

УДК 621.643, 621.512

Анализ и моделирование жесткости опор трубопроводов при проектировании трубопроводной обвязки установок с поршневыми компрессорами в целях снижения уровня вибраций

Цветков Александр Аркадьевич^(*)

alexander.tsvetkov.87@gmail.com

ТОО «Силлено», Атырау, Республика Казахстан

Аннотация. В работе рассмотрена проблема контроля пульсаций и вибраций в поршневых компрессорах и их трубопроводных системах. Неустановившийся поток, создаваемый машинами объемного действия, порождает акустические волны, взаимодействующие с трубопроводами и опорными конструкциями. Эти возбуждения могут вызывать значительные силы акустических пульсаций (*shaking forces*), чрезмерные вибрации и преждевременные механические повреждения. Стандарт API 618 предписывает систематическую методологию проектирования (Подход 3) для проверки механических собственных частот и допустимых сил пульсаций. Ключевым фактором в этом процессе является точное определение жесткости опор трубопроводов, которая существенно влияет на собственные частоты, уровни напряжений и нагрузки на патрубки. Отсутствие стандартизированных данных по жесткости приводит к неправильным допущениям в проектировании, дорогостоящим доработкам и конструктивным отказам. В работе предлагается разработка инженерных моделей жесткости для наиболее часто применяемых типов опор, что позволит создать универсальный метод расчета жесткости и повысить точность исследований по контролю пульсаций обвязки поршневых компрессорных установок.

Ключевые слова: поршневой компрессор, пульсации, вибрации, API 618, жесткость опор трубопроводов, трубопроводная система, метод конечных элементов, акустическое моделирование

Введение. Поршневые компрессоры широко используются в нефтяной, газовой и нефтехимической промышленности благодаря их способности работать при высоких давлениях и переменных условиях эксплуатации. Однако принцип объемного вытеснения приводит к неустойчивому течению среды. Возникающие пульсации могут возбуждать акустические и механические резонансы в трубопроводных системах, вызывая значительные вибрации [1, 2].

Безопасная эксплуатация поршневых компрессоров зависит в большой степени от уровня вибраций компрессора и его обвязки. Стандарт API 618 требует проведения акустического моделирования, анализа собственных частот и оценки сил пульсаций. Одним из наиболее чувствительных параметров в этих исследованиях является жесткость системы опор трубопровода. К сожалению, в отрасли отсутствуют стандартизированные методы и справочные данные для оценки жесткости, что приводит к частым несоответствиям в проектировании.

Постановка задачи. При проектировании обвязки поршневой компрессорной установки в целях снижения вибраций Подход 3 по API 618 требует:

1) определения механических собственных частот трубопроводной системы и отстройки их от частот возбуждения.

2) сравнения максимально допустимых сил акустических пульсаций (shaking forces) с рассчитанными по результатам акустического моделирования.

Оба требования зависят от точного определения жесткости опор трубопровода, которая напрямую влияет на собственные частоты, допустимые силы пульсаций, расчеты гибкости и прогнозирование нагрузок на патрубки. Жесткость системы опор определяется двумя факторами: собственной жесткостью опоры и жесткостью конструктивного элемента основания (фундамента, балки, рамы) [3].

На сегодняшний день в отрасли отсутствуют опубликованные значения жесткости для основных типов опор, а также отсутствуют практически применимые инженерные методики для их определения. Это приводит к ошибкам при проектировании:

- завышенным собственным частотам по сравнению с реальными, что приводит к увеличению величины вибрации;
- ненужным температурным компенсаторам;
- демонтажу опор для обеспечения температурных расширений, что приводит к увеличению уровня вибраций.

Предлагаемые решения. Для решения указанных проблем предлагается разработка инженерных моделей жесткости для наиболее распространенных типов опор. Эти модели должны учитывать:

- типы хомутов (стандартный хомут, хомут с тарельчатыми пружинами, хомуты с овальными отверстиями);
- опорные конструкции (бетонный пьедестал, металлическая рама).

Для моделирования реальной геометрии хомутов и опор в условиях эксплуатации следует применять метод конечных элементов (МКЭ). Результаты можно стандартизировать в виде набора коэффициентов жесткости или диаграмм, которые будут использоваться в исследованиях вибраций.

Универсальная методика расчета жесткости позволит:

- повысить точность прогнозирования собственных частот трубопроводов;
- обеспечить достоверную оценку сил акустических пульсаций;
- эффективнее интегрировать данные с расчетами трубопроводов на жесткость и самокомпенсацию;
- разработать и предложить ряд стандартных конструкций опор для использования в проектировании обвязки поршневых компрессорных установок.

Заключение. Контроль пульсаций и вибраций в системах поршневых компрессоров является ключевым фактором для обеспечения их надежности и безопасности в долгосрочной перспективе. Несмотря на то, что методы акустического анализа достаточно развиты, слабым местом остается точное моделирование жесткости опор трубопроводов. Предлагаемое решение — разработка стандартизированных инженерных моделей жесткости на основе МКЭ — обеспечивает универсальный метод устранения данного пробела.

Построение моделей и анализ жесткости существующих типов опор повысит точность расчетов пульсаций и вибраций и позволит разработать и предложить ряд стандартных конструкций опор для использования в проектировании обвязки поршневых компрессорных установок, что увеличит эффективность и скорость проектирования.

Список источников

- [1] Видякин В.А., Кондратьева Т.Ф., Петрова Ф.П., Платонов А.Г. *Колебания и вибрации в поршневых компрессорах*. Ленинград, Машиностроение, 1972, 224 с.
- [2] API Std 618–2007. *Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services*. December 2007.
- [3] API RP 688: 2012. *Pulsation and Vibration Control for Positive Displacement Machinery Systems for Petroleum, Chemical, and Natural Gas Industry Services*. April 2012.
- [4] Френкель М.И. *Поршневые компрессоры: теория, конструкции и основы проектирования*. Ленинград, Машиностроение. (Ленингр. отд-ние), 1969, 743 с.