

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ КОРИОЛИСОВОГО РАСХОДОМЕРА, ВЫЗВАННОГО УСЛОВИЯМИ ЕГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ

Яушев А.А., Тараненко П.А.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск

Ключевые слова: кориолисов расходомер, смещение нуля, диагностика, демпфирование.

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния на погрешность измерения массового расхода кориолисового расходомера жесткости его закрепления. Установлено, что в случае совпадения собственной частоты системы «кориолисов расходомер – трубопроводы» с частотой резонансных колебаний, на которой работает расходомер, наблюдается изменяющееся со временем недопустимое смещение нуля. Разработана методика диагностики смещения нуля кориолисового расходомера, вызванного условиями его закрепления. Методика основана на измерении и анализе декрементов колебаний на разных собственных формах расходомера.

Кориолисовы расходомеры являются одними из самых востребованных приборов в сфере коммерческого учета потребления нефти и газа [1]. Чувствительным элементом этих расходомеров являются трубки (рис. 1), по которым течет измеряемая среда. Под действием задающей катушки трубки совершают противофазные установившиеся вынужденные колебания на резонансной частоте (далее называемой «рабочей»), а массовый расход прямо пропорционален разности фаз между сигналами измерительных катушек.

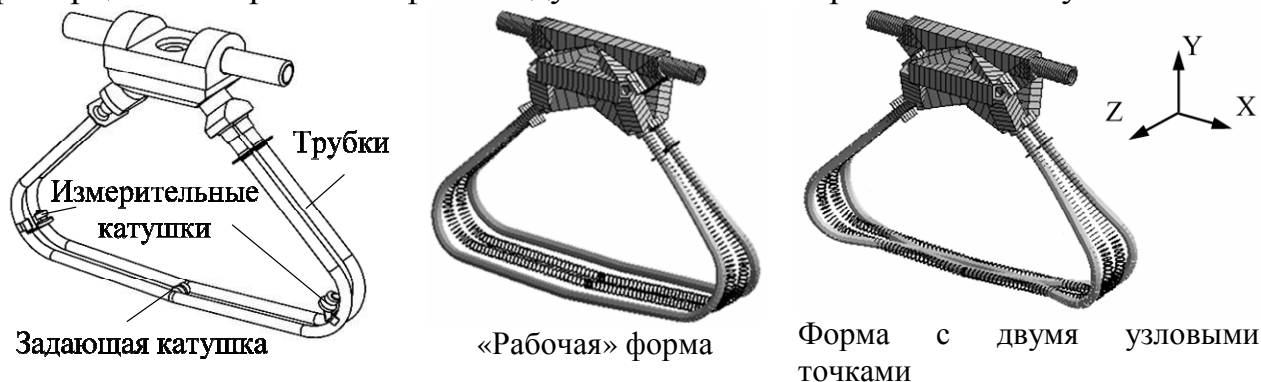


Рис. 1. Модель трубок расходомера и их собственные формы

Смещение нуля кориолисового расходомера – это величина разности фаз при нулевом расходе. В работах [2, 3] исследовано влияние на смещение нуля кориолисового расходомера неравномерного распределения по длине трубок массы, жесткости и демпфирования. Показано, что асимметричное демпфирование (составляющее 0,3% от демпфирования на «рабочей» форме) вызывает недопустимое смещение нуля. Аналогичный вывод получен в статьях [4-6].

В работе [7] авторами исследовано влияние граничных условий на смещение нуля кориолисового расходомера ДУ15 с двумя изогнутыми Δ -образными трубками. Для экспериментальных исследований использовалась оснастка, позволяющая варьировать жесткость трубопроводов, к которым

присоединен расходомер, за счет изменения их длин (рис. 2). Подачу текущей среды (воды) в исследуемый расходомер осуществляли с помощью проливочного стенда, состоящего из бака с водой, насоса с системой управления, эталонного и исследуемого расходомеров [7]. Жесткость закрепления эталонного расходомера постоянна, а у исследуемого варьировалась за счет изменения длин трубопроводов, к которым он присоединен. Зависимость разности показаний эталонного и исследуемого расходомеров от длины трубопроводов приведена на рис. 3. При трех длинах наблюдали резкое увеличение показаний исследуемого расходомера и неизменный массовый расход на эталонном. Максимальная относительная погрешность измерения на исследуемом расходомере оказалась в 30 раз больше допустимой (при расходе 2 тонны в час). Приведенная на рис. 2 кривая сохраняет свой вид и при нулевом расходе, поэтому сделан вывод о том, что причиной существенного увеличения разности показаний эталонного и исследуемого расходомеров является смещение нуля исследуемого кориолисового расходомера.

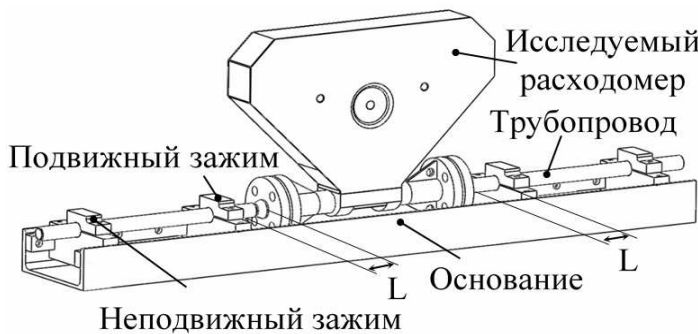


Рис. 2. «Система кориолисов расходомер – трубопроводы», закрепленная в оснастке для испытаний

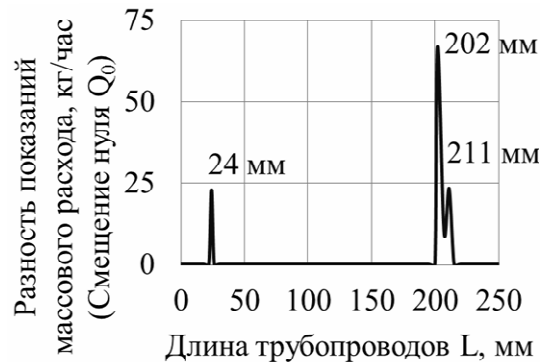


Рис. 3. Разность показаний эталонного и исследуемого расходомера

Экспериментальный модальный анализ системы «расходомер-трубопроводы» показал [7], что при трех длинах трубопровода, которым соответствовало резкое увеличение смещения нуля, в окрестности «рабочей» обнаружены собственные частоты системы «расходомер-трубопроводы». Таким образом, в случае сближения собственной частоты системы «расходомер – трубопровод» с «рабочей» наблюдалось недопустимое смещение нуля, которое может изменяться со временем.

Цель этой статьи заключается в разработке методики диагностики смещения нуля и, как следствие, увеличения погрешности измерения массового расхода, вызванной условиями закрепления кориолисового расходомера.

В статье [8] предложен метод диагностики смещения нуля кориолисового расходомера, вызванного условиями его закрепления, но он разработан для конструкции с одной прямой трубкой и требует установки дополнительных акселерометров. Предпочтительными являются методики диагностики технического состояния, не требующие изменения конструкции и добавления дополнительных датчиков.

В результате анализа исследований, опубликованных в статьях [3 – 6], установлено, что одним из основных факторов, влияющих на смещение нуля

кориолисового расходомера, является демпфирование. Мы провели серию экспериментов при нулевом массовом расходе по оценке декремента колебаний на «рабочей» форме в зависимости от длин трубопроводов. Установлено, что он не зависит от длины трубопроводов за исключением случаев, когда одна из собственных частот системы «расходомер-трубопроводы» близка к «рабочей». В этом случае декремент колебаний на «рабочей» форме возрастал примерно на 20% относительно номинального, что соответствовало смещению нуля 68 кг/час (рис. 4).

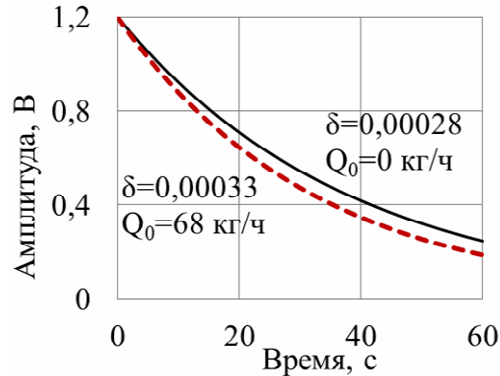


Рис. 4. Огибающие затухающих колебаний трубок на «рабочей» форме

Декремент затухающих колебаний трубок определяли по формуле

$$\delta = \frac{1}{j} \ln \frac{A_1}{A_j},$$

где j – количество периодов колебаний;

A_1 – амплитуда колебаний первого периода;

A_j – амплитуда колебаний j периода;

$$j = f_p \cdot t;$$

f_p – «рабочая» частота колебаний (94,1 Гц);

t – время измерений затухающих колебаний;

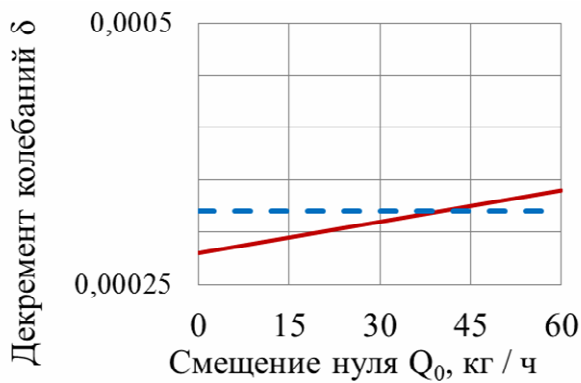
Q_0 (на графике) – смещение нуля.

Декремент колебаний на «рабочей» форме зависит от многих факторов, например, наличия пузырьков воздуха в жидкости (двухфазной среды). Поэтому измеряя только декремент колебаний на «рабочей» форме невозможно идентифицировать случай сближения одной из собственных частот системы «расходомер-трубопроводы» с «рабочей». С помощью задающей катушки кроме «рабочей» можно возбудить форму с двумя узлами (рис. 1).

Экспериментальная зависимость между декрементами колебаний на двух формах и смещением нуля, вызванным условиями закрепления расходомера, приведена на рис. 5. Из ее анализа следует, что декремент колебаний на «рабочей» форме возрастает вместе с увеличением смещения нуля, а на форме с двумя узлами – не изменяется, т.к. соответствующая этой форме частота в 4 раза больше «рабочей».

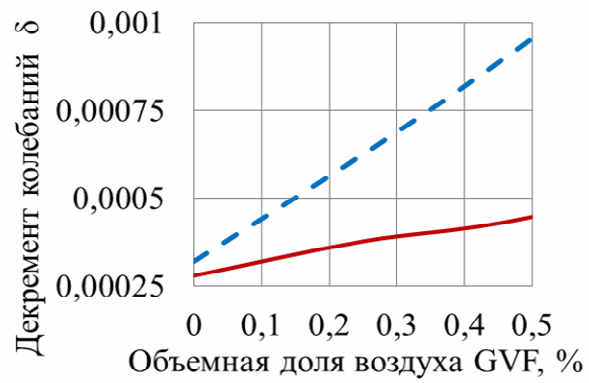
Экспериментальная зависимость декремента колебаний от объемной доли воздуха в газо-жидкостной смеси (GVF) при постоянном массовом расходе (2 тонны в час) приведена на рис. 6. С увеличением объемной доли воздуха декремент колебаний возрастает на обеих формах.

Таким образом, в качестве диагностического критерия смещения нуля кориолисового расходомера, вызванного условиями его закрепления, предлагается оценивать декременты колебаний на двух формах. Одновременное увеличение декрементов на «рабочей» и форме с двумя узловыми точками не связано с условиями закрепления расходомера. Увеличение декремента только на «рабочей» форме свидетельствует о сближении с «рабочей» частотой собственных частот системы «кориолисов расходомер – трубопроводы» и увеличении смещения нуля. В этом случае необходимо изменить жесткость закрепления расходомера.



— «Рабочая» форма
 - - Форма с двумя узловыми точками

Рис. 5. Зависимость между декрементами колебаний и смещением нуля, вызванным условиями закрепления расходомера



— «Рабочая» форма
 - - Форма с двумя узловыми точками

Рис. 6. Зависимость декремента колебаний от объемной доли воздуха в газо-жидкостной смеси

Испытания проведены с использованием оборудования ЦКП «Экспериментальная механика» ЮУрГУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Соглашение о предоставлении субсидии № 14.578.21.0191 от 03.10.2016. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57816X0191.

Список литературы

1. T. Wang, R. Baker, Coriolis flowmeters: a review of developments over the past 20 years, and an assessment of the state of the art and likely future directions, Flow Measurement and Instrumentation, 2014, Vol. 40, pp. 99-123.
2. Cunningham T.J. Zero shifts in Coriolis sensors due to imbalance // AIAA Tech. Paper, AIAA-94-1621. 1994. pp. 2409–2418.
3. Cunningham T.J. Zero shifts due to non-proportional damping // Proceedings of the International Modal Analysis Conference - IMAC. 1997. (1). pp. 237–243.
4. Keita N.M. Contribution to the understanding of the zero shift effects in Coriolis mass flowmeters // Flow Measurement and Instrumentation. 1989. № 1 (1). pp. 39–43.
5. Dahl J., Thomsen J.J. Phase shift effects for fluid conveying pipes with non-ideal supports // CD-ROM Proceedings of ICTAM 2008 (International Congress of Theoretical and Applied Mechanics). 2008. pp. 1–2.
6. Enz S., Thomsen J.J., Neumeyer S. Experimental investigation of zero phase shift effects for Coriolis flowmeters due to pipe imperfections // Flow Measurement and Instrumentation. 2011. № 1 (22). pp. 1–9.
7. Яушев А.А. Анализ влияния условий закрепления на смещение нуля кориолисового расходомера // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2017. – Т. 17. – №. 4. – С. 91-98
8. Kolahi K., Storm R., Rock H. Detection of zero shift in Coriolis Mass Flowmeters // Proceedings of the XVI IMEKO World Congress. 2000. (6). pp. 61–66.

Сведения об авторах:

Яушев Александр Анатольевич – младший научный сотрудник лаборатории «Экспериментальная механика», ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск;

Тараненко Павел Александрович – к.т.н. доцент кафедры технической механики, ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск;

METHOD FOR DIAGNOSING ZERO SHIFT IN A CORIOLIS FLOWMETER CAUSED BY ITS BOUNDARY CONDITIONS*Yaushev A.A., Taranenko P.A.***Keywords:** coriolis flowmeter, zero shift, diagnostics, damping.

Abstract. This article devoted study of the influence of the boundary condition of the Coriolis flowmeter on the mass flow error. We obtained unacceptable zero shift when the modal frequency of the “Coriolis flowmeter-pipeline” system coincides with the drive frequency. It should be noted that the studied error is caused by the zero shift and can change over time, for example, when the temperature changes. We developed a method of diagnosing random zero shift of the Coriolis flowmeter caused by the condition of its mechanical support. The method is based on measurement and analysis of modal damping of the Coriolis flowmeter.

References

1. T. Wang, R. Baker, Coriolis flowmeters: a review of developments over the past 20 years, and an assessment of the state of the art and likely future directions, *Flow Measurement and Instrumentation*, 2014, Vol. 40, pp. 99-123.
2. Cunningham T.J. Zero shifts in Coriolis sensors due to imbalance // *AIAA Tech. Paper*, AIAA-94-1621. 1994. pp. 2409–2418.
3. Cunningham T.J. Zero shifts due to non-proportional damping // *Proceedings of the International Modal Analysis Conference - IMAC*. 1997. (1). pp. 237–243.
4. Keita N.M. Contribution to the understanding of the zero shift effects in Coriolis mass flowmeters // *Flow Measurement and Instrumentation*. 1989. № 1 (1). pp. 39–43.
5. Dahl J., Thomsen J.J. Phase shift effects for fluid conveying pipes with non-ideal supports // *CD-ROM Proceedings of ICTAM 2008 (International Congress of Theoretical and Applied Mechanics)*. 2008. pp. 1–2.
6. Enz S., Thomsen J.J., Neumeier S. Experimental investigation of zero phase shift effects for Coriolis flowmeters due to pipe imperfections // *Flow Measurement and Instrumentation*. 2011. № 1 (22). pp. 1–9.
7. Yaushev A.A. Analysis of the influence of fixing the coriolis flowmeter on zero point shift // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2017, Vol. 17, № 4, pp. 91–98.
8. Kolahi K., Storm R., Rock H. Detection of zero shift in Coriolis Mass Flowmeters // *Proceedings of the XVI IMEKO World Congress*. 2000. (6). pp. 61–66.