

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ В ПРОГРАММЕ ANSYS

Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г., Лимаренко А.М. (Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса)

Разработана методика расчета тонкостенной двутавровой балки методом конечных элементов в программе ANSYS. Сравнение полученных результатов с результатами аналитического расчета свидетельствует об их хорошей сходимости и позволяет рекомендовать разработанную методику для анализа любых тонкостенных балок открытого профиля в программе ANSYS.

Тонкостенные стержневые конструкции и составленные из них системы широко применяются в строительстве, машиностроении и других областях техники. В связи с особенностями напряженно-деформированного состояния различают открытые, замкнутые и комбинированные профили.

Основоположником теории расчета тонкостенных конструкций открытого профиля является С.П.Тимошенко, который еще в 1905 году рассмотрел особенности кручения тонкостенной двутавровой балки [3]. Современная теория расчета тонкостенных стержней открытого профиля базируется на трудах советского ученого В.З. Власова [2].

Эта теория многократно проверялась и уточнялась учениками и последователями В.З.Власова. Многие задачи получили аналитическое решение, накоплен большой объем данных в результате выполненных экспериментальных исследований.

Развитие компьютерной техники сделало возможным численный анализ конструкций, вывело на качественно новый уровень применения такие методы как метод конечных разностей (МКР), метод конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов (МГЭ). В силу разных причин большинство программ численного анализа базируется на методе конечных элементов. Ведущее место на мировом рынке занимает комплекс ANSYS, возможности которого позволяют выполнять не только структурный анализ систем разного уровня сложности (расчеты на прочность, устойчивость, динамику и т.д.), но и междисциплинарный анализ.

Целью работы являлась отработка методики расчета тонкостенных стержней открытого (в частности, двутаврового) профиля и сравнение полученных результатов с известными аналитическими решениями.

Рассматривается жестко защемленная с двух сторон двутавровая балка, нагруженная по всей длине равномерно распределенным крутящим моментом (рис.1).

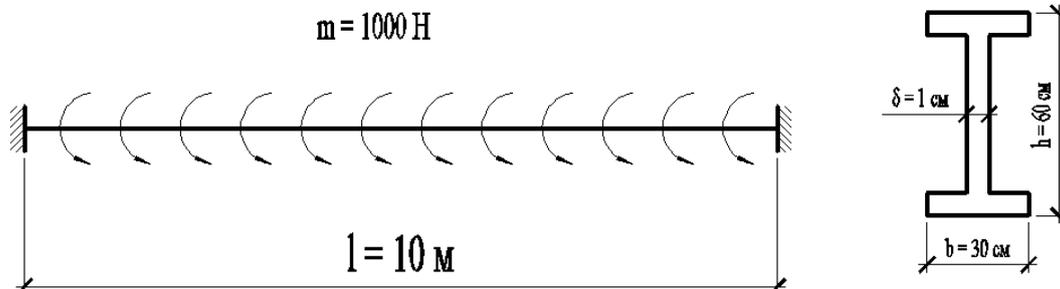


Рис.1

Значения бимомента, крутящего момента и угла закручивания вычислены по известным [1] формулам:

$$B_w = \frac{m}{k^2} \left[ 1 - \frac{klchk \left( \frac{l}{2} - z \right)}{2sh \frac{kl}{2}} \right]; \quad (1)$$

$$L = x \left( \frac{l}{2} - z \right); \quad (2)$$

$$\theta = \frac{m}{k^4 EI_w} \left[ \frac{k^2 z(l-z)}{2} - \frac{klsh \frac{kz}{2} sh \frac{k(l-z)}{2}}{sh \frac{kl}{2}} \right]; \quad (3)$$

где  $k = \sqrt{\frac{GI_d}{EI_w}}$  - изгибно-крутильная характеристика сечения;  $GI_d$  - жесткость при чистом кручении;

$EI_w$  - секториальная жесткость.

Аппроксимация трехмерной модели (рис.2) в программе ANSYS выполнена элементом BEAM189.

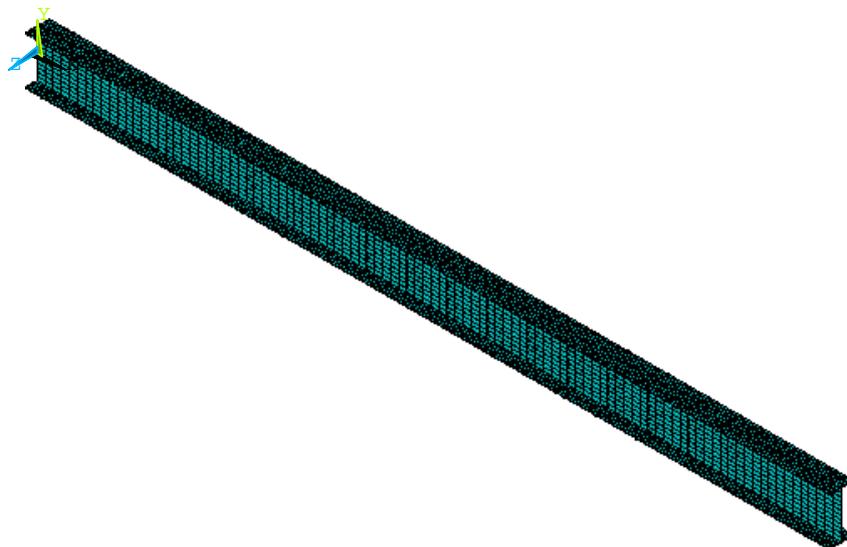


Рис.2

Это трехузловой квадратичный стержневой элемент, предназначенный главным образом для расчета тонкостенных балок. Базируется на балочной теории С.П.Тимошенко. Возможен учет сдвиговых деформаций, нелинейностей, ползучести, разных моделей пластичности. Поперечное сечение балки может быть любым, допускается также изготовление отдельных элементов сечения из разных материалов. Особенностью элемента BEAM189 (как и близкого к нему по свойствам элемента BEAM188) является возможность вывода изгибно-крутящих бимоментов, что не предусмотрено при использовании других балочных элементов из библиотеки ANSYS.

Деформированное состояние стержня, полученное по результатам расчета в программе ANSYS, показано на рис.3, эпюры бимоментов, крутящих моментов и углов закручивания — на рис.4.

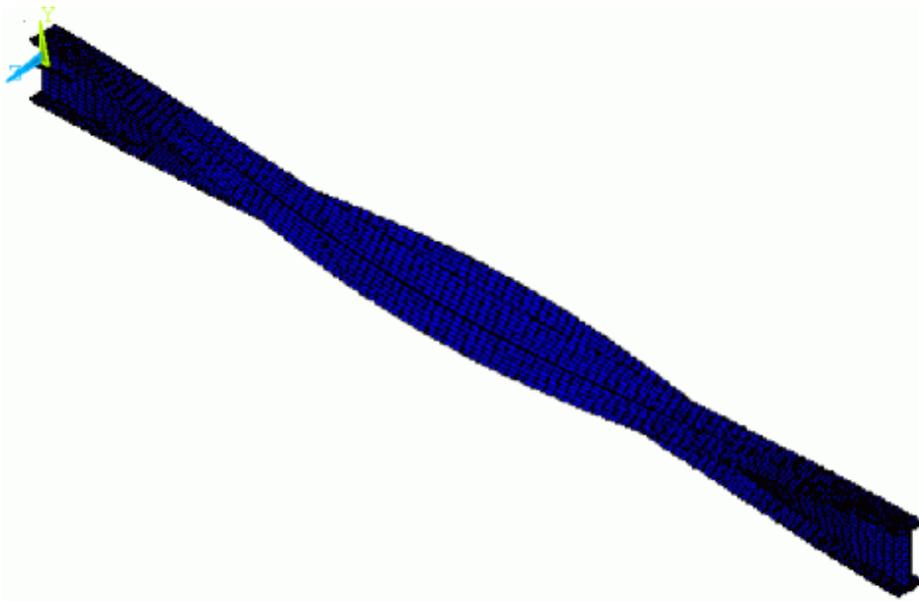
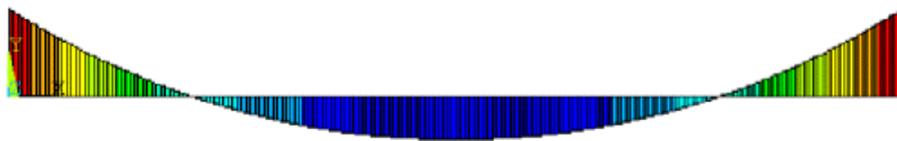
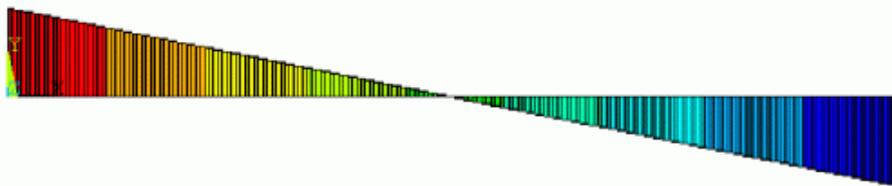


Рис.3

Эпюра бимоментов



Эпюра крутящих моментов



Эпюра углов закручивания

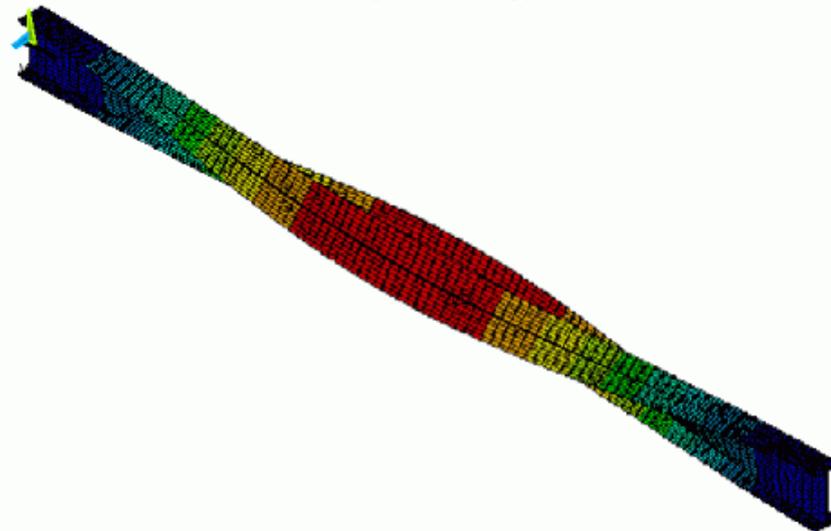


Рис.4

В таблице приведены результаты вычислений по формулам (1)-(3) и методом конечных элементов.

Таблица

Сравнение результатов аналитического расчета и МКЭ

x, м	Угол закручивания			Крутящий момент			Бимомент		
	Форм. (3)	МКЭ	%	Форм. (2)	МКЭ	%	Форм. (1)	МКЭ	%
0	0	0	0	5000	4963	0,74	7825,0	7774,0	0,65
2	0,0105	0,0101	3,81	3000	2976	0,80	213,8	212,2	0,75
4	0,0266	0,0271	1,84	1000	992	0,80	-3285,2	-3263,8	0,65
5	0,0297	0,0302	1,66	0	0	0	-3727,0	-3701,0	0,70
6	0,0266	0,0271	1,84	-1000	-992	0,80	-3285,2	-3263,8	0,65
8	0,0105	0,0101	3,81	-3000	-2976	0,80	213,8	212,2	0,75
10	0	0	0	-5000	-4963	0,74	7825,0	7774,0	0,65

Сравнение результатов свидетельствует об их хорошей сходимости и позволяет рекомендовать разработанную методику расчета в программе ANSYS для анализа тонкостенных балок других поперечных сечений.

#### Литература

1. Бычков Д.В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 475 с.
2. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.
3. Тимошенко С.П. Сопrotивление материалов. Т.1.- М., 1965.- 364 с.
4. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение – 1, 2004. – 512 с.