 32 т с шагом 4 т. При этом, для исследований была принята:

- 1) непрерывно возрастающая (прямой ход) или убывающая (обратный ход) нагрузка;
- 2) нагрузка, возрастающая или убывающая по этапам, с выдержкой в течение 20 – 25 минут при достижении каждого последующего этапа.

При оценке общей деформативности системы нас интересует не только абсолютное значение прогиба какого-либо сечения балки, но и коэффициент изменения изгибной жесткости их в результате постановки по длине стержня «противокрутильных связей».

В таблице приведены значения этого коэффициента.

№	Кэф-фициенты	Б-1	Б-2	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7	Б-8	Б-11	Б-12
1	$\nu$	1,00	1,000	1,095	1,015	1,038	1,052	1,013	1,054	1,030
2	$\sigma_x$	2160	—	1943	1635	1946	1743	2000	1740	2064

Коэффициент изменения изгибной жесткости определялся по следующей формуле:

$$\nu = \frac{y_{ot}}{y_t},$$

где  $\nu$  – коэффициент изменения изгибной жесткости стержня за счет постановки наклонных ребер жесткости;  $y_{ot}$  – прогиб сечения  $x = t$  в балке без ребер;  $y_t$  – прогиб того же сечения в балке с ребрами жесткости.

### Заклучение

1. В данной работе впервые экспериментальным путем исследуется вопрос влияния геометрии и типа противокрутильных связей на величину нормальных напряжений  $\sigma_x$  и изгибную жесткость подкрепленных тонкостенных стержней.

2. За счет постановки противокрутильных связей увеличивается жесткость подкрепленных стержней. Прогибы могут быть снижены на 1,3 – 14,5 %;

3. Нормальные напряжения  $\sigma_x$  в опасном сечении могут быть снижены на 4,4 – 24,3 % при увеличении общего веса конструкции на 1,8 – 13,3 %.

В перспективе предполагается углубиться в аналитические расчеты и заняться разработкой методики определения приведенной жесткости и нахождением коэффициента увеличения жесткости тонкостенных пространственных стержней.

### Литература

1. Аистов, Н.Н. Испытания сооружений / Н.Н. Аистов. – М., Стройиздат, 1960.
2. Сечения. Труды лаборатории строительной механики ЦНИПС. – М., 1941.
3. Бычков, Д.В. Кручение металлических балок / Д.В. Бычков, А.К. Мрошинский. – М.: Стройиздат, 1944.
4. Власов, В.З. Новый метод расчета призматических балок из тонкостенных профилей на совместное действие изгиба и кручения / В.З. Власов // Вестн. ВИА. – 1936. – № 20.
5. Власов, В.З. Изгиб и кручение тонкостенных стержней и цилиндрических оболочек открытого профиля / В.З. Власов Доп. к кн. С.П. Тимошенко «Устойчивость упругих систем». – М.: Гостехиздат., 1946.
6. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, А.И. Марон. – М.: Изд. Физматгиз, 1960.
7. Длугач, М.И. Экспериментальное исследование устойчивости тонкостенных стержней, усиленных решеткой или планками / М.И. Длугач // Сб. тр. ин-та строительной механики АН УССР. – 1952. – № 17.