

Информационные технологии

УДК 681.26.077.2

СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТОВ ПОВЕРОЧНЫХ СИСТЕМ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА

К.В. Гудков, М.Ю. Михеев, В.А. Юрманов

Пензенская государственная технологическая академия

440605, г. Пенза, пр. Байдукова, 1а

E-mail: mix1959@gmail.com

Предлагается способ поверки кориолисовых расходомеров на месте их эксплуатации. Описываются варианты элементов конструкции системы, поясняются их физические принципы работы и результаты моделирования воздействия импульсных помех.

Ключевые слова: кориолисов расходомер, поверочный комплекс, резонанс, математическое моделирование.

Введение. Реализация систем расхода и дозирования компонентов топлива и прочих жидких сред, в том числе агрессивных, вязких, высокотоксичных, электро- и неэлектропроводных, на основе кориолисовых расходомеров позволяет достичь относительной погрешности порядка 0,1% [1].

При организации поверочных систем помимо обеспечения метрологических характеристик также целесообразен отказ от демонтажа измерительного оборудования и вывода его из эксплуатации.

Последнее условие существенно усиливает требования к метрологическим характеристикам поверочной системы. Это связано с тем, что различные рабочие места характеризуются различным набором дестабилизирующих факторов, которые, как правило, имеют нестационарный характер. Следовательно, аппаратно-программные средства поверочного комплекса должны обеспечивать необходимую инвариантность результатов поверки от типа предприятия, от характера его работы и конструктивных особенностей поверяемой системы [2].

Достижение поставленных целей связано с совершенствованием расходомеров, входящих в состав поверочных комплексов.

Анализ конструкций расходомеров. Принцип измерения расхода жидкости в кориолисовом расходомере основан на измерении параметров потока жидкости, таких как скорость и плотность. На основании этих данных возможно вычисление массового расхода жидкости, протекающей по трубке известного сечения (чувствительный элемент расходомера). Скорость потока в трубке определяется с помощью силы Кориолиса. Для определения плотности потока жидкости необходимо колебать

Кирилл Владимирович Гудков – старший преподаватель.

Михаил Юрьевич Михеев – д.т.н., профессор.

Валерий Анатольевич Юрманов – к.т.н., доцент.

трубку на резонансной частоте. Естественная резонансная частота трубки является функцией ее геометрии, конструкционных материалов и массы трубки, состоящей из массы собственно трубки и массы текучей среды в этой трубке. Поскольку масса самой трубки постоянна, плотность текучей среды пропорциональна значению резонансной частоты.

Резонансный режим работы расходомера, обладая известными достоинствами, приводит к резкому повышению погрешности измерений при наличии помех, попадающих в полосу резонанса. Это проявляется в виде грубо искаженных результатов, количество которых для промышленных предприятий может достигать 10% от общего числа измерений. Учесть заранее влияние этих помех невозможно, т.к. они индивидуальны для конкретного рабочего места расходомера и имеют нестационарный характер.

Для оценки влияния указанных негативных факторов была разработана Simulink-модель классического однотрубного кориолисового расходомера, которая позволила провести модельный эксперимент работы расходомера [3].

Модель позволяет провести моделирование процессов, основанных на законах теоретической механики, в которой понятие «гибкое тело» отсутствует, поэтому для создания гибкого тела был использован метод приближения.

Данный метод моделирования основан на приближенном отображении гибкого тела последовательностью твердых тел, соединённых между собой пружинящими и амортизирующими элементами. Жесткость пружин и коэффициенты демпфирования амортизаторов описываются функциями материальных свойств и геометрией гибких элементов.

С учетом ограничений, накладываемых на процесс моделирования системой SimMechanics, было предложено разделить трубку на ряд дискретных элементов и соединить их между собой системой шарниров, обладающих определенными аналитически степенями свободы.

Рассмотрим физику процесса чистого сгиба, происходящую в шарнире, соединяющем два элементарных дискретных участка.

Обобщенная сила F на конце каждого тела и обобщенная сила f в узле могут быть выражены обобщенной матрицей жесткости $[K]$ или $[k]$:

$$F[K]dX \text{ или } f[k]dx,$$

где dX и dx – относительное перемещение приближенного тела и его составных частей соответственно.

Выявим связь между жесткостью всей системы и её отдельными компонентами путём использования коэффициента Якобиана:

$$[k] = J^T [K] J.$$

Полученные значения коэффициентов упругости отдельных элементов составляют упругость материала, основываясь на величинах угла прогиба и на угловой скорости шарнира.

Проведенный ряд имитационных модельных экспериментов позволил выявить влияние совпадения частот внешних помех и резонансной частоты работы расходомера. Первый эксперимент проводился с имитацией условий работы расходомера в идеальных условиях. При проведении эксперимента плотность измеряемого вещества была равна 1 г/см^3 , скорость протекания измеряемого вещества – 1 м/с , резонансная частота колебаний расходомера f_p – 225 Гц . Результаты эксперимента приведены на рис. 1 (график 1). Колебания показания расхода в диапазоне $0,05\%$ обусловлены дискретностью вычислений Simulink-модели.

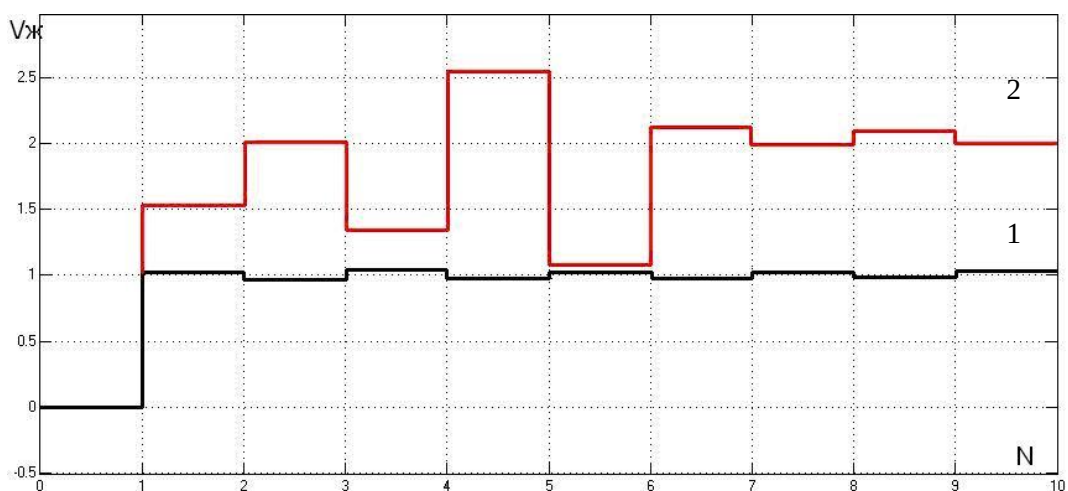


Рис. 1. Показания расходомера при отсутствии и наличии помех: $V_{ж}$ – показания скорости жидкости; N – количество измерений; 1 – результаты первого эксперимента, 2 – результаты второго эксперимента

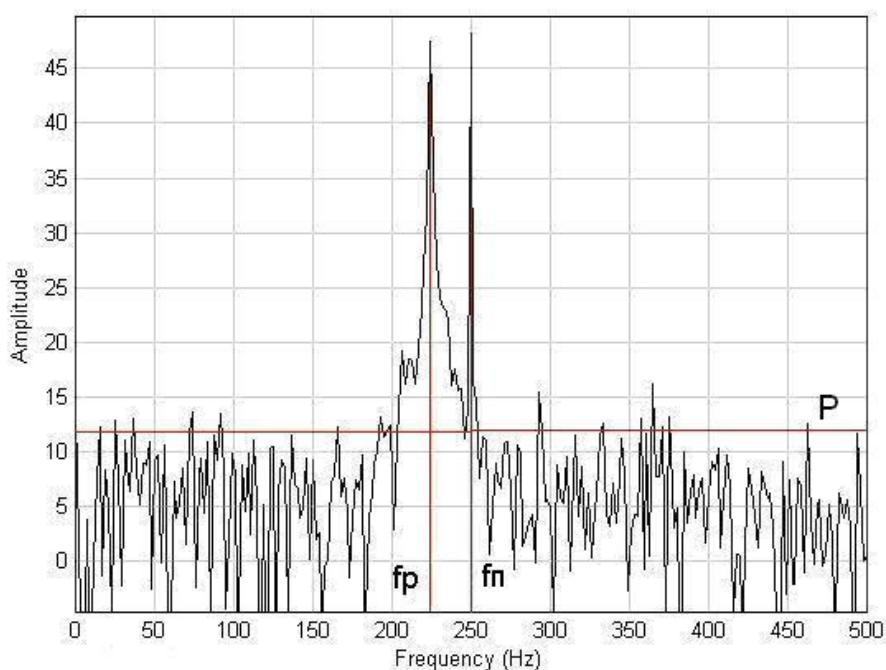


Рис. 2. Спектр сигналов расходомера: P – пороговый уровень; f_p – резонансная частота; f_n – шум

В ходе проведения второго эксперимента на вход модели подавались помехи, находящиеся за пределами резонансной области, с амплитудой, незначительно превышающей пороговое значение P (рис. 2), и сигнал с частотой $f_n = 250$ Гц, входящий в зону резонанса моделируемого кориолисова расходомера. Скорость, плотность потока и частота работы расходомера остались неизменными. Результаты эксперимента приведены на рис. 1 (график 2). При подаче на вход модели сигналов помех, ам-

плитуда которых не превышает порогового уровня P и частота не входит в зону резонанса, погрешность измерений увеличивается до 0,1%. Следовательно, данное значение уровня P является предельным для конкретного предприятия.

При превышении амплитудами помех порогового уровня появляется вероятность возникновения грубо искаженных результатов измерений. Этот эффект зависит от текущей фазы между сигналами помехи и колебаний расходомерной трубки. Все результаты действия помех, попадающих в интервал времени измерения разности фаз между левой и правой частью расходомерной трубки, проявляются в виде грубо искаженных результатов измерений. Влияние помех в зоне резонанса соответствует поведению резонансной системы. Устранение данной погрешности путем использования фильтров невозможно ввиду близости частот.

Поскольку данная погрешность обусловлена конструкцией расходомера и способом определения плотности измеряемого вещества, возможны два очевидных варианта минимизации её влияния: 1) изменение конструкции расходомера; 2) изменение способа определения плотности вещества.

Начнем решать данные задачи последовательно.

Совершенствование конструкции измерительной трубки. Снижение количества грубо искаженных результатов измерений может быть достигнуто смещением рабочей частоты расходомера за пределы спектра интенсивной области основной доли промышленных помех. Анализ патентов Российской Федерации за последние 20 лет выявил в качестве одного из перспективных направлений решения данной задачи понижение жесткости расходомерной трубки, что стало возможным с появлением новых конструкционных материалов.

Экспериментально было выявлено, что наиболее целесообразно использовать комбинированную конструкцию расходомерной трубки, располагая участки трубки с пониженной жесткостью в узловых точках колебательной системы.

Кориолисово отклонение расходомерной трубки имеет ту же форму, что и изгибные колебания второго порядка, при которой смещение расходомерной трубки имеет противоположный знак на любой стороне от центральной точки расходомерной трубки. Расположение участков пониженной жесткости в точках наибольшей амплитуды колебаний второго порядка повышает чувствительность системы на реакцию кориолисовой силы. Расположение участка пониженной жесткости в центре колебательной системы повышает амплитуду колебаний, что вызывает увеличение силы Кориолиса и снижение резонансной частоты колебательной системы. Расположение участка пониженной жесткости на краях расходомерной трубки уменьшает влияние жесткозакрепленных краев трубки на кориолисову силу и внешних помех – на измерительную систему.

Проведенный ряд имитационных модельных экспериментов с входными параметрами модели, аналогичными предыдущим, без наличия помех позволил выявить зависимости чувствительности расходомера от изменения комбинаций расположения участков пониженной жесткости и их коэффициентов жесткости. В эксперименте были рассмотрены 3 варианта расположения участков пониженной жесткости: 1) участки пониженной жесткости расположены в точках крепления трубки к трубопроводу и в центре; 2) добавлены участки пониженной жесткости в узловых точках колебаний второго порядка; 3) участки пониженной жесткости, расположенные в узловых точках колебаний второго порядка, увеличены по длине в два раза по сравнению со вторым вариантом. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

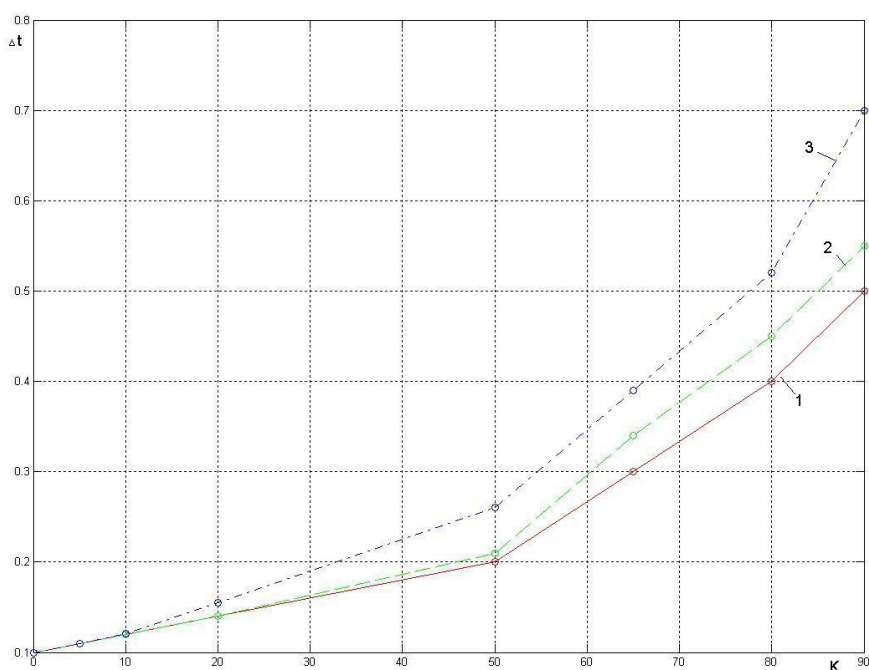


Рис. 3. Влияние участков пониженной жесткости на чувствительность расходомера

Видно, что наибольшей чувствительностью обладает расходомер, реализованный по третьему варианту. Изменение жесткости на 50% позволило повысить чувствительность расходомера в 1,5 раза, но не позволило сместить рабочую частоту расходомера за пределы спектра интенсивной области основной доли промышленных помех. Ограничение изменения жесткости на уровне 50% находится на грани возможности современных конструкционных материалов, поэтому дальнейшее развитие данного направления ограничивается возможностями технической реализации. Следовательно, необходимо менять конструкцию измерительной части расходомера и отказываться от использования физического эффекта резонанса при определении плотности протекающей жидкости.

Совершенствование кориолисова расходомера. Один из вариантов технической реализации новой конструкции кориолисова расходомера основан на задании колебания абсолютно жесткой расходомерной трубки в горизонтальной плоскости относительно центра. Под абсолютной жесткостью понимается, что значением изгиба трубки можно пренебречь. При протекании жидкости через колеблющуюся измерительную трубку возникает сила Кориолиса, оказывающая аддитивное воздействие, равномерное по длине трубки. Воздействие фиксируется датчиками перемещения/давления. Кроме того, колебание трубки вызывает возникновение сил инерции, пропорциональных плотности жидкости, значение которых фиксируется теми же датчиками. Для подвода жидкости к расходомерной трубке используются участки пониженной жесткости, что обеспечивает свободное колебание трубки и снижение влияния на расходомер воздействия помех со стороны трубопровода.

Была разработана Simulink-модель данного кориолисова расходомера с использованием пакета SimMechanics. При проведении эксперимента учитывалось влияние внешних помех, амплитуда которых не превышает порогового уровня P , плотность измеряемого вещества 1 г/см^3 , скорость протекания измеряемого вещества – 1 м/с .

При такой конструкции расходомера перенос частоты в низкую область не вызывает технических проблем. Например, при частоте колебаний 50 Гц было достигнуто повышение чувствительности в 1,5 раза и снижение влияния грубо искаженных результатов на 30%.

Заключение. Использование новой конструкции кориолисовых расходомеров в составе поверочных комплексов позволяет минимизировать влияние помех на результаты поверки. Следовательно, может быть создана достоверная информационная картина распределения помех на конкретном рабочем месте в соответствии с ритмом работы данного предприятия и осуществлены меры по минимизации их влияния [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент №2249183 РФ. Кориолисов расходомер и способ его изготовления / Ван Клиф Крейг Брэйнерд, Ланхам Грегори Трит, Оллила Кертис Джон, Листер Эрнест Дэйл заявитель / Майкро Моушн, Инк (US) правообладатель. – Заявл. 13.06.2000; зарег. 27.09.2003. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.
2. Патент №2262670 РФ. Устройство и способ проверки расходомера / Антониевич Милован заявитель / Майкро Моушн, Инк (US) правообладатель. – Заявл. 22.05.2002; зарег. 10.02.2005. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.
3. Гудков К.В. Анализ тенденций развития обобщенных структур кориолисовых расходомеров // Международная научно-техническая конференция «Современные информационные технологии»: Труды. – Вып. 9, весенняя сессия. – Пенза: ПГТА, 2009. – С. 62-65.
4. Патент №2007129984 РФ. Способ повышения точности проверки расходомера / Михеев М.Ю., Юрманов В.А., Володин К.И., Гудков К.В., Куц А.В. заявители / Пензенская государственная технологическая академия правообладатель. – Заявл. 06.08.2007, зарег. 20.02.2009. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Статья поступила в редакцию 4 сентября 2010 г.

UDC 681.26.077.2

SYNTHESIS OF THE TESTING SYSTEMS ELEMENTS OF THE FUEL COMPONENTS DISPENSING

K.V. Gudkov, M.Y. Miheev, V.A. Yurmanov

Penza State Technological Academy
1a, Baydukova pr., Penza, 440605

The Coriolis acceleration flowmeter calibration method on-site is proposed. System structure is described, physical principles are explained, modeling results, affected by impulse noise, are shown.

Keywords: Coriolis mass flow meter, verifying complex, resonance, mathematical modeling.

Kiril V. Gudkov – Senior Lecture.

Michail .Y. Miheev – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Valery A. Yurmanov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.