

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЛИНИЙ СВЯЗИ И СХЕМ ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДАВЛЕНИЯ

В.С. Ляпидов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается методика оценки влияния неустойчивости линий связи и схем вторичного преобразования на точностные характеристики измерительных систем давления высокотемпературных жидких и газовых сред с емкостными первичными преобразованиями.

Ключевые слова: измерительная система давления, емкостный первичный преобразователь, линия связи.

Агрессивность и высокая температура контролируемых в энергетике жидких и газовых сред порождает ряд сложных научно-технических проблем, одна из которых – создание надежных высокочувствительных средств теплотехнического контроля объектов, требующих повышенной термической напряженности [1].

Современные тенденции развития первичных преобразователей (ПП), способных работать в жестких условиях, предполагают использование сенсорных систем на основе технологии микро- и нанoeлектромеханических систем (МЭМС и НЭМС) [2, 3]. Указанные сенсорные системы на кремниевой и карбид-кремниевой основе возникли как технологии, объединяющие механические конструкции ПП микро- и наноуровня с микроэлектроникой средств вторичного преобразования (ВП) в одном устройстве. Однако такое объединение ПП со средствами ВП в одном устройстве в условиях агрессивной среды и высоких (200 – 500°C) температур не позволяет на сегодняшний день избежать множества трудностей и проблем, которые необходимо преодолеть, прежде чем эти системы станут пригодными для массового применения [2]. В этой связи большой интерес по-прежнему представляет использование предельно простых конструкций ПП (например емкостных), способных работать в условиях агрессивной среды и высоких температур. При этом автогенераторная схема ВП измерительной системы давления (ИСД), например жидкого теплоносителя, представляет собой выносной блок, удаленный от ПП на 10 ÷ 20 метров. В связи с непрерывным ростом применения частотных измерительных систем возросло значение емкостных ПП с резонаторным чувствительным элементом (например емкостных струнных первичных преобразователей) [4]. При этом из всех возможных способов возбуждения и приема колебаний струны наиболее соответствует специфическим условиям измерения давления теплоносителя емкостный электростатический способ с фазовым методом измерения изменений емкости электростатического струнного преобразователя (ЭСП) [5].

В указанных ИСД актуальным является анализ влияния неустойчивости линий связи, соединяющих ЭСП с автогенераторными средствами ВП, а также влияния неустойчивости схем ВП на точностные характеристики ИСД. Анализ сводится к анализу взаимодействия струны ЭСП с электростатическим полем ее «раскачки». При

анализе сделаны следующие допущения:

- масса струны ЭСП рассматривается как сосредоточенная в центре струны масса m ;
- механическая модель струны представлена на рис. 1 в виде шара (1) малого диаметра, связанного с расположенными горизонтально пружинами (2) и (3);
- масса шара (1) сосредоточена в его центре;
- колебания шара вдоль оси абсцисс – незатухающие.

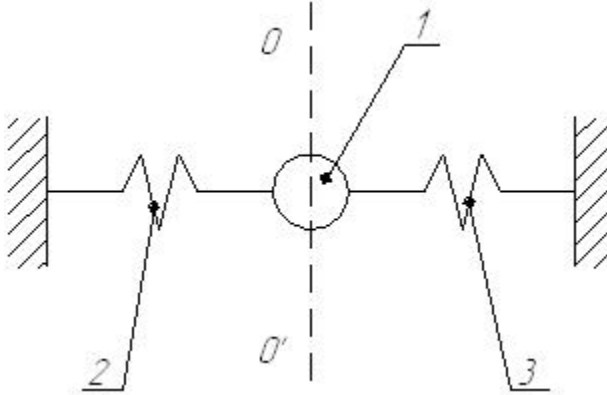


Рис. 1. Механическая модель струны ЭСП

Кинетическая энергия струны с массой m за половину периода колебаний может быть определена как

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \overline{V F} dt = \frac{mV^2}{2},$$

где \overline{V} – вектор скорости ЭСП; \overline{F} – вектор силы, действующий на струну. Влияние составляющих $F_{\vartheta 1}$, $F_{\vartheta 2}$ силы F_{ϑ} электростатического поля «раскачки» струны ЭСП на частоту сигнала ω на выходе схем ВП удобно представить как изменения эквивалентной массы струны. Выражение для этого определения эквивалентной массы струны m_1 имеет вид

$$m_1 = \frac{2}{V_m^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} V_m \cos \omega t (F_m \sin \omega t + F_{\vartheta 1} \sin \omega t) dt = \frac{F_m}{V_m \omega} + \frac{F_{\vartheta 1}}{V_m \omega} = m_2 + m_3,$$

где V_m – амплитудное значение скорости струны; F_m – сила, возвращающая струну при ее отклонении от среднего положения $00'$ (см. рис. 1).

Векторные диаграммы сил, действующих на струну, приведены на рис. 2, а и рис. 2, б.

Относительное изменение массы струны ЭСП, вызванное взаимодействием струны с электростатическими силами «раскачки», имеет вид

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} = \frac{F_{\vartheta 1}}{F_m} = \frac{F_{\vartheta} \sin \varphi}{F_{\vartheta 2} Q} = \frac{F_{\vartheta} \sin \varphi}{F_{\vartheta} \cos \varphi Q} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{Q}, \quad (1)$$

где Q – добротность струны; φ – фазовый сдвиг между F_{ϑ} и $F_{\vartheta 2}$.

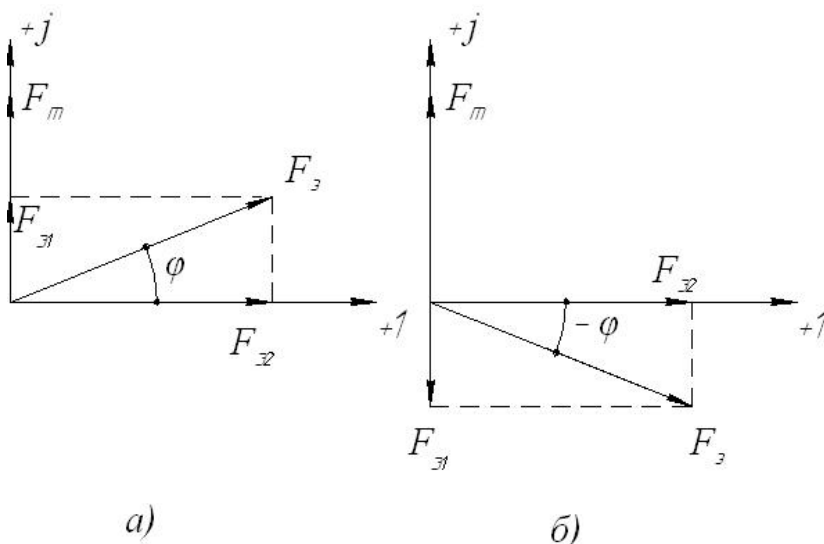


Рис. 2. Диаграмма сил, действующих на струну ЭСП

Тогда относительное изменение частоты на выходе схем ВП и относительная погрешность измерения давления δ жидкого теплоносителя, вызванные взаимодействием струны ЭСП с силами электростатической «раскачки», могут быть определены из соотношений:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \left(\frac{1}{1 + \operatorname{tg}\varphi/Q} - 1 \right)^{0.5};$$

$$\delta = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{Q},$$

где P – измеряемое давление, ΔP – абсолютное изменение давления.

Как следует из (1), относительное изменение массы струны может быть положительным или отрицательным при $\varphi > 0$ или $\varphi < 0$, значит, и частота сигнала на выходе схем ВП может быть меньше или больше частоты собственных поперечных колебаний струны ЭСП. При $\varphi \neq 0$ появляется составляющая F_{31} силы F_3 , совпадающая по направлению с силой F_m (или направленная в противоположенную сторону), т. е. увеличивающая или уменьшающая силу реакции струны F_m при ее отклонении от среднего положения $00'$ (см. рис. 1).

К числу причин, вызывающих появление угла сдвига фаз φ , можно отнести:

- неточность настройки схем фазового корректора [5];
- изменение геометрических размеров струны ЭСП (из-за изменения, например, температуры среды, окружающей ЭСП);
- изменение постоянных времени цепей, входящих в состав канала электростатического возбуждения колебаний струны ЭСП (из-за старения компонентов схемы канала или из-за изменения температуры среды, окружающей ВП).

Для исследования допустимых пределов изменения параметров линий связи, соединяющих ЭСП со средствами ВП ИСД, может быть использована схема, приведенная на рис. 3, где обозначены: ЭСП – емкостный электростатический струнный

преобразователь ($C_{II} = 2.1\text{пФ}$, $\Delta C_{II} = 0.03...0.3\text{пФ}$ при возбуждении струны на резонансной частоте); ВП – автогенераторная схема вторичного преобразователя; K – кабель радиочастотный (емкость кабеля 2000пФ); R – резистор переменный; C – конденсатор переменной емкости; V – вольтметр универсальный, класс 2.5; $Ч$ – частотомер.

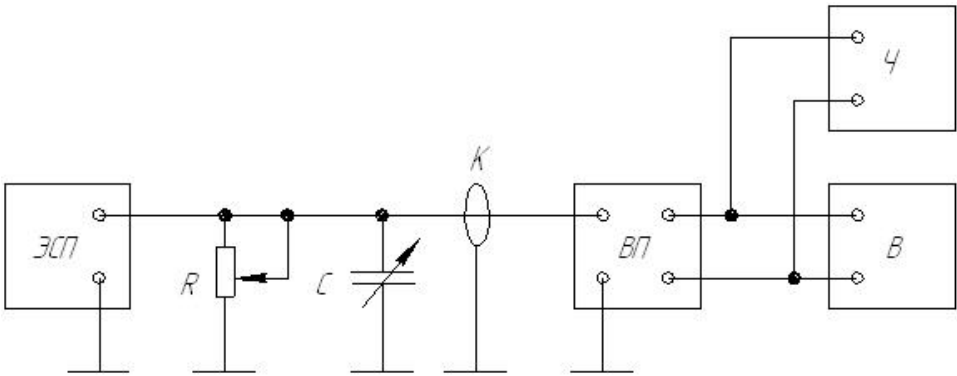


Рис. 3. Схема установки для исследования допустимых пределов изменения параметров линии связи

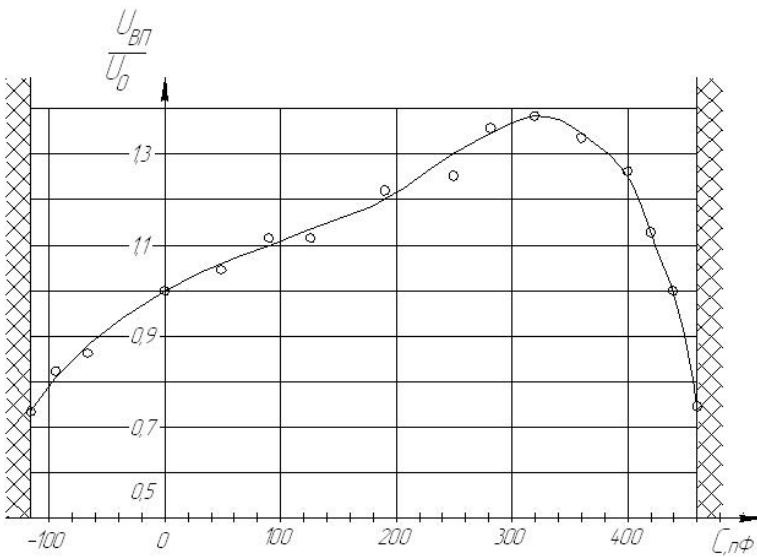


Рис. 4. Кривая зависимости относительного напряжения на выходе ВП ИСД от изменения емкости кабеля

Автогенераторная схема ВП ИСД с фазовым методом измерения емкости ЭСП [5] показала устойчивую работу при изменении R в пределах от ∞ до 30кОм и при изменении емкости конденсатора C в пределах от -110пФ до $+450\text{пФ}$ (изменением емкости конденсатора C в пределах от 0 до -110пФ имитировалось снижение емкости кабеля). На рис. 4 и рис. 5 представлены зависимости:

$$\frac{U_{ВП}}{U_0} = f_1(C); \frac{U_{ВП}}{U_0} = f_2(R),$$

где $U_{ВП}$ – напряжение на выходе ВП ИСД при $0 \leq R < \infty; C \neq 0$; U_0 – напряжение на выходе ВП ИСД при $R = \infty; C = 0$.

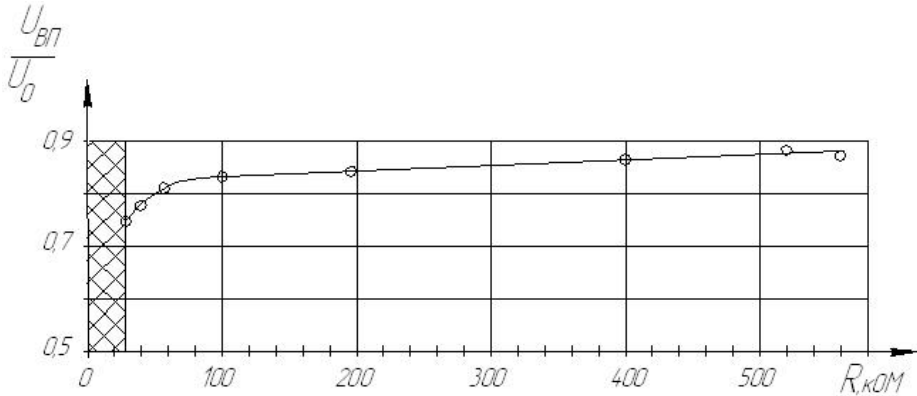


Рис. 5. Кривая зависимости напряжения на выходе ВП ИСД от изменения сопротивления изоляции кабеля

При изменении емкости конденсатора C в указанных пределах изменение частоты на выходе схем ВП не превышало 0.03% от среднего значения частоты на выходе ВП ИСД. Исследования проводились в диапазоне рабочих частот ЭСП от 400 до 1500 Гц.

В результате проведенного анализа влияния нестабильности параметров линий связи и схем вторичного преобразователя на работу измерительного канала ИСД установлено:

- отклонение частоты на выходе схем ВП ИСД от частоты собственных колебаний струны ЭСП возможно за счет сдвига фаз φ между силой электростатической «раскачки» струны F_3 и ее составляющей F_{32} , опережающей силу реакции струны ЭСП F_m или отстающей от нее;

- относительная погрешность измерения давления жидкого теплоносителя (вызванная взаимодействием струны ЭСП с силами электростатической «раскачки» струны) может быть снижена путем уменьшения величины сдвига фаз φ или повышения добротности струны ЭСП;

- проведенные исследования допустимых пределов изменения активного и реактивного сопротивлений линии связи (кабеля), соединяющей ЭСП со схемами ВП ИСД, показали, что работоспособность схем ВП не ухудшается при изменении емкости и сопротивления изоляции кабеля в широких пределах (R от ∞ до 30кОм ; C в пределах от -110пФ до $+450\text{пФ}$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ляпидов В.С.* К вопросу построения измерительных систем давления жидкого теплоносителя в энергетических объектах // Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2010): Материалы Международной науч.-техн. конференции. 17-21 мая 2010 г. СамГТУ. – Самара, 2010. – С. 182-185.
2. *Ниева П.* Новые тенденции в технологии МЭМС-датчиков для применения в жестких внешних условиях // Датчики и системы. – 2008. – №5. – С. 38-46.
3. *Мокров Е.А., Баринов И.Н.* Разработка высокотемпературных полупроводниковых датчиков дав-

- ления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – №1. – С. 23-27.
4. Брехов Р.С. и др. Струнный измеритель давления // Магнитная гидродинамика. – 1974. – №4. – С. 150-151.
5. Ляпидов В.С. Повышение чувствительности измерительной части ИИС с резонансными первичными преобразователями // Вестник СамГТУ, вып. 1(19). Сер. Технические науки. – 2007. – С. 191-193.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2012 г.

A METHOD TO ESTIMATE THE IMPACT OF INSTABILITY OF COMMUNICATION LINES AND SECONDARY TRANSFORMATION CIRCUITS ON THE PRECISION OF PRESSURE MEASUREMENT SYSTEMS

V.S. Lyapidov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

A method to estimate the impact of instability of communication lines and secondary transformation circuits on the precision characteristics of pressure measuring systems for high-temperature liquids and gases with primary capacitance transformation is discussed.

Keywords: *pressure measuring system, the capacitive sensing device, a line of communication.*