ШИС для определения косинусной составляющей сигнала формируется аналогичным образом, за исключением того, формируемая последовательность ШИС Рсоставляется преобразованием от $\cos \omega t$.

Заключение

В данной работе приведена способ формирования ШИС, который может применяться в методе определения параметров гармонических составляющих сигнала на основе ШИМ. ШИС является одним из важных элементов данного метода. От него на прямую зависит погрешность измерения амплитуд и фаз гармоник. ШИС сформированный таким образом обладает наименьшим количеством старших гармоник в его спектре, что позволяет производить измерения с большей точностью[4].

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
2. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008 – 992 с. : ил. – Парал. тит. англ.
3. Аравенков А.А. Анализатор гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Ползуновский вестник. - 2015. - № 3. - С. 120-125.
4. Аравенков А.А. Исследование влияния спектра широтно-импульсного сигнала на погрешность определения амплитуды гармоник в анализаторе гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Научный вестник НГТУ. – 2017. - №. – С. 42-54.
5. Аравенков А.А. Анализатор гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Наука. Технологии. Инновации / Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 4-х частях. - 2012. - № 2. - С. 10-11.

Головина Н.Я., Востриков А.А., Пилипчук М.П.
Параметрические колебания гофрированных трубопроводов газотурбинных двигателей

*Тюменский индустриальный университет (ТИУ), филиал ТИУ в г. Сургуте
(Россия, Сургут)*

doi:10.18411/spc-22-01-2018-07

idsp: 000001:spc-22-01-2018-07

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос о вынужденных колебаниях гибких металлических трубопроводов (ГМТ) и сильфонных компенсаторов (СК), применяемых в газотурбинных двигателях. Указано на взаимное влияние колебаний различного вида.

Ключевые слова: сильфонный компенсатор, гибкий металлический трубопровод, колебания, параметрический резонанс.

Abstract

The article addressed the issue of forced vibrations of flexible metal pipework (FMP) and bellows (B) used in gas turbine engines. Indicated on the mutual influence of fluctuations of various kinds.

Keywords: bellows expansion joint, flexible metal pipe, vibrations, parametric resonance.

Гибкие металлические трубопроводы (ГМТ) и сильфонные компенсаторы (СК), применяемые в газотурбинных двигателях, также как и гладкостенные трубопроводы, подвержены всем видам колебаний (радиальным, поперечным, продольным, крутильным). Но конструктивные особенности ГМТ и СК влекут за собой особенности их динамического поведения.

Для гладкостенных трубопроводов вероятность появления колебаний связана с пульсацией давления жидкости, нагнетаемой в систему насосами. В ГМТ и СК

возникновение колебаний возможны и при отсутствии скачков давления рабочей жидкости. Незатухающие колебания генерируются в результате импульсных расширений и сжатий жидкости, обусловленных формой гофрированной поверхности гибкой вставки [2,3]. С учетом этой особенности, гибкие металлические трубопроводы и сильфонные компенсаторы могут рассматриваться как потенциально автоколебательные системы. Частота возбуждаемых колебаний f зависит от числа гофр компенсатора i и времени протекания элементарного объема жидкости через рукав t [1; 3]:

$$f = \frac{i}{t} \quad (1)$$

После того, как время было выражено через скорость течения жидкости и шаг гофрировки, получено выражение:

$$f = \frac{v}{h} \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что частота возбуждаемых колебаний прямо пропорциональна скорости течения жидкости (т.е. от ее расхода через данный диаметр трубопровода) и обратно пропорциональна шагу гофрировки.

Пульсационное воздействие давления жидкости на компенсатор дополнительно вызывает его колебания. Причем пульсация давления, в основном, оказывает влияние на поперечные колебания ГМТ.

При совпадении частоты возбуждаемых колебаний с собственной частотой ГМТ возникает параметрический резонанс приводящий к разрушению. Механизм возникновения параметрического резонанса исследован и обоснован в работе [4]. Там же показано, что наличие гибкой связи усугубляет возможность появления параметрического резонанса и потери динамической устойчивости от пульсации давления жидкости.

Параметрический резонанс может возникнуть и по другой причине. На рис. 1 представлен гибкий трубопровод в двух своих крайних положениях – при отклонении точки А в процессе поперечных колебаний от положения равновесия на величину $(+y)$ и $(-y)$. Вектор продольной силы T меняет свое направление от $(+\theta)$ до $(-\theta)$ в такт перемещениям точки А.

Рис. 1 Изменение модуля продольной силы

В крайних положениях системы величина продольной силы отличается от ее значения в положении равновесия, т.е. происходит пульсационное изменение модуля продольной силы. Это явление так же приводит к резонансному режиму колебаний. Таким образом пульсационное воздействие жидкости на ГМТ вызывает его поперечные

колебания. Возможно и обратное явление – появление пульсации жидкости от поперечных колебаний трубопровода, а это влечет за собой возникновение продольных колебаний. Влияние вибрации трубопровода на колебания жидкости рассмотрено в работе [2]. Установлено, что размах получаемых колебаний давления жидкости прямо пропорционален величине перегрузки, которую испытывает трубопровод.

Наряду с пульсационным источником колебаний от жидкости гибкие трубопроводы испытывают механическое возбуждение кинематического характера от вибрации изделия. Интенсивность этого возбуждения часто преобладает над другими источниками возмущений.

Сложности, возникающие при рассмотрении вопроса о вибрационной прочности СК и ГМТ связаны с тем, что имеется много факторов, влияющих на природу и характер колебаний. Кроме того, появление колебаний одного типа влечет за собой возникновение колебаний другого типа.

Таким образом колебания в самых сложных формах проявления являются постоянным сопутствующим фактором эксплуатации ГМТ и СК. В инженерной практике наиболее широко применяется два способа уменьшения динамических напряжений, возникающих при колебаниях.

Первый способ – уменьшение переменных напряжений отстройкой от резонансных режимов изменением жесткости, массы и т. д. При этом надежная работа ГМТ обеспечивается за счет отсутствия резонанса, т.е. несовпадения частот собственных колебаний ГМТ с частотой действия возмущающей силы. Реализация этого метода требует наряду с диагностированием возмущающих нагрузок, определения величин собственных частот исследуемых трубопроводов.

Второй способ – уменьшение динамических напряжений при резонансе за счет увеличения рассеяния энергии в конструкции при колебаниях. С этой целью в конструкции ГМТ и СК предусмотрено использование проволоочной оплетки, обладающей демпфирующими качествами.

С целью обеспечения вибропрочности ГМТ и СК следует сочетать оба способа. Дальнейшие исследования позволят увеличить ресурс гофрированных трубопроводов.

1. Гишваров А. С. Оптимизация надежности систем летательных аппаратов и двигателей. – Уфа: УГАТУ, 2003. – 138 с.
2. Итбаев В.К., Хусаинов Ф.С. Демпфирующие характеристики компенсаторов // Проектирование и производство гибких трубопроводов и сильфонов, Труды НИИД. – М., – 1994. – С. 116-122.
3. Крюков А.И., Гликин И.М., Фионин В.И. Гибкие металлические рукава. – М., 1990. – 204 с.
4. Романченко М.К. Исследование колебаний распределенных систем // Молодой ученый. – 2009. – № 10. – С. 19-23.

Ходько А.С., Крашенинник А.Ю., Юрковская Г.И.

Учебный робот для развития навыков конструирования, моделирования и программирования

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнёва
(Россия, Красноярск)*

doi:10.18411/spc-22-01-2018-08

idsp: 000001:spc-22-01-2018-08

Аннотация

В статье анализируется современное развитие робототехники, рассматривается развитие навыков конструирования, моделирования и программирования учебного робота.