

КОНСТРУКЦИОННОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ

УДК 539.433:621.643.4

В. А. БОРИСОВ, Н. Д. ВОЙТЕХ, Е. А. ПАНИН

НАДЕЖНОСТЬ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВИБРАЦИИ

Вибрации трубопроводов являются одним из основных факторов, вызывающих повреждения различных гидрогазовых систем. Возникающие при этом дефекты, как правило, связаны с усталостными поломками трубопроводов или с потерей герметичности соединений. При этом для трубопроводов малого диаметра большую часть дефектов составляют усталостные поломки. С увеличением диаметра трубопроводов растет доля дефектов, связанных с потерей герметичности соединений [1].

Распространенности усталостных поломок трубопроводов посвящено много работ. В то же время вопросу потери герметичности соединений до сих пор уделяется мало внимания. В какой-то степени объяснить это можно методической сложностью исследования герметичности соединений при вибрации трубопровода. Поэтому и в описанном ниже эксперименте было введено ряд упрощений. Первое упрощение состояло в том, что исследовалась герметичность только фланцевого соединения малого диаметра, в котором легко контролировать стягивающее усилие и достаточно просто наладить измерение утечки рабочей среды. Другое упрощение было в том, что переменная сила действовала только в осевом направлении. В действительности вибрации трубопроводов обычно представляют собой изгибные колебания, при которых на соединение действует переменный изгибающий момент.

Схема установки показана на рис. 1. Основная часть установки представляла собой имитатор фланцевого соединения с

проходным диаметром 17 мм. В качестве уплотнительного элемента использовалась плоская медная прокладка толщиной 1 мм. Нижний фланец имитатора крепился на столе электродинамического вибратора. Для получения необходимых динамических нагрузок к верхнему фланцу прикреплялась специально подобранная масса. Внутри соединения подводился воздух под давлением $p = 6 \text{ Мн/м}^2$ или вода $p = 20 \text{ Мн/м}^2$.

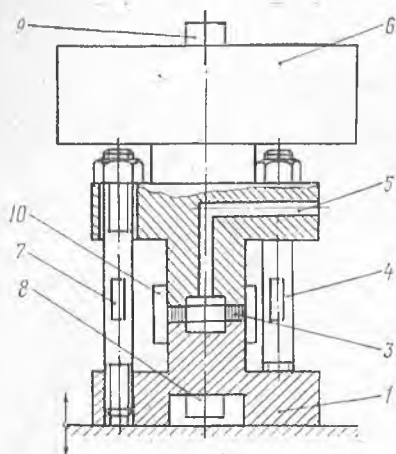


Рис. 1. Схема установки для вибрационных испытаний соединений трубопроводов:

1 и 2 — верхний и нижний фланцы имитатора; 3 — прокладка; 4 — шпильки; 5 — канал для подвода испытательной среды; 6 — инерционная масса; 7 — тензодатчики; 8 и 9 — нижний и верхний датчики виброперегрузки; 10 — датчик замера утечек

лический хомут, охватывающий соединение около прокладки. Под хомут подкладывалась полоска сухой фильтровальной бумаги, так что он был электрически изолирован от деталей соединения. Если вода проникала через уплотнение и впитывалась в бумагу, то изменялось электрическое сопротивление датчика. Измерение величины электрического сопротивления цепи хомут—соединение производилось с помощью специально созданного прибора и позволяло определять утечку воды с высокой точностью.

Известно, что под действием динамической нагрузки проис-

Производились измерения усилия в шпильках, величины утечки испытательной среды, частоты колебаний и значений виброперегрузок нижнего и верхнего фланцев имитатора. Для измерения утечек воздуха использовалась система, состоящая из коллектора, охватывающего уплотнительные разъемы соединения, гибких трубок, электрического датчика давления и дренажного клапана. Перед замером утечки давление в коллекторе при помощи клапана выравнивалось с атмосферным. Одновременно с закрытием клапана начинался отсчет времени, который продолжался до повышения давления в системе на $0,1 \text{ Мн/м}^2$. Полученные данные использовались для расчета величины утечки.

Для измерения утечек воды был разработан датчик, который представлял собой метал-

ходит снижение начального усилия затяжки резьбовых соединений. На рассмотренной установке исследовался этот процесс и его влияние на изменение утечки воздуха через соединение. Испытания проводились при постоянном режиме максимальных динамических нагрузок. При этом виброперегрузка на нижнем фланце составляла 50 g, а частота колебаний устанавливалась равной собственной частоте имитатора (за собственную частоту имитатора принималась частота, при которой отношение виброперегрузки верхнего фланца к виброперегрузке нижнего фланца было максимальным). Для измерения усилия затяжки шпидек через равные промежутки времени производилось выключение вибростенда. Одновременно с усилием затяжки измерялась и величина утечки испытательной среды. Испытания продолжались до тех пор, пока величина усилия затяжки и утечки не переставала заметно изменяться. Обычно стабилизация этих характеристик происходила в течение первых 30 мин.

Результаты экспериментов показаны в виде графиков на рис. 2, из которых видно, что снижение усилия затяжки достигало 15% от начальной величины. Однако величина утечки воздуха при этом снижалась. Это объясняется, по-видимому, тем, что при динамическом нагружении происходит дополнительная пластическая деформация микронеровностей на уплотнительных поверхностях и сближение этих поверхностей.

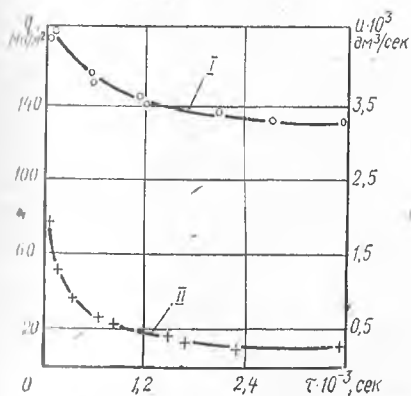


Рис. 2. Зависимость контактного давления на прокладке (кривая I) и утечки воздуха (кривая II) от времени испытания при вибрациях. Давление воздуха $p = 4$ Мн/м², перегрузка нижнего фланца 50 g, верхнего 100 g

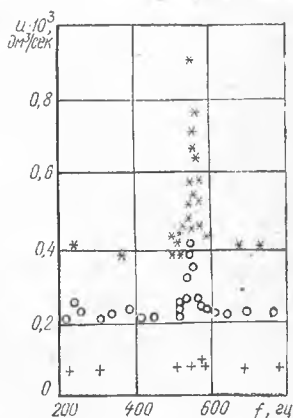


Рис. 3. Зависимость утечки воздуха от частоты возбуждения имитатора: + — $p = 2$ Мн/м²; o — $p = 4$ Мн/м²; * — $p = 6$ Мн/м²

Для проверки этого явления были сняты статические зависимости величины утечки воздуха от контактного давления на уплотнительных поверхностях для новой прокладки до и после испытания на вибростенде в течение 30 мин (вибростабилизация). При этом было установлено, что после вибростабилизации утечки воздуха существенно меньше.

Необходимо отметить, что снижение утечки воздуха было получено при осевых колебаниях соединения и ограниченном времени испытаний. Поперечные колебания трубопроводов вызывают деформацию сдвига в плоскости соединения. В этом случае снижения утечки может и не быть. По-видимому, при осевых колебаниях соединения и достаточно большом времени испытания снижения утечек также может не наблюдаться.

Исследование влияния частоты колебаний возбуждающей силы на величину утечки проводилось на стабилизированном соединении. Во время опыта на нижнем фланце имитатора поддерживалась постоянная виброперегрузка независимо от частоты возбуждения. Результаты эксперимента, когда испытательной средой являлся воздух, показаны на рис. 3. Как видно из рисунка, при определенной частоте возбуждения величина утечки резко возрастала. Эта частота близка к собственной частоте колебаний фланцев относительно друг друга. Особенно было заметно возрастание утечек при резонансном возбуждении и высоком давлении. Аналогичные результаты были получены при эксперименте, в котором в качестве испытательной среды использовалась вода.

Для предотвращения возникновения утечек и для уменьшения падения усилия затяжки соединений при вибрационных нагрузках необходимо уменьшать амплитуды переменных сил. При прочих равных условиях этого можно достигнуть уменьшением амплитуды колебаний трубопроводов. Поэтому демпфирование, применяемое для снижения в трубопроводах переменных напряжений, является также средством обеспечения надежной герметичности соединений.

В связи с этим было проведено исследование и разработка эффективных средств демпфирования трубопроводов.

В системах трубопроводов применяют точечное и распределенное демпфирование. Точечное демпфирование реализуется постановкой специальных подвесных демпферов или упруго-демпфирующих опор. Было выяснено, что упруго-демпфирующие опоры применять предпочтительнее, так как они эффективно гасят колебания, одновременно являясь элементами, воспринимающими все виды нагрузок. Распределенное демпфирование с помощью вибропоглощающих покрытий можно

применять в сложных системах, если нет возможности использовать другие средства.

Цельнометаллические упруго-демпфирующие опоры, разработанные при нашем участии и применяемые в промышленности, представляют собой упругий элемент в виде прокладки из эластичного материала МР [2]. Прокладка помещена в штампованный корпус и приварена к нему точечной электросваркой.

С целью повышения упруго-демпфирующих свойств и выносливости она имеет направленное расположение витков спирали.

Были также разработаны многослойные пластинчатые упруго-демпфирующие опоры. Максимальное значение коэффициента поглощения достигается в них при полном расслоении пакета пластины.

Коэффициент поглощения всех разработанных опор достигает величины 3,5—4. По этому параметру они превосходят в 3—4 раза опоры с резиновыми прокладками. Металлические опоры могут использоваться в широком диапазоне температуры (максимальная допустимая температура 500°C).

Как показал опыт, применение разработанных опор позволяет снизить число неисправностей трубопроводных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров А. А., Сапожников В. М. Трубопроводы и соединения для гидросистем. М., «Машиностроение», 1967.
2. Сойфер А. М. и др. Материал МР. Авт. свид. № 183174, 1966.

УДК 621.165.—226.2.001.2

К. Н. БОРИШАНСКИЙ

ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ТУРБИН ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ СОЕДИНЯЮЩИХ ЛОПАТКИ СВЯЗЕЙ

В практике стационарного турбостроения значительное распространение получили различные по конструкции связи (рис. 1), соединяющие все лопатки ступени в единый замкнутый на круг пакет. Для конструкций, изображенных на рис. 1, соединение