

УДК 539.3(075)

НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ С ДЕПЛАНАЦИОННЫМИ СВЯЗЯМИ

Г. Ф. Скала, Аль Атеш Ахмад

В работе рассматривается напряжённо-деформированное состояние (НДС) тонкостенных стержней открытого профиля, усиленных депланационными связями. Предлагается новый подход к определению компонентов НДС этих конструктивных решений, заключающийся в приведении алгоритма расчёта усилений, к решению системы линейных уравнений.

У роботі розглядається напружено-деформаційний стан (НДС) тонкостінних стрижнів відкритого профілю, посилені депланційними зв'язками. Пропонується новий підхід до визначення компонентів НДС цих конструктивних рішень, що полягає в приведенні алгоритму розрахунку посилень, до рішення системи лінійних рівнянь.

In this work is examined mode of deformation (MOD) of thin-walled bars of the open profile, reinforced by deplanation connections. It is offered a new approach to the definition of the components of mode of deformation of this industrial design, that is concluded in the conduction of algorithm of amplification to the solution of linear equations.

Введение

Сегодня конструирование в строительстве развивается по пути принципиального снижения материалоемкости конструктивных композиций и их элементов. Расширяется сфера использования тонкостенных конструкций и оболочек, расчеты которых, часто достаточно сложны и требуют научного подхода. В частности тонкостенные конструкции всё чаще используются при строительстве транспортных переходов, галерей, мостов и других объектов. Работа таких конструктивных композиций не всегда может быть описана известными зависимостями.

Постановка проблемы

При эксплуатации конструкции, выполненные, например, в виде тонкостенных стержней открытого профиля (ТСОП) в общем случае испытывают сложное напряжённо-деформированное состояние (НДС). Здесь имеют место следующие компоненты:

- изгиб в вертикальной плоскости от веса трубопроводов с заполнениями и собственного веса конструкций;
- изгиб в горизонтальной плоскости от действия ветра;
- внецентренное сжатие (растяжение), вследствие действия инерционных сил при неравномерной скорости движения транспортируемого материала;
- кручение, вследствие того, что вертикальные и горизонтальные нагрузки не проходят через центр изгиба.

Общее НДС конструкций исследуемого типа представляет собой сумму упомянутых компонент, поэтому их можно рассматривать в стадии упругих деформаций независимо.

НДС балочных пролетных строений при изгибе, как в вертикальной так и в горизонтальной, плоскостях описывается известными зависимостями. Достаточно детально изучено растяжение и сжатие таких конструкций.

Определенную сложность и интерес представляет кручение, имеющее место вследствие того, что равнодействующие поперечник нагрузок не проходят через центр изгиба, а продольные нагрузки приложены в контурных координатах где $\omega \neq 0$, что вызывает депланации сечений, а их стеснение депланаций, различными конструктивными мероприятиями, вызывает внутренне уравновешенные усилия – бимоменты. Наиболее рациональными конструктивными мероприятиями, снижающими взаимовязанные величины θ (угол поворота сечения z) и θ' (депланация сечения z) могут быть депланационные связи.

Основна часть

В подавляющем большинстве опубликованных работ описаны исследования тонкостенных стержней и даны, решения с общепринятыми в основополагающих теориях гипотезами и допущениями. Учитывая, что конструкции, выполненные в виде тонкостенных стержней открытого профиля (ТСОП) с усилениями представляют достаточно сложную композицию, а для решения практических вопросов желательно иметь строгий, единообразный подход и универсальную, корректную методику, вводим следующие гипотезы, позволяющие существенно упростить решения:

- материал конструкции является упругим, однородным и изотропным;
- топология конструкции без погрешностей геометрической формы;
- сдвиг срединной поверхности отсутствует;
- профиль жесткий недеформируемый;
- напряженное состояние описывается двумя компонентами напряжений:

$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{M_y}{I_y} x + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{B}{I_\omega} \omega,$$

$$\tau = \frac{1}{s} \left[\frac{Q_x}{I_y} sy(s) + \frac{Q_y}{I_x} sx(s) + \frac{H_x}{I_x} s\omega(s) \right];$$

- местные напряжения от локальных силовых воздействий затухают быстро и не рассматриваются в общем НДС.

Все основные условия и зависимости приняты в соответствии с теорией тонкостенных упругих стержней, В. З. Власова [1]:

- основные функции $1, x(s), y(s), \omega(s)$ ортогональны и усилия от обобщенных сил будут:

$$\begin{aligned} N &= \int_F \sigma_1 dF, \\ M_x &= \int_F \sigma_y dF, \\ M_y &= \int_F \sigma_x dF, \\ B &= \int_F \sigma_\omega dF, \end{aligned} \tag{1}$$

- дифференциальная зависимость между основными обобщенными величинами:

$$\begin{aligned} N &= EF\zeta, \\ M_y &= EI_y\xi, \\ M_x &= EI_x\eta, \\ B &= -EI_\omega\theta. \end{aligned}$$

Если ТСОП находится под действием нагрузок вызывающих кручение, и он усилен депланационными связями (планками, диафрагмами и т. п.), то депланации сечений с депланационными связями вызывают деформации последних, изменяя НДС ТСОП. Характер и уровень НДС депланационных связей обусловлены такими факторами, как:

- конструкция связи (планка, диафрагма, труба, наклонный элемент и т. п.);
- величина депланации сечения с депланационной связью, которая является функцией текущей координаты z , величины, характера нагрузки и условий закрепления концов стержня (граничными условиями). Кроме того, деформации депланационных связей взаимно влияют друг на друга.

Таким образом задачу можно условно разделить на две.

Первая – определение НДС ТСОП под внешней крутящей нагрузкой и с действующими на него n дискретными бимоментами B_i от депланационных связей (n – число депланационных связей).

Вторая – определение величины бимоментов B_i , которыми i -я депланационная связь – деформируясь воздействуют на ТСОП.

Первая задача решается аппаратом теории В.З. Власова [1].

Вторая задача является статически не определенной и более сложной для постановки и решения.

В её решении можно использовать модифицированный метод сил [2], для чего, принять основную систему, изображенную на рис. 1. В этой системе эффект каждой депланационной связи представлен бимоментом, создаваемым этой деформированной связью. Тогда в системе бимоменты представляют вектор неизвестных. Степень статической неопределимости такой системы равна числу депланационных связей.

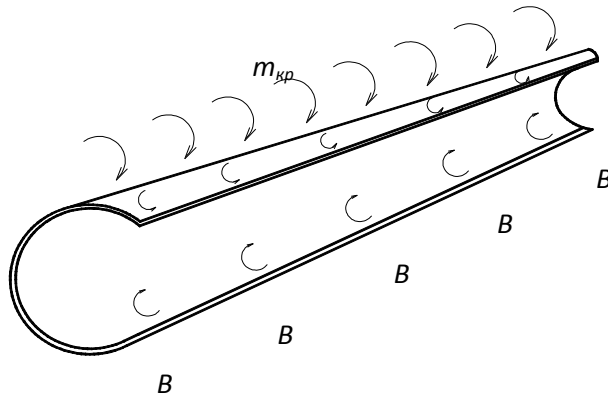


Рис. 1. Основная система

Такой подход позволяет свести систему дифференциальных уравнений к системе линейных уравнений n -го порядка, которая в общем виде система выглядит так

$$A\vec{B} + \vec{Q} = 0,$$

где A – матрица коэффициентов метода сил;

\vec{B} – вектор бимоментов (неизвестных);

\vec{Q} – вектор грузовых коэффициентов.

Решив систему и получив вектор неизвестных бимоментов B , определяются реактивные бимоменты от упругих деформаций депланационных связей.

Выводы

- Предложен новый подход, позволяющий свести систему дифференциальных уравнений к системе линейных уравнений n -го порядка, решив которую и получив вектор неизвестных бимоментов, можно определить реактивные бимоменты от упругих деформаций депланационных связей

Использованная литература

1. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни / Власов В. З. – М. : Физматиздат, 1959. – С. 508.
2. Скала Г. Ф. Методика расчета напряженно-деформированного состояния главных балок открытого поперечного сечения в мостовых и козловых кранах, усиленных бимоментными связями / Скала Г. Ф. – Х. : Издательство ЦНТИ, 1985. – № 85-48. – С. 4.

Скала Генадій Федосійович – к.т.н., доцент, Харківська національна академія міського господарства.

Аль Атеш Ахмад – аспірант, Харківська національна академія міського господарства