



Так выглядит химический завод ночью.

Измерение вибрации регулирующих клапанов

Herbert L. Miller, Sekhar Samy, Control Components Inc.

Данные, полученные в ходе измерений вибрации арматуры, помогают установить ее первопричины. При этом важно, чтобы был получен частотный спектр, желательно как функция скорости колебаний. Не менее важны условия эксплуатации арматуры. В статье рассказано также о том, как следует располагать акселерометры (вибродатчики), чтобы получить наилучшие результаты измерений. Частотная характеристика зачастую отсутствует в эксплуатационных данных, поскольку метрологи наиболее опытни в измерении вибрации динамического оборудования, где информацию о характерных частотах всегда можно получить, зная скорость вращения.

Об авторах

Herbert Miller – технический консультант компании IMI-CCI.

(IMI-CCI – крупнейший производитель регулирующей арматуры для тяжелых условий эксплуатации.) Имеет богатый опыт в разработке и конструировании регулирующей арматуры для нужд энергетики и нефтегазовой промышленности.

До выхода на пенсию занимал пост вице-президента IMI-CCI и отвечал за разработку, проектирование и изготовление арматуры.

Принимал активное участие в работе технических комитетов по разработке стандартов для атомной промышленности и в области регулирующей арматуры.

Имеет степень бакалавра Северного университета Огайо и магистра инженера-механика Северо-западного университета. Является автором более 70 публикаций, посвященных проблемам тепломассопереноса, преимущественно в регулирующей арматуре.

Им сделано множество презентаций на эту тему по всему миру.

Его адрес: herb.miller@imi-critical.com.



Sekhar Samy – старший менеджер отдела проектирования IMI-CCI

в Ранчо Санта Маргарита, Калифорния, США. Получил степень магистра физика-механика Университета Огайо, имеет 26-летний опыт работы в арматуростроении, в частности, в производстве регулирующей арматуры, занимался ее разработкой и конструированием.

Sekhar Samy опубликовал более 18 работ и докладов по вопросам арматуростроения.

Его электронный адрес: sekhar.samy@imi-critical.com.



Вступление

Все действующие трубопроводы электростанций и промышленных предприятий вибрируют под действием сил, возникающих в связи с движением среды. Обычно эти колебания столь незначительны, что даже не ощущаются. Однако в некоторых случаях они заметны и могут негативно сказаться при длительной эксплуатации. Если же колебания окажутся слишком сильными, возникнет вероятность отказа оборудования и/или угроза безопасности персонала. Оборудование может выйти из строя, и причиной тому будет вибрация.

Чтобы предотвратить подобное развитие событий, прежде всего, необходимо определить уровень вибрации путем ее замера. Если стоит задача показать, что уровень вибрации представляет угрозу, достаточно выполнить одно измерение колебаний в любом месте, которое этот уровень выявит. Чтобы увидеть влияние сделанных изменений, измеряется уровень вибрации до и после них. Зачастую вибрация и вовсе не измеряется. А изменения сводятся к тому, что клапан просто переворачивают, чтобы поменять направление течения. Нередко при этом меняется характер возбуждения потока, проходящего через клапан, и этого бывает достаточно для устранения или уменьшения вибрации до минимума. Правда, так получается не всегда, и в некоторых случаях, прежде чем

что-то менять в системе, следует установить первопричину вибрации. Что же нужно знать и где должны выполняться замеры, чтобы получить информацию для анализа ситуации?

Обычная практика проведения измерений вибрации состоит в измерении смещения, скорости или ускорения без учета частотной характеристики. Это объясняется тем, что на промышленном предприятии большая часть проблем с вибрацией связана с высокоскоростным динамическим оборудованием, для которого характерные частоты можно определить с большой достоверностью, поскольку известны скорость вращения и, если речь о насосах, число лопастей на выходе.

Но для статического оборудования, например, для регулирующих клапанов, вопрос с вибрацией куда сложнее. Ее причина в этом случае может быть скрыта как в конструкции клапана, так и в параметрах всей трубопроводной системы. Влиять могут: длина трубопровода, колена, отводы, расширения и разветвления трубопровода, его диаметр, свойства опор, скорость звука в среде, вес деталей арматуры, конструкция узла затвора, жесткость привода и прочее. Важно собрать как можно больше информации, чтобы, проанализировав ее, обеспечить корректирующие действия или выбрать направление изменений. И самая важная часть информации – это частотный спектр. Вибрация возникает потому,

что собственная частота в системе совпадает с частотой силового воздействия со стороны движущейся среды, поэтому знать доминантные частоты собственных колебаний – это первоочередное требование. Ниже рассказано, как получить такую информацию и где лучше всего проводить измерения вибрации.

Частота

Анализ вибрации всегда начинается с информации о частотах, выявленных при ее измерении: высокие они или низкие, где лежат пики амплитуды, как они соотносятся с возможными частотами колебаний действующих нагрузок, а как – с собственными частотами оборудования в системе? Как правило, интерес представляет диапазон, наиболее полезный на практике – от 5 до 2000 Гц. Пример частотного спектра, полученного при измерении акселерометром вибрации штока, показан на **рис. 1**. Клапан базовой конструкции не получалось открыть более чем на 65% из-за угрозы вибрации. Пики мощности колебаний на частотах более 50 Гц обычно порождаются течением рабочей среды. В нашем случае, после того как затвор клапана был модифицирован, чтобы снизить скорость среды, текущей через него, спектр изменился так, как показано на нижнем (не закрашенном) графике на рисунке, с максимумом мощности на 9 Гц. Такая пиковая частота и низкая виброскорость характерны для обычной вибрации труб в тихой системе.

Вибрации труб на заводах обычно находят отражение в собственных частотах трубопроводной системы от 8 до 12 Гц. Некоторые жесткие системы могут иметь собственные частоты до 30 Гц, но это встречается редко. При частоте более 30 Гц трубы будут «звенеть» без видимых смещений. Частоты «звона» труб простираются до сотен герц и могут иметь амплитуду достаточную для того, чтобы породить различимый шум, доносящийся изнутри трубы. Документ [1] детально рассматривает вибрацию трубопроводов в рамках модели расчета шума, связанного с работой регулирующих клапанов. Документ [2] содержит в себе бурную дискуссию о вибрации трубопроводов.

Течение рабочей среды порождает широкий диапазон частот, здесь играют роль те участки системы, где имеет место потеря давления: регулирующие клапаны, стоячие волны, вихревые зоны, колена, тройники и отводы. Явления, происходящие в рабочей среде, такие как шум струи, гидравлический удар, вскипание и кавитация, тоже порождают широкий диапазон частот, которые могут совпасть с собственными частотами, вызвав разрушительную вибрацию. В документе [3] приведен краткий обзор таких явлений.



Рис. 1. Пример частотного спектра

Виброскорость

Самым важным инструментом измерения вибрации является скорость. После того как проведены те или иные измерения вибрации акселерометром, скорость выводится в результате анализа полученного сигнала. Есть проверенные программные модули, встроенные в оборудование, используемое для анализа данных акселерометрии, которые рассчитывают виброскорость и частотный спектр.

С помощью переносного измерительного инструмента тоже можно получать ту или иную информацию, но обычно только касаясь низких частот. Информация от измерений такого рода, в основном, используется для общей оценки уровня вибрации и как средство получения сравнительных данных для оценки влияния изменений в системе.

Значение виброскорости – это основной показатель, поскольку она оптимальна на широком диапазоне частот. Виброскорость – это еще и очень точный индикатор механического напряжения ([2], [4]). Из-за такой связи с напряжением в рамках установленной ASME процедуры технического обслуживания в атомной отрасли требуется детальный анализ напряжений в трубопроводной системе, если виброскорость превышает 12,5 мм/с. Столь низкая скорость установлена с большим запасом прочности, учитывая последствия возможного повреждения труб на атомной станции.

Измерение скорости оптимально для полного диапазона вибрации в том плане, что значения смещения наиболее показательны для низкочастотной вибрации, а ускорение более значимо для высокочастотной. Опыт работы с арматурой показывает, что именно измерения скорости дают наилучшую картину.

Дополнительная информация о смещениях и ускорениях может быть полезна, и ее связь с пиковой частотой точно так же существенна. При необходимости значения

смещения и ускорения могут быть достаточно адекватно оценены из данных о скорости.

Системная информация

Вибрация может быть примерно постоянной, либо меняться скачкообразно и/или непрерывно вместе с изменением параметров потока среды через клапан. Важно отдельно записать параметры потока для минимального расхода. Должно записываться положение затвора клапана. При анализе помогут также данные о температуре и давлении. Если параметры потока не известны напрямую, их нужно выразить косвенно исходя из положения затвора во время измерений и информации о системе в целом, сделав оценку давления и температуры из данных от оборудования, находящегося выше по течению среды. Важно знать расход, по которому можно определить скорость среды, что поможет, в свою очередь, определить влияние вихревых зон и динамических усилий, действующих на вибрирующие детали.

Точки измерений:

Предпочтительные места расположения вибродатчиков перечислены ниже и показаны на **рис. 2**. Количество точек измерений зависит от имеющегося количества измерительных приборов. Предложенный порядок может быть изменен в случае выявления специфической вибрации, тогда акселерометры должны располагаться так, чтобы замерять наблюдаемые перемещения.

Желательно выполнять замеры в каждой точке в трех взаимно перпендикулярных направлениях, но это потребует большого числа измерений, что может быть ограничено возможностями используемого оборудования.

1. Акселерометр устанавливается на шток клапана для измерения перемещения плунжера, будь то поступательное, если шток выдвигной, или вращательное, если

такова конструкция клапана. Из опыта известно, что смещение штока является наиболее важным параметром, так как по нему можно судить о гидродинамических силах внутри клапана, равно как и о вибрации клапана в целом. Стоячая волна в трубопроводе на выходе, завихрения потока в неожиданных местах, колена и другие области, где падает давление среды – все это можно обнаружить с помощью такого измерения. Частоты колебаний могут меняться от низких при наличии выраженных стоячих волн или двухфазного потока в трубопроводе до более высоких в большинстве остальных случаев. Низкие значения частот будут, как правило, соответствовать собственным частотам механического узла, образованного плунжером, штоком, поршнем привода, его пневматическими и механическими пружинами. Более высокие значения частот обычно связаны с сильной турбуленцией, вихревым движением среды, кавитацией и возмущениями двухфазного потока.

2. Акселерометр устанавливается на фланец или конец под приварку выходного патрубка в направлении максимального смещения. Или же предпочтительным будет измерить вибрацию в направлении, перпендикулярном оси трубопровода, что позволит определить смещение трубы. Если клапан жестко не закреплен, то приоритетным становится вертикальное направление. Выходной сигнал акселерометра будет показывать уровень кавитации жидкости в зависимости от перепада давления в клапане. На графике такого сигнала имеются четко выраженные контрольные точки, указывающие на начальную, развитую кавитацию или задросселированный поток в обычных плунжерных или клеточных клапанах. Для клеточных клапанов с малым размером отверстий и для клапанов с многоступенчатым снижением давления контрольные точки выражены хуже, а для лабиринтных клапанов кривая становится почти пологой [5]. Примеры конфигураций проточной части лабиринтных клапанов приведены на **рис. 3**.

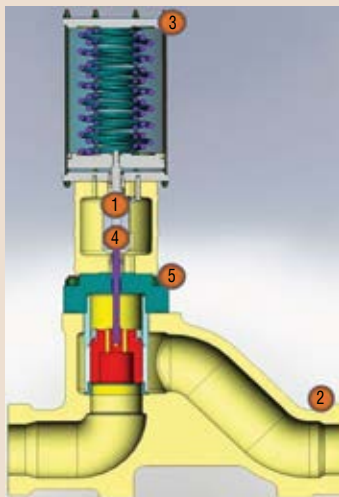


Рис. 2. Места установки акселерометров

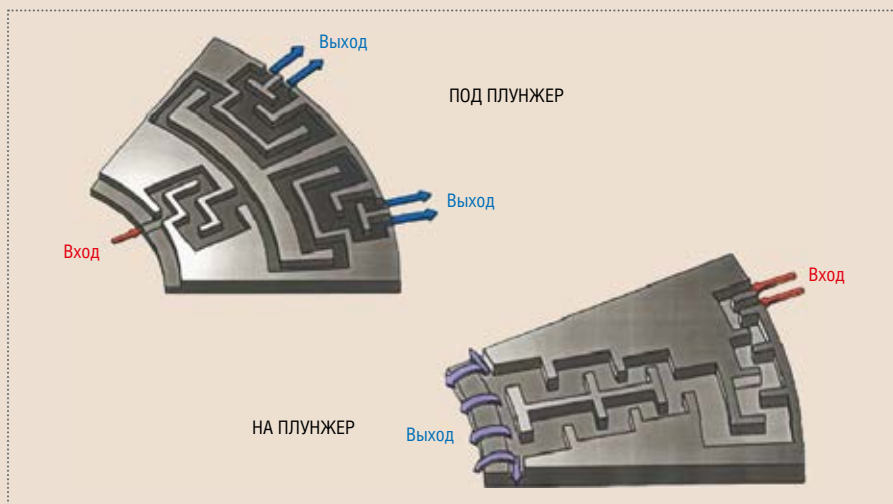


Рис. 3. Примеры лабиринтных затворов



**НЕ ПРОПУСТИТЕ ОЧЕРЕДНОЙ ВЫПУСК VALVE WORLD ЖУРНАЛА!
ГЛОБАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АРМАТУРЫ И
ПРИВОДОВ, ДЛЯ ПОСТАВЩИКОВ И ПРОЕКТИРОВЩИКОВ**

Имя: _____ Фамилия: _____
 Компания: _____
 Должность: _____
 Адрес: _____
 Код города: _____ Город: _____
 Страна: _____
 Телефон: _____ Телефакс: _____
 Е-майл: _____

Пожалуйста, подпишите меня на Valve World журнал (на английском) на:
 1 год (259 Euro) 2 года (453 Euro) 3 года (599 Euro)

* Пожалуйста, отправьте заполненный бланк по факсу: +49 2821 7114569 или е-майл: i.gast@kci-world.com

Для получения дополнительной информации, пожалуйста, свяжитесь с Ириной Гаст, тел. +49 2821 7114541
 Е-майл: i.gast@kci-world.com или посетите нашу веб-страницу: WWW.VALVE-WORLD.NET

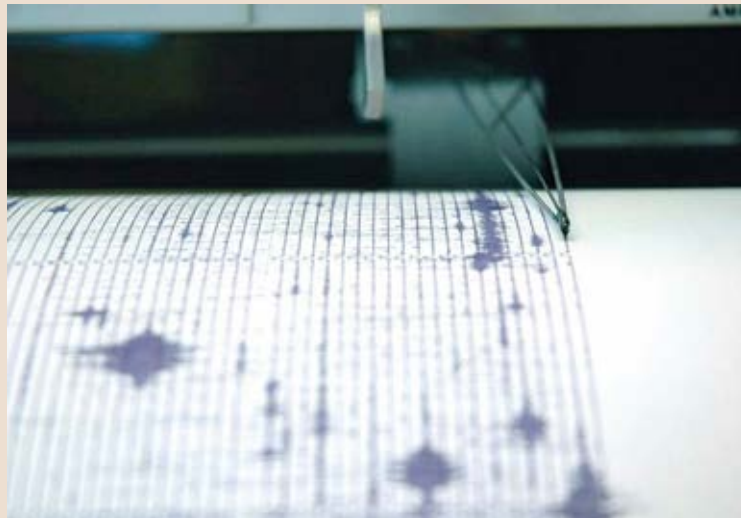
Такие измерения могут также указывать на наличие шума, генерируемого внутри клапана, в тех случаях, когда частота намного выше собственной частоты трубопроводной системы.

3. Для измерения основного смещения акселерометр устанавливается на привод как можно дальше от трубопровода. Как правило, это горизонтальное смещение в направлении, перпендикулярном оси трубопровода. Такое горизонтальное смещение будет проявляться в стремлении повернуть клапан вокруг осевой линии трубопровода. На вибрацию в данной точке влияет конструкция бугеля, таким образом, может возникнуть вращательное движение, обусловленное неравномерностью затяжки и жесткостью крепежа.

Измерения вибрации на приводе полезны при выявлении эффекта от изменения конструкции, поскольку в этой точке колебания выражены сильнее благодаря удаленности от центра тяжести клапана и трубы. Для корректного сравнения результатов до и после каких-либо изменений конструкции при обоих замерах расстояние до центра трубопровода должно быть одинаковым. Данное измерение не особо поможет в определении первопричин вибрации. При таком расположении акселерометра могут наблюдаться пики в спектре колебаний, отражающие обычно собственные частоты узла привода.

4. Установить второй акселерометр на шток клапана для измерения смещения, перпендикулярного штоку. Таким образом можно получить данные о том, совершает ли плунжер маятниковые или нутационные колебания в пределах узла затвора.

5. Установить акселерометр на фланец крышки клапана в направлении максимального смещения. Акселерометр будет показывать вибрацию трубопровода. Ведь корпус клапана очень жестко связан с трубопроводом,



Механизмы вибрации статического оборудования, например, регулирующих клапанов, могут быть очень сложными.

и выходные данные будут отражать именно динамику колебаний трубы.

Заключение

При измерении вибрации, связанной с регулирующими клапанами, наиболее важно получить частотный спектр скоростей колебаний штока клапана. Сама по себе эта информация не обязательно приведет к выяснению первопричины вибрации, но даст реальную оценку ее причин. Существенна также информация о параметрах потока, при которых измеряется спектр. Колебания трубопроводной системы, учитывающие дросселирование потока, проходящего через регулирующий клапан и трубопровод, очень сложны. Множество переменных влияет на совпадение собственной частоты и частоты колебаний нагрузок, возникающих из-за возбуждения, порождаемого извилистым движением среды в системе. Такое совпадение почти случайно и обычно непредсказуемо на начальных стадиях конструирования из-за взаимодействия множества факторов, определяющих эти частоты.

➔ Список литературы :

1. IEC Standard 60534-8, Industrial – Process Control Valves, Part 8: Noise Considerations – Section 3: Prediction of Noise Generated by Aerodynamic Flow 2010, Section 4: Prediction of Noise Generated by Hydrodynamic flow (2015), International Electrotechnical Commission Technical Committee 65.
2. Price, S.M., Smith, D.R., "Sources and Remedies of High-Frequency Piping Vibration and Noise", 28th Turbomachinery Symposium, The Turbomachinery Laboratory, Texas A&M University, Houston, Sept. 1999.
3. Miller, H.L., "Vibration Causes and Correction in Control Valves", Eighth EPRI Valve Technology Symposium, August 14–16, 2001, Baltimore, Maryland.
4. Mikasinovic, M., "Vibration Acceptance Criteria of Circular Cylinder Shells", Pipeline Dynamics and Valves-1989, ASME PVP, 180, pp. 47–52.
5. Sarny, S., Miller, H.L., "Cavitation Testing of a Multi-path Multi-Stage Control Valve", 5th Valve World Conference & Expo, Maastricht, KCI Publishing B.V., Zutphen, The Netherlands, November 7–9, 2006.