

и $U_0 U_n \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$. Как можно видеть, интегрирование данных слагаемых за время $t_n = 8\pi/\omega$ дает результат, отличный от 0, формируя таким образом систематическую погрешность измерения.

2. Гармонические искажения являются свойством самого сигнала, вследствие чего претерпевают тот же фазовый сдвиг, что и сигнал:

$$\begin{cases} u_1(t) = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + U_n \sin(\omega_n t + \varphi_n) \\ u_2(t) = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi) + \\ + U_n \sin(\omega_n t + \varphi_n + \Delta\varphi) \end{cases} \quad (8)$$

В этом случае в произведении сигналов присутствуют члены $U_n^2 \sin(\omega_n t + \varphi_n) \sin(\omega_n t + \varphi_n + \Delta\varphi)$,

$$U_0 U_n \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \sin(\omega_n t + \varphi_n + \Delta\varphi) \text{ и} \\ U_0 U_n \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi) \sin(\omega_n t + \varphi_n).$$

Приведение к 0 данных составляющих (за исключением составляющей $\cos\Delta\varphi$) путем интегрирования возможно только в случае кратности частот ω_n и ω_0 и совпадения начальных фаз φ_n и φ_0 .

При моделировании частота полезного сигнала задавалась равной 300 Гц, частота дополнительной гармоники варьировалась в диапазоне от 600 Гц до 100 000 Гц. Амплитуда гармоники была принята равной 0,2 амплитуды полезного сигнала. При указанных параметрах максимальные значения погрешности, определяемые как разность заданного и вычисленного значений фазового сдвига, по результатам моделирования для разных соотношений частот сигнала и наводки составили от 3 % до 7 % как для первого, так и для второго моделируемого случая. Для устранения (уменьшения) данной погрешности требуется экранирование входных цепей измерительного преобразователя от наводок либо фильтрация сигнала.

Литература

1. CMSIS DSP Software Library [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://keil.com/pack/doc/CMSIS/DSP/html/index.html>.
2. Атамалян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Уч. пос. для студентов вузов / Э.Г. Атамалян. – М.: Высшая школа, 2005. – 416 с.

УДК 621.375.826

РЕГУЛИРОВКА ПЕРИМЕТРА РЕЗОНАТОРА КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА ЦИФРОВОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА

Кривицкий П.Г.¹, Исаев А.В.¹, Матюшевский В.М.¹, Оксенчук И.Д.², Кузьмицкая С.М.³

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ООО «БСВТ – новые технологии», Минск, Республика Беларусь

³ГНУ «Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики», Минск, Республика Беларусь

Лазерные гироскопы (ЛГ) являются основным элементом бесплатформенных инерциальных навигационных систем [1], занимающих устойчивое место в высокотехнологичном сегменте современного мирового рынка. Чувствительным элементом цифрового малогабаритного лазерного гироскопа (далее ЦМЛГ) [2] является кольцевой лазер (КЛ), в резонаторе которого генерируются две встречные волны (по и против часовой стрелки). Сигнал их биений (формируемый сбивающей призмой и регистрируемый фотоприемником) несет информацию о вращении КЛ вокруг оси чувствительности, перпендикулярной плоскости резонатора. В идеале, набег фазы сигнала биений пропорционален углу поворота КЛ. При этом должно соблюдаться условие подстройки периметра КЛ на резонанс, т. е. на центр контура усиления. В противном случае, при отстройке от резонанса, возникает сдвиг частоты биений, регистрируемый как погрешность гироскопа в виде постоянного смещения скорости его вращения.

Стабилизацию периметра резонатора КЛ обычно обеспечивают с помощью пьезокорректоров – пьезоэлектрических пластин, напряжение

на обкладках которых изменяет их толщину и, соответственно, положение закрепленных на них зеркал кольцевого резонатора. Обычно конструкция КЛ включает два пьезокорректора периметра, что позволяет уменьшить перекос резонатора в процессе его перестройки и стабилизации.

Для контроля положения на контуре усиления КЛ часть генерируемого излучения каждой из встречных волн выводится из резонатора на фотоприемники, сигнал с которых характеризует интенсивность генерации этих волн и являются сигналом обратной связи системы стабилизации периметра (ССП). СПП формирует тестовый сигнал модуляции напряжения на пьезокорректоре и, детектируя сигнал от фотоприемника интенсивности, формирует изменение постоянной составляющей напряжения на пьезокорректоре.

Основным фактором изменений длины периметра КЛ является процесс теплового расширения моноблока резонатора.

Данный процесс обычно достаточно медленный, поэтому электронный блок управления пьезокорректором может быть сравнительно маломощным и не быстродействующим.

Скорость перестройки периметра определяется выходным током драйвера пьезокорректора (ДПК) и емкостью обкладок управляющей пьезопластины. Повышение быстродействия ДПК влечет за собой рост его тока потребления и, соответственно увеличение потребляемой мощности.

В ЦМЛГ питание ДПК производится от встроенного источника напряжения 150В. Парафазный выход ДПК позволяет изменять знак напряжения на обкладках пьезопластины, так что диапазон прикладываемых управляющих напряжений составляет от минус 150 В до плюс 150 В. Это позволяет перестраивать резонатор КЛ в пределах 4...5 контуров усиления при типичном коэффициенте перестройки периметра 50...60 Вольт/Доплер (рисунок 1).

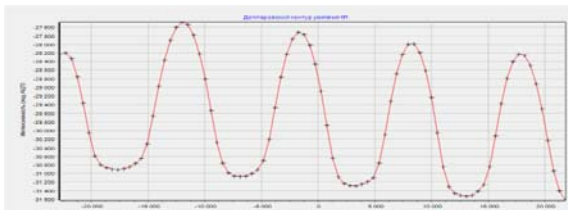


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности генерации от периметра резонатора КЛ

На оси абсцисс рисунка 1 представлены коды 16-разрядного ЦАП, управляющего ДПК, а на оси ординат – коды АЦП, выполняющего оцифровку выходного сигнала преобразователя тока-напряжение, на вход которого поступает ток фотоприемника интенсивности генерации. На краях диапазона работы ДПК имеется существенная нелинейность данной зависимости, поэтому его рабочий диапазон обычно ограничивается.

Ток потребления каждого из двух ДПК составляет 0,8 мА, что обеспечивает постоянную времени работы ПК порядка 100 мс.

Полезной функцией стартового сканирования периметра является экспресс диагностика возможных неисправностей ЦМЛГ.

Например, при отказе высоковольтного блока питания, замыкании обкладок пьезопластин или неисправности фотоприемника интенсивности при сканировании кодов управляющего ЦАП ДПК вместо гладких контуров усиления наблюдается «рваная» зависимость с изменением измеренных показаний интенсивности в узком диапазоне значений (рисунок 2).

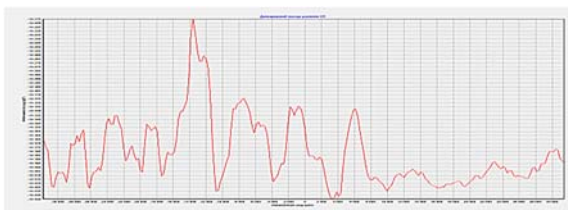


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности генерации от периметра резонатора КЛ, полученная при неисправном фотоприемнике

Деградация активной газовой среды, нарушение ее равноизотопности из-за утечек гелия и/или выработки геттера на катоде, поглощающего примеси, прогорание зеркал резонатора, появление на них пылинок, перекосы резонатора также характерно проявляются на зависимости интенсивности генерации от периметра резонатора (рисунки 3-4).



Рисунок 3 – Зависимость интенсивности генерации при значительном перекосе резонатора под действием пьезопластин ДПК

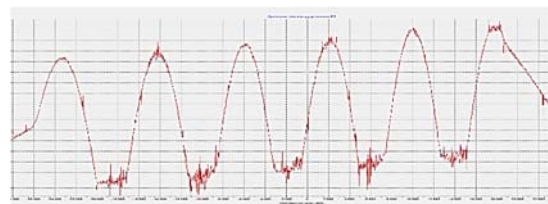
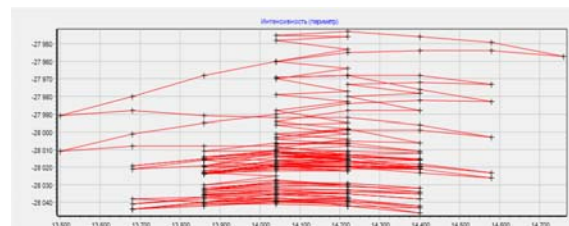
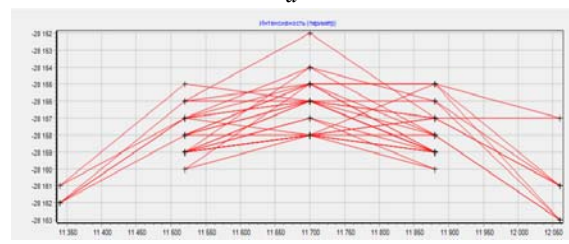


Рисунок 4 – Проявление эффектов конкуренции встречных волн в КЛ

Быстрое сканирование периметра резонатора КЛ на стартовом участке работы ЦМЛГ позволяет определить положение максимумов на контуре усиления КЛ и расстояние между ними. Это позволяет далее выполнить «отскок» на максимум усиления в рабочем диапазоне. В то же время следует учитывать возможный наклон зависимости, чтобы избежать попадания на максимум, находящийся на краю рабочего диапазона (на рисунке 4 – на правой границе), поскольку в этом случае изменения температуры резонатора быстро приведет к насыщению системы стабилизации периметра.



а



б

Рисунок 5 – Графики «шагов» ССПв рабочем режиме настройки максимум для ошумленного четного (а) и гладкого нечетного (б) контуров усиления

На графике (рисунок 4) заметно различие режимов генерации для четных и нечетных волн. 2-й, 4-й и 6-й максимумы значительно ошумлены, что выдвигает требование выбора рабочей точки на 1-м, 3-м или 5-м максимуме. Другой проблемой для системы стабилизации периметра в данном случае (ССП) (в отличие от гладкой зависимости на рисунке 1) является наличие множества экстремумов, как на максимумах контура усиления, так и между ними, что приводит к «зависаниям» между соседними контурами усиления или «блужданиям» рабочей точки вблизи максимума (рисунок 5а), что снижает точность измеряемых угловых показаний в сравнении с работой на гладком неошумленном контуре усиления (рисунок 5б).

Таким образом, использование «интеллектуального» микроконтроллерного управления ССП позволяет учесть ряд особенностей изготовления и настройки КЛ и обеспечить повышение его точностных характеристик.

Литература

1. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Адаптивная бесплатформенная инерциальная навигационная система. Пятый белорусский космический конгресс 25–27 октября 2011 года. Материалы конгресса. Том 2. – ОИПИ НАН Беларуси, Минск – С. 247–251.
2. Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М., Оксенчук И.Д. Цифровой малогабаритный лазерный гироскоп. Материалы 9-й МНТК «Приборостроение-2016». – Мн. : БНТУ, 2016. – С. 82–83..

УДК 614.842

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ЗАДАННОЙ МОЩНОСТИ МОДУЛЕМ ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Кицак А.И., Есипович Д.Л., Челедюк Е.С.

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

Введение. Технология тушения пожара по площади модулем порошкового пожаротушения (МПП) заключается в том, что огнетушащий порошок, выбрасываемый под высоким давлением из МПП, направляется в очаг пожара на поверхность горения. По выходе из МПП огнетушащая среда представляет собой струеподобную газопорошковую смесь (ГПС) вытесняющего газа и частиц порошка, движущихся практически с одинаковой скоростью. С увеличением расстояния от выходного отверстия МПП происходит удаление вытесняющего газа из струи вследствие его расширения и проникновение в свободные каналы порошковой среды окружающего воздуха и встречных нагретых потоков газовых продуктов горения.

Под действием этих факторов появляется горизонтальная составляющая скорости частиц порошка, приводящая к расширению струи, и происходит постепенное торможение движения частиц. Вследствие снижения скорости частиц порошка часть из них может не достичь поверхности горения, и не будет участвовать в тушении пожара.

На данный момент отсутствует методика оценки влияния мощности пожара на эффективность его тушения МПП. Разработка ее позволила бы существенно снизить финансовые затраты при проектировании модульных установок порошкового пожаротушения на проведение огневых испытаний МПП для определения их пневмозагрузочных параметров, обеспечивающих эффективное тушение пожара заданной мощности.

Целью работы является разработка методики численной оценки энергетических параметров очага пожара, который может быть потушен модульной установкой порошкового пожаротушения с заданными техническими характеристиками при тушении пожара по площади.

Динамика характеристик движения ГПС в открытом пространстве на пути к очагу пожара. Условная схема тушения пожара МПП представлена на рисунке 1.

На схеме изображен модуль порошкового пожаротушения 1, расположенный на некотором фиксированном расстоянии от очага пожара, и сам очаг пожара 2.

Определим скорость ансамбля частиц порошка, находящихся в элементарном слое ГПС объемом dV , движущимся в потоке нагретого воздуха тепловой колонки очага пожара. Будем предполагать, что плотность частиц порошка в выделенном слое однородна по его площади, а скорость частиц одинакова по горизонтальному сечению ГПС.

На выделенный ансамбль частиц в объеме dV действуют: сила тяжести \vec{F}_T , направленная вертикально к Земле; сила Архимеда \vec{F}_A , направленная противоположно силе тяжести; сила сопротивления воздуха \vec{F}_B , направленная в сторону, противоположную вектору скорости частиц порошка; подъемная сила \vec{F}_H потока теп-