

СВЕРХНОРМАТИВНАЯ ВИБРАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ – ПРОБЛЕМЫ КРОЮТСЯ В ДЕТАЛЯХ

Яцких Г. С., к. т. н., директор по развитию АО «ИПН», yaitskich@truboprovod.ru, Мельников Ю. А., ГИП АО «ИПН», melnikov@truboprovod.ru, Краснов А. В., зам. главного технолога АО «ИПН», krasnov@truboprovod.ru, Шакимов С. Л., начальник отдела АО «ИПН», Shakimov@truboprovod.ru

Миллионы трубопроводов используются для перемещения газов и жидкостей во всех отраслях промышленности, энергетики и жилищно-коммунальном хозяйстве. Нередко работа трубопроводов сопровождается сверхнормативной вибрацией, которая, в свою очередь, приводит к нештатным и аварийным ситуациям.

Специалистами АО «ИПН» за последние 20 лет выполнено около 500 работ по устранению ошибок монтажного проектирования трубопроводов, допущенных рядом инжиниринговых организаций России и ближнего зарубежья. Опубликовано немало статей на эту тему в различных журналах, однако поток обращений в адрес АО «ИПН» по поводу устранения сверхнормативных вибраций (СНВ) и деформаций трубопроводов в последнее время только увеличивается.

Одним из наиболее проблемных трубопроводов в нефтепереработке является трансферный трубопровод, по которому нагретое в печи сырье (нефть, мазут, средние дистилляты и др.) в виде двухфазного потока подается в ректификационную колонну (атмосферную или вакуумную). К сожалению, очень часто проектирование таких трубопроводов производится с многочисленными, часто повторяющимися ошибками и, как следствие, в процессе эксплуатации наблюдается СНВ. На рис. 1 представлен один из трансферных трубопроводов, работающих в режиме СНВ.

Основной недостаток такого проекта трубопровода – сравнительно большое расстояние от печи до ректификационной колонны – несколько десятков метров. При этом трубопровод имеет многочисленные повороты, иногда огибая технологическое оборудование (и даже площадки обслуживания) по пути от печи до колонны. Это объясняется тем, что нередко неопытные проектировщики сначала размещают оборудование на площадке, а потом начинают обвязывать его трубопроводами без учета того, какие среды перемещаются по ним.

Необходимо учитывать, что двухфазные парожидкостные течения существенно отличаются от любого однофазного течения (жидкости или газа). Наличие двух фаз приводит к возможности существования потока с различными структурами или режимами течения. Существует большое число режимов течения двухфазных потоков, которые зависят от соотношения массовых расходов фаз,



Рисунок 1 – Длинный и извилистый трансферный трубопровод, работающий в режиме СНВ



Рисунок 2 – Короткий трансферный трубопровод с минимальным количеством плавных поворотов – оптимальная конфигурация

плотности, вязкости фаз, коэффициента поверхностного натяжения. Применительно к трансферным трубопроводам основными режимами течения являются расслоенные (расслоенный гладкий и расслоенный волнистый), прерывистые (снарядный и пробковый), кольцевой и дисперснокольцевой. Каждый режим имеет характерные черты в распределении жидкой и паровой фаз, которые позволяют отличить данный режим от других типов. От структуры потока зависит стабильность течения парожидкостной смеси в трубопроводе. Нестабильные режимы течения сопровождаются пульсацией давления и расхода, повышенной вибрацией транспортирующего трубопровода и гидравлическими ударами. Поэтому очень важно ясно представлять себе, какой именно режим течения реализуется в тех или иных условиях, и

насколько этот режим будет приемлем для проектируемой трубопроводной системы.

Основными причинами возбуждения вибрации в трубопроводе являются:

- снарядный режим течения;
- вихреобразование после прохождения местных сопротивлений;
- критический режим истечения.

Необходимо отметить, что при большой длине трубопровода могут наблюдаться существенные изменения соотношения паровой и жидкой фазы по ходу движения потока, что также влияет на уровень СНВ.

Правильный подход к порядку проектирования технологического объекта: сначала по технологической схеме установки нужно определить потенциально «проблемные» трубопроводы с двухфазными потоками, а потом при разработке компоновки технологической установки целесообразно располагать печь и колонну (в частности, на установках ЭЛОУ-АВТ, ЭЛОУ-АТ) на минимально возможном расстоянии с минимальным количеством поворотов. В случае необходимости поворотов трубопровода, использовать гнутые отводы с достаточным радиусом кривизны, обеспечивающим минимальную вибрацию – рис. 2.

Другой часто встречающийся недостаток конструкции трансферных трубопроводов (в частности, на установках ЭЛОУ-АТ и ЭЛОУ-АВТ) – на входе в ректификационную колонну некоторые проектировщики устанавливают запорную арматуру и обратный клапан (рис. 3), которые чаще всего также провоцируют СНВ. Эти проектировщики превратно толкуют требования п. 69 ФНИП «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением», утвержденные Приказом Ростехнадзора № 536 от 15.12.2020 года.

В результате запорная арматура и обратный клапан увеличивают скорость потока и гидравлическое сопротивление. Обратный клапан дополнительно вызывает пульсацию потока и вибрацию трубопровода благодаря своей конструктивной особенности – наличию подвижного запорного элемента с пружиной. Если досконально разобраться с требованиями вышеуказанной нормативно-технической документации, то: «...При последовательном соединении нескольких сосудов необходимость или отсутствие необходимости установки арматуры между ними определяется проектной документацией;

- Количество, тип применяемой арматуры и места ее установки должны соответствовать проектной документации исходя из конкретных особенностей технологического процесса и условий эксплуатации сосуда...».

Таким образом, с целью минимизации СНВ на входе в ректификационную колонну целесообразно не устанавливать ни обратный клапан, ни запорную арматуру (рис. 4), тем более, что практической необходимости при эксплуатации установки в них нет.

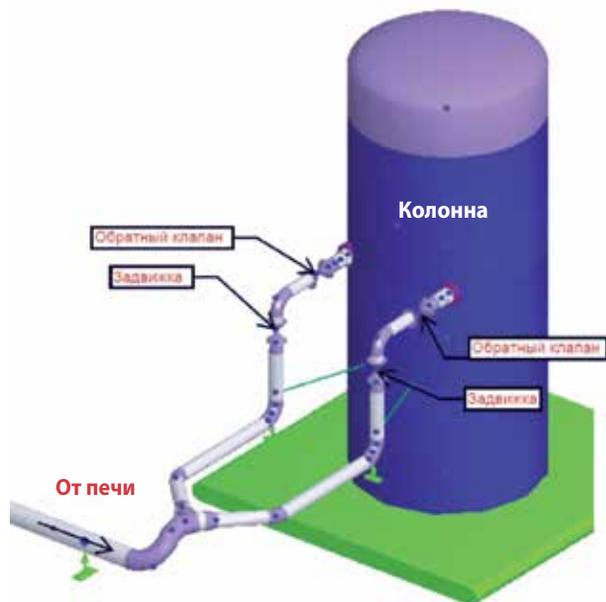


Рисунок 3 – Трансферный трубопровод с запорной арматурой и обратным клапаном

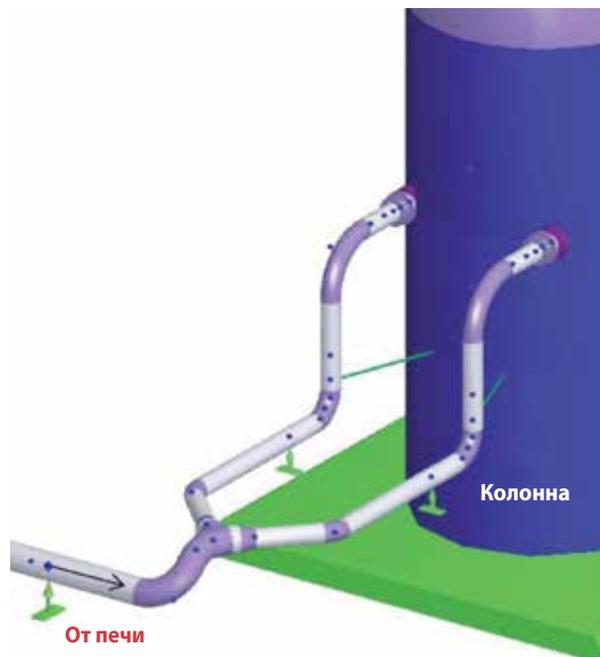


Рисунок 4 – Трансферный трубопровод с минимальной вибрацией

Кроме того, наличие фланцевых соединений запорной арматуры и обратного клапана в условиях вибрации и высоких температур может привести к их разгерметизации и аварии на технологической установке.

Еще одной ошибкой некоторых проектировщиков является использование подвесных пружинных опор для трубопроводов с двухфазными потоками. Для данного типа трубопроводов необходимо по возможности использовать более жесткое их закрепление, а установка пружинных подвесных опор может привести к усилению уровня вибрации трубопровода.

Подбор того или иного типа крепления трансферных трубопроводов является достаточно сложным, так как необходимо найти компромисс между жестким закреплением трубопровода для снижения уровня его вибрации и возможностью его движения для компенсации линейных расширений. При жестком закреплении трубопровода по всей длине условия обеспечения его прочности могут не выполняться. Кроме того, как правило, увеличиваются нагрузки на штуцеры колонны выше допустимых значений. Поэтому при расстановке различного типа опор на каждом конкретном трубопроводе необходимо учитывать не только необходимую жесткость крепления отдельных его участков для снижения вибрации, но и возможность самокомпенсации линейных расширений трубопровода в целом с целью выполнения условий прочности и в то же время соблюдения значений допускаемых нагрузок на штуцеры колонны.

Описанные выше ошибки проектирования трубопроводов многократно исправлялись специалистами АО «ИПН». Цена этих ошибок для заводов – потери сотни миллионов рублей в каждом случае: аварийные остановки технологических установок, задержка на несколько месяцев пуска новых производств и т. д.

Целесообразно при проведении тендерных процедур на разработку любой проектной документации обращать внимание в том числе и на компетенции потенциального подрядчика в области грамотного проектирования трубопроводов, особенно с двухфазными потоками. Зачастую, сэкономив в процессе тендерных процедур, выбирая более дешевого проектировщика, несколько десятков миллионов рублей, завод позднее теряет сотни миллионов рублей при пуске и эксплуатации технологических установок.