

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ПРОФИЛЕЙ С БИМОМЕНТНЫМИ СВЯЗЯМИ.

КОНОНОВИЧ К. В., ДАВЫДОВ Е. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. За всё время развития расчёта и конструирования металлических конструкций, наиболее распространение получили конструктивные схемы из открытых тонкостенных профилей. По сравнению со стержнями закрытого профиля, они обладают преимуществами ввиду простоты изготовления и эксплуатации. Поэтому чаще всего применяются стержни незамкнутого профиля из прокатных двутавров, швеллеров и т.д., как в отдельности, так и в виде сложных составных сечений.

Однако, недостатком тонкостенных открытых профилей, по сравнению с закрытыми, является их низкая сопротивляемость крутящим моментам.

Усиление открытых профилей. Достаточно очевидно, что разработка и обоснование какого-либо конструктивного или иного метода, который позволит сохранить преимущества стержней открытого профиля и придать им преимущества стержней закрытых профилей (значительное увеличение сопротивления кручению) представляет большую ценность. Впервые такие мероприятия были предложены автором теории расчёта упругих стержней, профессором В.З.Власовым в его монографии [3]. Метод предложенный Власовым заключался в добавлении к стержням поперечных планок, закрепляющие продольные края от взаимного продольного смещения, тем самым значительно уменьшающие деформации поперечного сечения стержня при кручении. Так же в его монографии [3] был описан возможный метод расчёта тонкостенных стержней, усиленных планками.

В ЦНИПСе в 1993 г. профессором Д. В. Бычковым и кандидатом технических наук А. К. Мрощинским были проведены эксперимен-

ты, подтвердившие теорию Власова. Некоторые результаты этих экспериментальных исследований были представлены в [2].

Все перечисленные авторы в основном исследовали влияние бимоментных связей на сопротивление стержня кручению, а также влияние этих связей на возникновение напряжений от деформации сечения. Во всех исследованиях изучалась работа тонкостенных стержней с бимоментными связями при их работе на свободное кручение, стеснённое кручение или кручение с изгибом. Однако слабо освещённым остается вопрос о влиянии бимоментных связей на устойчивость тонкостенных открытых стержней при изгибе. По результатам исследований можно сделать вывод о значительном повышении крутильной жёсткости GI_k . Так как момент инерции стержня при свободном кручении имеет значительное влияние на устойчивость стержня при изгибе, можно сделать вывод о её повышении.

Так же остаются слабоизученными вопросы о влиянии бимоментных связей на изгибную жёсткость стержня, и местную устойчивость элементов сечения. Одним из недостатков упомянутых выше экспериментов является то, что испытания проводились на масштабных мелкогабаритных образцах, поэтому изучение поведения образцов выполненных в натуральную величину, так же представляет интерес.

Бимоментные связи могут использоваться для повышения крутильной жёсткости как при новом строительстве, так и при усилении уже существующих конструкций. Одним из примеров такого использования является разработанное авторами статьи усиление подкрановой балки сборочного цеха завода «Амкордор».

Согласно проведенному обследованию, прочность подкрановой балки была обеспечена, однако при проверке устойчивости, эти балки имели напряжения в 1.5 раза превышающие расчётное сопротивление. Основную часть из этих напряжений составляют напряжения от учёта потери устойчивости балки при изгибе использованием коэффициента φ_0 :

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_p}{\phi_0 W_x} + \frac{M_T}{W_y} = \frac{34882}{0.399 \cdot 3719} + \frac{1168}{242} = \\ &= 32.126 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R_y \frac{\gamma_c}{\gamma_n} = 25.26 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \end{aligned} \quad (1)$$

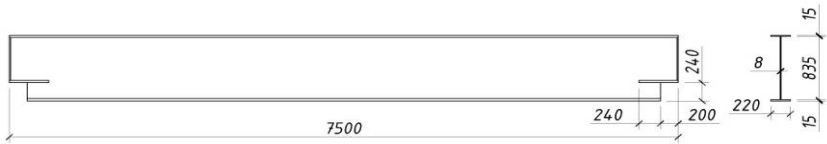


Рис. 1. Геометрические размеры усиленной балки

Сечение имеет следующие геометрические характеристики: $I_x=158\,037\text{ см}^4$, $I_y=2\,665\text{ см}^4$, $I_k=82,87\text{ см}^4$, $W_x=3\,718\text{ см}^3$, $W_y=242\text{ см}^4$.

Для обеспечения общей устойчивости авторами было предложено усиление бимоментными связями в виде раскосов, что должно было повысить жёсткость стержня при свободном кручении. Предлагаемое усиление представляет собой решётку из уголков 50×5, выполненных из стали С235, приваренных к полкам балки с одной стороны. Предложенный метод усиления обусловлен тем, что рядом с балкой возведены стены, что мешает размещению дополнительных конструкций, раскрепляющих балку из плоскости её работы, а так же каких-либо других конструкций повышающих её устойчивость. Предлагаемое усиление располагается со стороны к которой есть доступ для производства работ, и не препятствует технологическому процессу. Схема усиления представлена на рис. 2

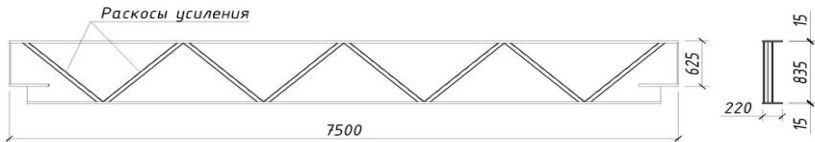


Рис. 2. Схема усиления балки

Для аналитического изучения, были построены три модели подкрановой балки в программе ANSYS.

Первая модель представляла собой балку постоянного сечения без изменения высоты сечения на опоре, а так же без рёбер жёсткости. Данная модель была необходима для сопоставления результатов моделирования с теоретическими результатами вычисления крутильной жёсткости по формуле:

$$I_k = \frac{\alpha}{3} \sum (t_i^3 b_i) \quad (2)$$

где α – коэффициент зависящий от вида сечения (для двутавров обычно принимается $\alpha = 1,3$)

t_i, b_i – толщина и ширина пластин, из которых состоит сечение соответственно.

Вторая модель была выполнена по чертежам подкрановой балки без усиления.

Третья модель выполнялась с усилением в виде раскосов.

Ко всем моделям прикладывались противонаправленные крутящие моменты по концам балки в $M_k=200$ Нм. Моменты создавались парой сил приложенных к верхнему и нижнему поясу. Для создания свободного кручения в торцах балок по середине высоты сечения моделировались выступающие участки стенки размерами 2×2 см, на нижние ребра которых накладывались ограничения перемещения по 3 осям. Такое закрепление не ограничивает деформации сечений, а так же позволяет точно обозначить центр кручения. Материал балок задавался как сталь С235 с модулем упругости $E=206$ ГПа и модулем сдвига $G=76,9$ ГПа.

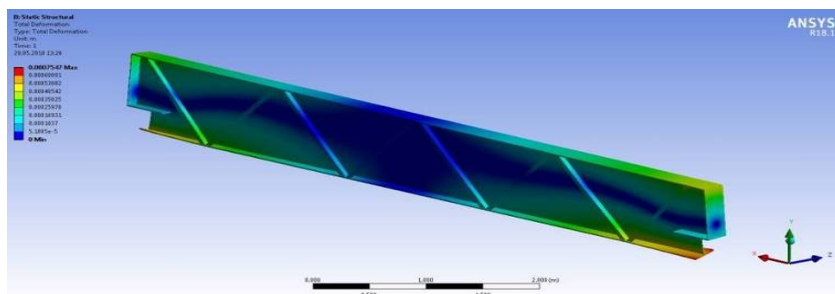


Рис. 3. Модель балки с усилением

После расчёта моделей определялся угол поворота сечения, и вычислялся момент инерции при свободном кручении по формуле:

$$I_k = \frac{M_k}{G\theta} \quad (3)$$

По результатам вычислений момента инерции при кручении была для всех моделей была составлена таблица.

Таблица

Модель	Угол поворота сечения, рад	Относительный угол закручивания, рад.	Момент инерции при свободном кручении, см ⁴	$I_k/I_k^{\text{теор}}$
Балка	0.0212	0.002826	92.01	1.11
Балка без усиления	0.0153	0.002035	127.79	1.54
Балка с усилением	0.0028	0.00037	702.84	8.48

Отношение полученного по первой модели момента инерции к вычисленному теоритически составляет 1,11. В исследованиях Д. В. Бычкова и А. К. Мрощинского указано, что коэффициент для двутавров $\alpha = 1,3$ принят усреднённым и имеет значения в пределах от 1,1 до 1,5. Экспериментальные исследования показали, что для двутавров с высотой сечения больше 500мм коэффициент α принимает значения близкие к 1,5 [2]. Учёт этого факта объясняет расхождение между результатами, полученными в модели с теоретическими в 11%. Поэтому, с достаточной уверенностью можно сказать о правильности моделирования балки и точности определения момента инерции при кручении для всех моделей, т.к. они имеют одинаковые условия закрепления и нагружения.

Используя полученные из модели балки с усилением данные о повышении момента инерции при кручении в 8,5 раз, можно сделать заключение о повышении её устойчивости по формуле:

$$\alpha = 1,54 \frac{I_t}{I_y} \left(\frac{l_{ef}}{h} \right)^2 = 1,54 \frac{702.84}{2665} \left(\frac{7500}{865} \right)^2 = 30.49, \quad (4)$$

$$\psi = 1.75 + 0.09 \cdot \alpha = 1.75 + 0.09 \cdot 30.49 = 4.49, \quad (5)$$

$$\varphi_b = \psi \frac{I_x}{I_y} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \frac{E}{R_y} = 0.865, \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{M_p}{\varphi_b \cdot W_x} + \frac{M_T}{W_y} = \frac{34882}{0.865 \cdot 3718} + \frac{1168}{242} = 15.65 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 25.26 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}. \quad (7)$$

Заключение. Исследования проведенные в этой области показывают, что бимоментные связи повышают крутильную жёсткость, что позволяет открытым профилям лучше сопротивляться закручи-

вающим нагрузкам. Однако, так же они повышают и устойчивость стержней при изгибе, что было показано в данной работе. Поэтому изучение этого вопроса, может оказать влияние на развитие как конструктивных методов усиления существующих конструкций, так и на создание новых конструктивных форм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков. Д.В. Структура механических стержневых тонкостенных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – 475 с.
2. Бычков. Д.В. Кручение металлических балок / Д.В. Бычков, А.К. Мрощинский. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1944.- 260 с.
3. Власов. В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.
4. СНиП II-23-81* "Стальные конструкции. Нормы проектирования" М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2008 г. – 89 с.

УДК 624.131+624.15

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТОВЫХ МОДЕЛЕЙ

¹ЛОБАЧЕВА Н. Г., ²ГРИНЕВ В. В.

¹Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. Постановка проблемы. В настоящее время в Республике Беларусь произошли существенные изменения в практике строительства и эксплуатации зданий. Увеличились требования к зданиям, в том числе к их надежности и долговечности. Все чаще возводятся здания в условиях плотной городской застройки.

Обеспечение надежности конструкций здания при минимальной затрате материалов определяется в большей мере степенью точности выбора грунтовой модели основания, наиболее правдоподобно от-