

С Е К Ц И Я 7

ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ НЕФТИ И ГАЗА

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ТРУБОПРОВОДОВ

Беляев Н.В., Бабинова Д.И.

Научный руководитель доцент Г.Р. Зиякаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На основе расчета напряженно-деформированного состояния магистральных трубопроводов невозможно провести точный анализ прочности конструкции, а в некоторых случаях может быть неверно оценено состояние трубопровода. При современном развитии численных методов широкое развитие получил метод конечных элементов, позволяющий значительно расширить постановку задач.

Необходимость в расчете собственных частот возникает при исследовании динамического поведения конструкции под действием распределенных нагрузок.

В данной статье мы проведем сравнительный анализ аналитических и численных методов решения задач напряженно-деформированного состояния трубопроводов. Для этого решим одну и ту же задачу с помощью аналитического метода и метода конечных элементов в программе ANSYS. Исходные данные [1,2] предоставлены в таблице.

Таблица

Исходные данные

Наименование	Значение
Наружный диаметр трубопровода D , мм	530
Толщина стенки трубопровода d , мм	12
Длина трубопровода l , мм	12 000
Плотность стали $\rho_{ст}$, кг/м ³	7850
Плотность нефти $\rho_{н}$, кг/м ³	850
Модуль упругости E , Па	2×10^{11}
Момент инерции J , м ⁴	0,0496

Решение задачи аналитическим методом:

Момент инерции сечения J :

$$J = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64};$$

$$J = \frac{\pi \cdot (0,53^4 - 0,012^4)}{64} = 3,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4.$$

Распределенная нагрузка q :

$$q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot g \cdot \rho_{ст}}{4} + \frac{\pi \cdot d^2 \cdot g \cdot \rho_{н}}{4};$$

$$q = \frac{\pi \cdot (0,53^2 - 0,012^2) \cdot 9,81 \cdot 7850}{4} + \frac{\pi \cdot 0,012^2 \cdot 9,81 \cdot 850}{4} = 16,981 \cdot 10^3 \text{ Н/м}.$$

Для решения задачи аналитическим методом представим данный трубопровод в виде балки и воспользуемся методом Максвелла-Мора [3].

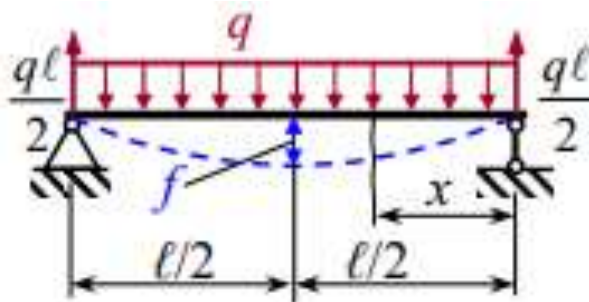


Рис. 1. Решение задачи аналитическим способом

Статический прогиб Δ :

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot J};$$

$$\Delta = \frac{5 \cdot 16,981 \cdot 10^3 \cdot 12^4}{384 \cdot 2 \times 10^{11} \cdot 3,87 \cdot 10^{-3}} = 5,9236 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Частота собственных колебаний:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{\Delta}};$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{5,9236 \cdot 10^{-3}}} = 6,47682 \text{ с}^{-1}$$

Решение задачи с помощью комплекса ANSYS:

Для решения задачи в программе ANSYS, сгенерируем модель по имеющимся данным и приложим на нее распределенную нагрузку и найдем собственные частоты.

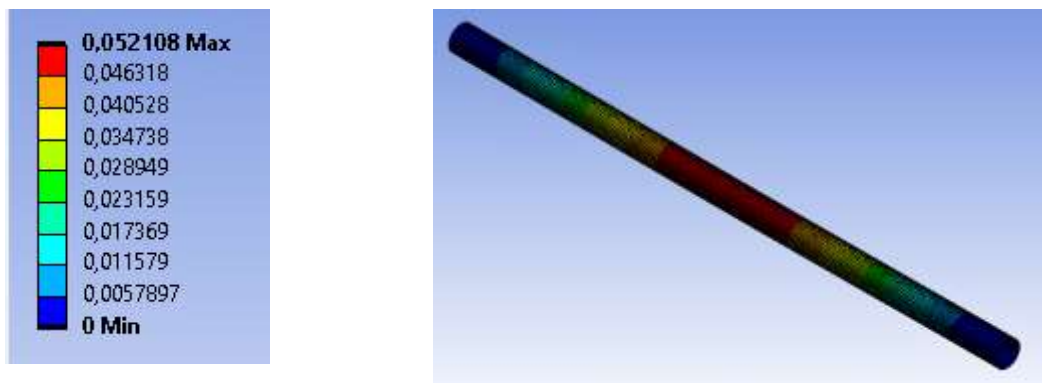


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние в программе ANSYS

Перемещения трубопровода $\Delta = 5,2108 \cdot 10^{-2}$ м.

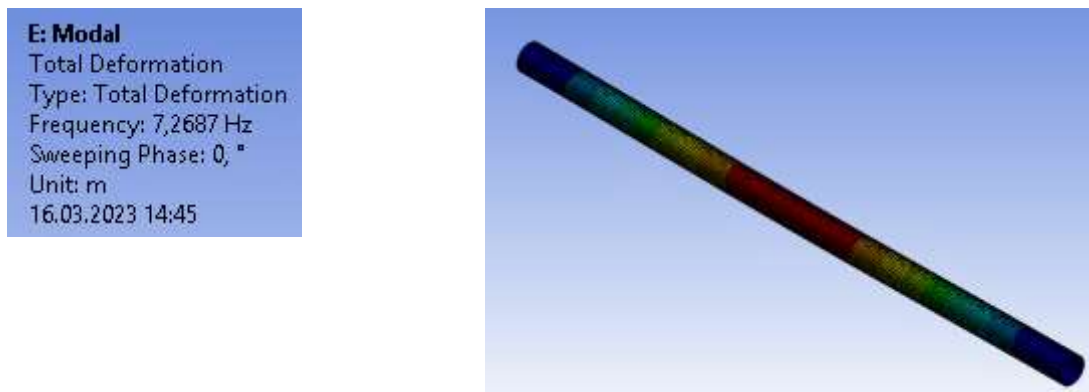


Рис. 3. Расчет собственных колебаний в программе ANSYS

Частота собственных колебаний $f = 7,2687 \text{ с}^{-1}$.

Вывод: таким образом расчет напряженно-деформированного состояния и определение собственных частот аналитическим методом и метод решения задач в комплексе ANSYS привел к тому, что отклонение между этими двумя методами незначительное. Тем не менее, решение задачи аналитическим методом значительно быстрее и проще, если речь идет не о сложной геометрии, с которой легко справляется программа ANSYS.

Литература

1. ГОСТ 31443-2012 Трубы стальные для промышленных трубопроводов. Технические условия.
2. ГОСТ 32569-2013 Межгосударственный стандарт. Трубопроводы технологические стальные.
3. Савкин А. Н. и др. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов конструкций. – 2019.