

## РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводные конструкции получают все большее распространение в мире, прежде всего это связано с развитием нефтегазовой и атомной отраслей промышленности. В результате широкого применения конструкции трубопроводных систем становятся сложнее. Возрастает количество факторов, влияние которых необходимо учитывать при решении задач (например, при прокладке подземных трубопроводов необходимо учитывать влияние грунта, а в случае освоения шельфовых месторождений необходимо учитывать водную среду, окружающую трубопровод). При этом нельзя забывать о надежности эксплуатации и строительства конструкций, включая системы транспортировки нефти, газа, пара и воды, для избежания экологических катастроф. В связи с этим требуется все более сложный и точный расчет конструкций, который может обеспечить конечно-элементное решение задачи.

В работе представлены результаты решения модельных задач по определению перемещений и собственных частот характерных элементов трубопровода с использованием программных систем **Ansys** (CAE-система инженерного анализа) и **CAESAR COADE Inc.** (специализированная система, предназначенная для проведения поверочных расчетов в трубопроводных системах).

Результаты, полученные в ходе решения задач, будем сравнивать с аналитическим решением.

Рассмотрим криволинейный элемент трубопроводной системы (рис. 1). Конструкция выполнена из труб с внешним радиусом 20 мм, внутренним 17 мм. Характерный размер пролета  $a=1$  м. Конструкция изготовлена из стали. Физико-механические свойства материала: модуль Юнга  $E=195,12$  ГПа,  $\nu=0,305$ ,  $\rho=8000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Действующая нагрузка:  $P=500$  Н.

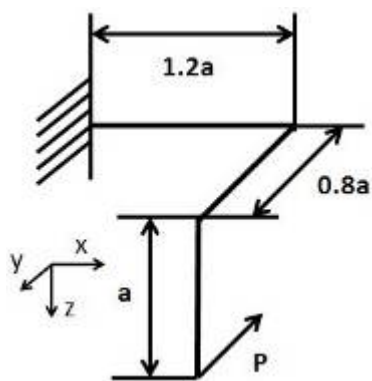


Рис. 1. Модель криволинейного элемента трубопроводной системы

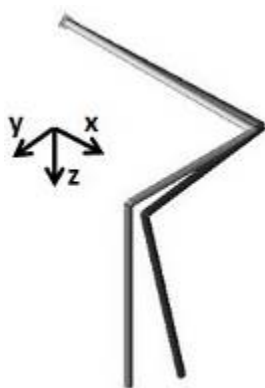


Рис. 2. Деформированное состояние (увеличены в 8 раз)

Аналитическое решение выражается формулами:

$$\Delta_X = 0.576 \frac{Pa^3}{EJ}$$

$$\Delta_Y = -3.276 \frac{Pa^3}{EJ}$$

$$\Delta_Z = -1.573 \frac{Pa^3}{EJ}$$

Недеформированная и деформированная форма криволинейного элемента трубопроводной системы представлена на рис. 2.

Результаты сравнения полученных решений представлены в табл. 1.

Таблица 1.

	CAESAR, мм	ANSYS, мм	Аналитическое решение, мм
$\Delta_X$	24,57	24,57	24,57
$\Delta_Y$	-139.8	-139.8	-139.8
$\Delta_Z$	-67.1	-67.1	-67.1

Видно, что для задач статики обе программные системы дают точное решение.

Рассмотрим случай одночастотных колебаний рамной конструкции: свободные колебания по одной из собственных форм. Геометрия модели представлена на рис. 3. Характерный размер  $L=1$  м. Используем те же материал и характерные размеры, что и в предыдущей задаче. Аналитическое решение для двух низших частот выражается формулой [1]:

$$f_1 = \frac{11.228}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{S\rho}}; \quad f_2 = \frac{42.81}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{S\rho}}$$

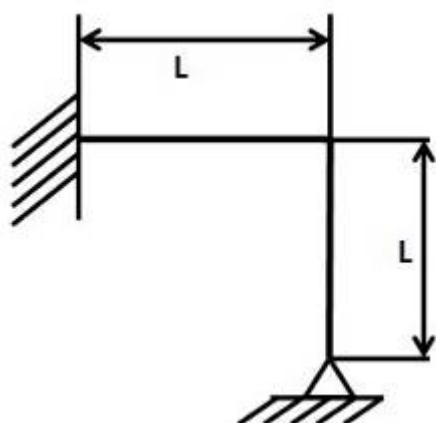


Рис. 3

На рис. 4, 5 представлены собственные формы колебаний для двух низших частот, полученные с помощью CAESAR.

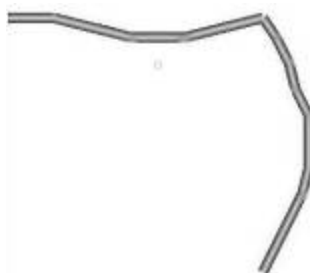


Рис. 4

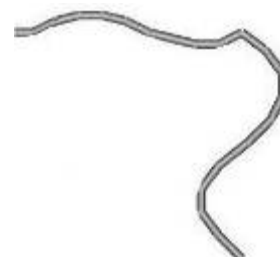


Рис. 5

Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2.

№	CAESAR, Гц	ANSYS, Гц	Аналитическое решение [1], Гц	$\epsilon_{CAESAR}, \%$	$\epsilon_{ANSYS}, \%$
$f_1$	117.5	117,6	118.8	1,1	1
$f_2$	427.2	426,8	441.6	3,3	3,4

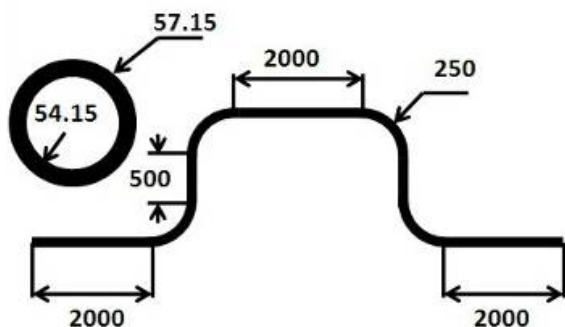


Рис. 6

Видно, что для задачи о нахождении собственных частот рамы обе программные системы дают результат, который отличается от аналитического решения не более чем на 3,5%.

Рассмотрим криволинейный участок трубопровода, защемленный на концах. Геометрия модели представлена на рис. 6. Найдем 2 низших собственных частоты

Результаты представлены в табл. 3:

Таблица 3.

№	CAESAR, Гц	ANSYS, Гц	Относительная погрешность $\epsilon, \%$
$f_1$	8,79	8,66	1,5
$f_2$	12,24	12,94	5,4

ЛИТЕРАТУРА:

1. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник в трех томах. –Том 3. –М.: Машиностроение, 1968.