

И. В. ПЛАТОВ<sup>1</sup>  
Е. В. ЛЕУН<sup>1</sup>  
А. И. ЧЕРЕДОВ<sup>2</sup>  
Ю. Н. МИШИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «НПО Лавочкина»,  
Московская область,  
г. Химки

<sup>2</sup>Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В статье рассматриваются вопросы построения тензометрических систем для контроля давления трубопроводов газовых и топливных магистралей двигательных космических аппаратов. Обсуждаются возможность и особенности установки чувствительных элементов на трубопроводы, не нарушающих их герметичности. Представлена методика расчета максимального и минимального значений давления в трубопроводе из нержавеющей стали при использовании тензометрической системы на основе пленочных полупроводниковых чувствительных элементов тензорезисторов на основе моносulfида самария (SmS).

Предложена конструкция измерительной схемы, состоящая из генераторного датчика на основе тензорезисторов с системой фазовой автоподстройки частоты с возможностью частотно-цифрового преобразования.

**Ключевые слова:** космический аппарат, двигательная установка, газовые и топливные магистрали, тензометрическая система, моносulfид самария, система фазовой автоподстройки частоты, частотно-цифровое преобразование.

**Введение.** Недавние аварии с космическими аппаратами (КА) привели к существенному ужесточению требований по качеству и надежности, предъявляемым к КА, их системам и агрегатам. Двигательная установка (ДУ) является одной из важнейших служебных систем КА, её безотказная работа определяет возможность успешного выполнения всей космической миссии. Одним из условий повышения эффективности управления агрегатами ДУ является текущий контроль давления в её газовых и топливных магистралях при безусловной их герметичности (рис. 1а).

Для контроля давления традиционно используют датчики давления с резьбовым штуцером с уплотнением прокладкой фронтально по торцу или уплотняющиеся с механическим натягом по внешней поверхности резьбы для цилиндрических (трубные G и метрические M резьбы стандартов стран ЕС и СНГ) и конических (резьба NPT, стандарт США) резьб соответственно. Значительные вибрационные нагрузки в широкой полосе частот, появляющиеся при наземной экспериментальной отработке, на различных этапах транспортировки, подготовки к старту, старте и начальных стадиях полета, не гарантируют абсолютную герметичность практически любого разъемного соединения трубопровода – датчик давления. В связи с этим использова-

ние методов и средств измерения давления, вообще не нарушающих герметичность газовых и топливных магистралей, является актуальной задачей для ракетно-космической техники. Решение этой задачи перспективно с учетом появления доступных передовых электронных устройств и компонентной базы: прецизионных АЦП с разрядностью вплоть до 24 бит (более 16 млн квантов), систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) в интегральном исполнении, пленочных полупроводниковых чувствительных элементов (тензорезисторов) на основе моносulfида самария (SmS) и других элементов.

Первые теоретические и экспериментальные работы по созданию и отработке конструкций полупроводниковых тензорезисторов появились в 80-е годы XX века в СССР. Разработанные ранее методики расчета параметров предназначались для обычных конструкций тензорезисторов, а для полупроводниковых тензорезисторов на основе моносulfида самария (SmS) и других элементов не совсем корректны и требуют создания новых методик.

В открытой печати исследование данного вопроса во всей его полноте ранее представлено не было, и данная статья направлена на восполнение этого недостатка, открывая серию публикаций, раскрывающих разные аспекты данной темы.

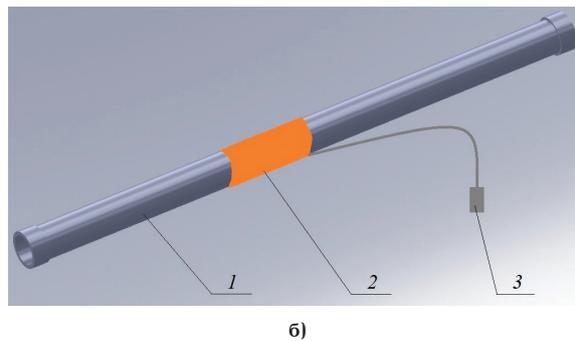
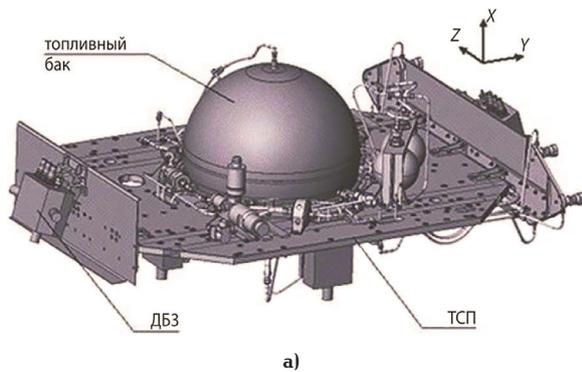


Рис. 1. Общие виды двигательной установки КА (а) и крепления тензодатчика на трубопроводе топливной магистрали (б)

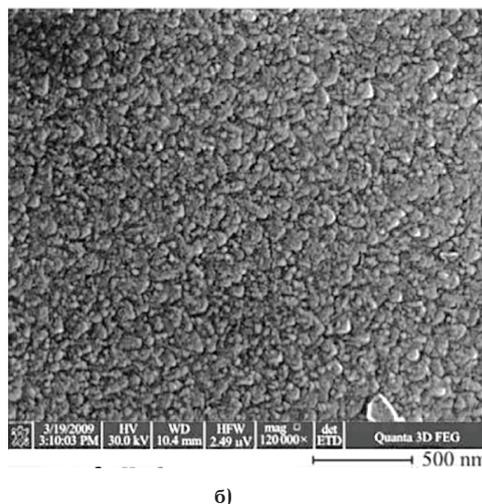
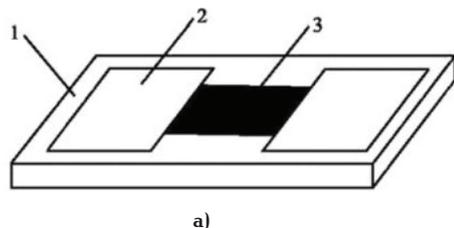


Рис. 2. Изображения пленочного чувствительного элемента на основе моносulfида самария, нанесенного на носитель (а), поверхности тонкой пленки моносulfида самария, полученные методом сканирующей электронной микроскопии высокого разрешения, увеличение  $\times 120000$  (б)

**1. Методы и средства контроля давления трубопроводов газовых и топливных магистралей двигательных установок КА.** Центральным вопросом для решения данной задачи является поиск вариантов регистрации давления и построения для этого соответствующей измерительной схемы.

*1.1. Конструктивные особенности регистрации давления в трубопроводе.* Для регистрации давления в трубопроводе предложено несколько вариантов:

1) установка чувствительного элемента на внешнюю сторону стандартного трубопровода для регистрации его деформаций при подаче давления (рис. 1б);

2) создание специальной изогнутой формы трубопровода с изменяющейся формой в зависимости от давления (подобно трубке Бурдона в манометрах);

3) создание на трубопроводе одной или нескольких специальных локальных площадок для установки соответствующего числа чувствительных элементов со следующими параметрами (в пределах допустимого запаса прочности):

— равномерное утоньшение стенки трубопровода, например, механическим способом или лазерной обработкой (поверхностное испарение металла);

— изменение физико-технических параметров в пределах этой площадки, например, за счет снятия/ограничения закалки;

— формирование специальной пространственной структуры: «линейкой», «клеткой» и др.

*1.2. Тензометрические чувствительные элементы.* Для контроля давления в АО «НПО Лавочкина» накоплен большой опыт по применению тензорезистивных чувствительных элементов, наиболее перспективными среди которых являются чувствительные элементы на основе моносulfида самария, интегрально напыленные в вакууме методом взрывного испарения на упругий элемент объекта измерения.

Полупроводниковый моносulfид самария (SmS) и твердые растворы на его основе превосходят по своим параметрам все существующие материалы, используемые в тензорезисторных датчиках механических величин. Тензо- и барорезисторы, изготовленные из них, отличаются рекордной чувствительностью, широким диапазоном рабочих температур, высокой радиационной стойкостью и могут использоваться для изготовления датчиков различных механических величин: деформаций, давлений, сил, моментов, перемещений, ускорений и т.п. (рис. 2, где носитель 1, металлические контактные площадки 2, полупроводниковый тензочувствительный слой 3).

Для данной задачи тензорезистор на основе SmS, конструктивно представляющий собой тонкую поликристаллическую пленку, наносится на внешнюю поверхность трубопровода через диэлектрическую пленку [1, 2] и будет использоваться в качестве

Характеристики материала трубопровода

Материал	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Модуль упругости $E$ , ГПа	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Нерж. сталь 12Х18Н10Т	300	670	202	7920

чувствительного элемента для регистрации деформаций.

**2. Расчет параметров давления жидкости (газа) в трубопроводах полупроводниковыми преобразователями с чувствительным элементом на основе сульфида самария.** Высокая чувствительность и малые габаритные размеры полупроводниковых тензорезисторов на основе моносulfида самария [1, 2] позволяют разрабатывать тензорезисторные преобразователи давления жидкости или газа с высокими статическими и динамическими характеристиками. И сформированы следующие задачи исследования:

1) обоснование применимости малобазной конструкции тензорезистивного преобразователя на основе моносulfида самария, интегрально напыленного методом взрывного напыления в вакууме на участке трубопровода, с целью его использования в качестве чувствительного элемента для измерения давления жидкостей и газов в системе управления ДУ КА;

2) разработка методики расчета и аналитических зависимостей метрологических характеристик тензорезистивного преобразователя на основе моносulfида самария, интегрально напыленного методом взрывного напыления в вакууме, с целью его использования в качестве тензопреобразователя для измерения давления жидкостей и газов в системе управления ДУ КА с учетом механических свойств и геометрических параметров.

Для исходных данных, приведенных в табл. 1, проведен расчет на основе деформационного подхода для упругого цилиндрического элемента с наклеенным тензорезистором (рис. 3), воспринимающим деформацию через стенку упругого элемента при воздействии внутреннего давления. Сделан ряд допущений, а именно:

а) тензорезистор воспринимает только осевую (продольную деформацию);

б) влияние температуры, как дестабилизирующего фактора компенсируется за счет схемной компенсации;

в) физическая модель упругого элемента в виде цилиндра не имеет днщ и его края не нагружены, что соответствует случаю тонкостенной трубы с внутренним давлением.

В соответствии с этим возникает необходимость определить максимальное и минимальное значения давления, которые зависят от прочностных параметров используемых трубопроводов и шумовых параметров электрической схемы соответственно. Также нужно получить частоты собственных колебаний трубопроводов для оценки динамических параметров измерительной схемы.

**2.1. Определение максимального давления  $p_{max}$  жидкости (газа) в трубопроводах полупроводниковыми преобразователями с чувствительным эле-**

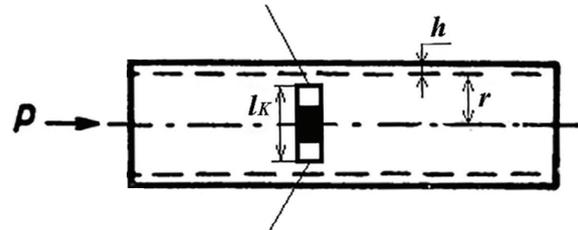


Рис. 3. Схема установки тензорезисторного чувствительного элемента на цилиндрическую трубку

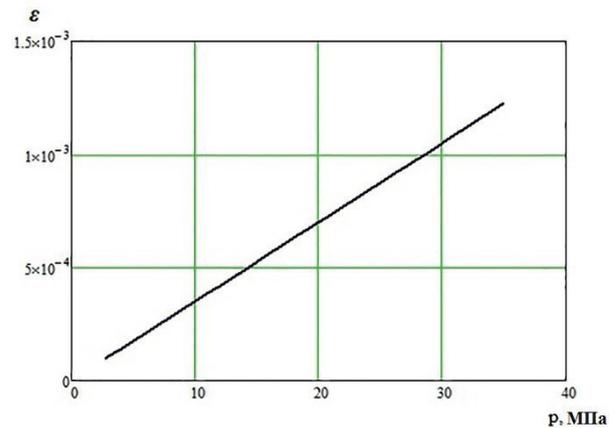


Рис. 4. Зависимость относительной деформации трубопровода от внутреннего давления

ментом на основе сульфида самария. В данном разделе проведен прочностной расчет максимального давления, который основан на анализе физико-технических параметров трубопроводов, используемых в КА.

2.1.1. Относительная тангенциальная деформация  $\varepsilon$  на поверхности цилиндрического упругого элемента находится из следующей зависимости [3]:

$$\varepsilon = \frac{pr}{Eh}, \quad (1)$$

где  $p$  — внутреннее давление;  $r$  — внутренний радиус цилиндра;  $h$  — толщина стенки трубопровода;  $E$  — модуль упругости.

Расчет. На рис. 4 представлена зависимость относительной деформации от внутреннего давления в трубопроводе, где определен диапазон относительной деформации в цилиндрическом элементе трубопровода из стали с  $E=202$  ГПа при изменении внутреннего давления в наиболее интересующем диапазоне от 3 до 35 МПа, внутренний радиус равный 3,5 мм и толщина стенки трубопровода, равная

0,5 мм. В результате расчета получим  $\epsilon_{\min} = 1,050 \cdot 10^{-4}$  при  $p_{\min} = 3$  МПа и  $\epsilon_{\max} = 1,225 \cdot 10^{-3}$  при  $p_{\max} = 35$  МПа.

2.1.2. Деформация объекта измерения (цилиндрической трубы) вызывает деформацию тензорезистора, в результате которой изменяются геометрические размеры и физические свойства чувствительного элемента тензорезистора. Основной характеристикой тензорезистора является коэффициент тензочувствительности  $K$ , который связан с относительной деформацией следующим соотношением:

$$\epsilon = \frac{\Delta l_T}{l_T} = \frac{l_K - l_T}{l_T} = \frac{\Delta R/R}{K}, \quad (2)$$

где  $l_T$ ,  $l_K$  и  $\Delta l_T$  — начальная (при  $p=0$ ) и конечная длина (при  $p>0$ ), приращение длины тензорезистора;  $K$  — коэффициент тензочувствительности.

Расчет. Для полупроводниковых тензорезисторов на основе моносulfида самария  $K = 15 \dots 90$ ,  $R = 1000$  Ом [1]. Определим диапазон изменения  $R$  тензорезистора ( $K_{\min} = 15$ ) при условии  $\epsilon_{\min} = 1,050 \cdot 10^{-4}$  ( $p_{\min} = 3$  МПа) и при  $\epsilon_{\max} = 1,225 \cdot 10^{-3}$  ( $p_{\max} = 35$  МПа):  $R_{\min} = 1001,575$  Ом ( $\Delta R_{\min} = 1,575$  Ом) и  $R_{\max} = 1018,375$  Ом ( $\Delta R_{\max} = 18,375$  Ом) и  $\Delta R_{\max}/R = 0,018375$ .

2.1.3. Определим предельно допустимую деформацию и давление цилиндрического элемента с учетом требований прочности. Оценка прочности конструкции [4–7] цилиндрического элемента осуществляется сравнением эквивалентного напряжения  $\sigma_{эkv}$  с предельным напряжением

$$\sigma_{эkv} \leq \sigma_{прег}. \quad (3)$$

Эквивалентное напряжение в оболочках определяется по теории формоизменения по формуле

$$\sigma_{эkv} = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_t^2} - \sigma_m \sigma_t, \quad (4)$$

где  $\sigma_m$  — меридианное напряжение;  $\sigma_t$  — окружное (экваториальное) напряжение. За предельное напряжение  $\sigma_{прег}$  принимают временное сопротивление для материалов  $\sigma_b$ , не имеющих площадки текучести или предел текучести  $\sigma_m$  для остальных материалов.

Расчет: цилиндр не имеет днищ и его края не нагружены, что соответствует случаю тонкостенной трубы с внутренним давлением, то получим  $\sigma_m = 0$ ;

$$\sigma = \frac{p r}{h}. \quad (5)$$

Значит,  $\sigma_{эkv} = \sigma_t$ ,  $\sigma_{прег} = \sigma_b$ ,  $\sigma_t = 245$  МПа ( $p_{\max} = 35$  МПа). Для стали  $\sigma_b = 670$  МПа ( $\sigma_{02} = 300$  МПа). Таким образом, напряжение, созданное максимальным внутренним давлением не превышает предела текучести для стали и  $\sigma_{прег} = \sigma_b/E = 3,35 \cdot 10^{-3}$  и  $p_{прег} = 95$  Мпа. Данный вывод подтверждает возможность использования трубопроводов с рассматриваемыми параметрами для максимального значения 35 МПа.

2.2. *Определение минимального давления  $p_{\min}$  жидкости (газа) в трубопроводах полупроводниковыми преобразователями с чувствительным элементом на основе сульфиды самария.* В связи с тем, что минимальное давление  $p_{\min}$  в трубопроводах с данными чувствительными элементами определяется, в первую очередь, уровнем шумов в полезном сигнале, то в данном разделе проведен оценочный расчет.

Согласно [4] минимальная деформация тензорезистивного преобразователя, измеряемая на фоне тепловых шумов (шумы Джонсона), определяющая порог чувствительности, рассчитывается по выражению:

$$\epsilon_{\min} = \frac{2}{K \delta_\Sigma} \sqrt{\frac{k T \Delta \omega}{I_T b_T [p_0]}}, \quad (6)$$

где  $k = 1,3807 \cdot 10^{-23}$  Дж/К — постоянная Больцмана;  $T$  — абсолютная температура, К;  $\Delta \omega$  — ширина полосы пропускания частот (1/с);  $R$  — сопротивление тензорезистора, Ом;  $b_T$  — ширина тензорезистора;  $[p_0] \leq 5 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta_\Sigma$  — относительная суммарная ошибка тензорезисторного преобразователя.

Для расчета  $\epsilon_{\min}$  в качестве исходных данных примем, что тензочувствительная область поликристаллического слоя моносulfида самария (SmS) имеет размеры  $b_T = 0,4$  мм,  $l_T = 0,6$  мм, а параметры  $T$ ,  $p_0$  и  $\delta_\Sigma$  имеют следующие значения:  $T = 300$  К,  $p_0 = 5 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>,  $\delta_\Sigma = 0,01$  соответственно. Частотный диапазон тепловых шумов является широкополосным, вплоть до диапазона СВЧ, поэтому для расчета можно принять  $\Delta \omega = 50 \cdot 10^9$  Гц.

В результате вычисления при  $K = 15$  получим  $\epsilon_{\min} = 5,5 \cdot 10^{-6}$ , и тогда с учетом формулы (1) минимальное давление составит  $\approx 1,0$  МПа.

Использование системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) обусловлено ее высокими функциональными возможностями: высокой фильтрующей способностью и устойчивой работой с зашумленными сигналами, а также наличием большого выбора подобных устройств в интегральном исполнении. Так, согласно исследованиям [8, 9], минимальным значением для устойчивой работы системы ФАПЧ считается соотношение сигнал/шум для входного сигнала, равное 3. В работе [10] значение подобного параметра принято 5. С учетом важности контролируемого параметра правомерно принять это значение с небольшим запасом, равным 10. При этом отношения амплитуды сигналов равны корню этого соотношения и в данном случае  $\sqrt{10} \approx 3,2$  и с учетом расчетов по формуле (1) минимальное значение амплитуды сигнала на входе системы ФАПЧ будет соответствовать  $p_{\min} \approx 3,0$  МПа. Это значение можно считать нижним пределом измерения рассматриваемой системы измерения давления.

2.3. *Определение собственной частоты трубопровода, жидкости (газа).* Помимо шумовой составляющей на измерительный сигнал накладывается помеха, определяемая паразитными вибрациями элементов КА, передаваемыми на трубопроводы и регистрируемая рассматриваемыми тензорезисторными преобразователями. Эта помеха также фильтруется системой ФАПЧ, однако для корректного подбора ее параметров, а именно фильтра низких частот, важно получить расчетное значение частоты помехи. Подробный частотный анализ трубопроводов при заполнении газом или жидкостью рассмотрен в [7], для которой построены номограммы для определения собственных частот трубопроводов (рис. 5) на основе упрощенного выражения:

$$l_{np} = l + \frac{V}{c}, \quad (7)$$

где  $l_{np}$ ,  $l$  — приведенная длина и длина трубопровода соответственно,  $V$  — объем внутренней полости,  $c$  — площадь поперечного сечения трубопровода.

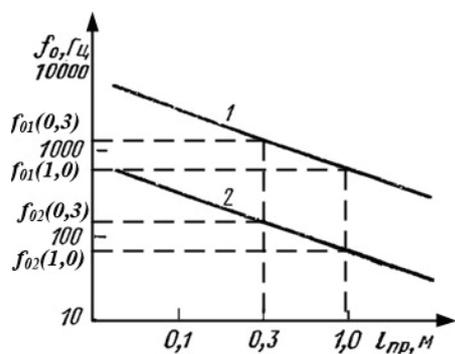


Рис. 5. Зависимость собственной частоты трубопровода: зависимости 1 и 2 соответствуют заполнению трубопровода жидкостью и газом [7]

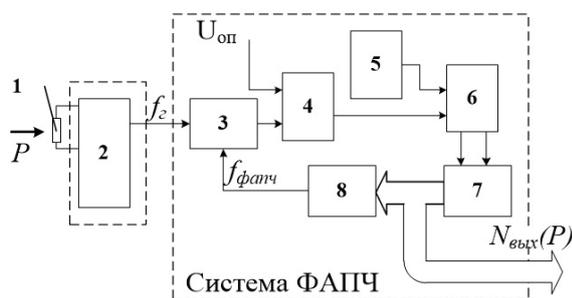


Рис. 6. Измерительная схема давления в трубопроводах

Для малых значений внутреннего объема  $v$  это выражение упрощается к виду  $I_{пр} \approx 1$  и с учетом этого оценочные значения искомым значениям частот, полученные с помощью вышеуказанной номограммы для наиболее распространенных длин трубопроводов 0,3 м и 1,0 м составляют следующие значения:

—  $f_{01}(0,3) \approx 1500$  Гц и  $f_{01}(1,0) \approx 800$  Гц при заполнении жидкостью трубопроводов длиной 0,3 м и 1,0 м;

—  $f_{02}(0,3) \approx 200$  Гц и  $f_{02}(1,0) \approx 80$  Гц при заполнении газом трубопроводов длиной 0,3 м и 1,0 м.

**3. Особенности измерительной схемы для контроля давления.** Рассматривается преимущественный вариант измерительной схемы генераторного типа с зависимостью частоты сигнала от давления  $\Delta f(P)$  с тензодатчиком, используемым в качестве частотно-задающего элемента, подобные рассмотренным в [11–13]. На втором этапе является частотно-цифровое преобразование, формируя полную цепочку преобразования в следующем виде:  $P \rightarrow \Delta f(P) \rightarrow N_{\text{вых}}(P)$ .

Измерительная схема (рис. 6) состоит из чувствительного элемента 1 генераторного датчика давления 2, подключенного к входу системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), состоящей из фазового детектора 3, компаратора 4, генератора 5, логической схемы 6, счетчика 7, цифрового синтезатора частот 8.

Особенность предлагаемого решения заключается во введении системы ФАПЧ с малошумящим цифровым синтезатором частот [14] в контуре обратной связи, реализующей частотно-цифровое преобразование  $N_{\text{вых}}(P)$ . Такое техническое реше-

ние позволяет отфильтровать шумовую составляющую сигнала, а также паразитные спектральные частотные составляющие, обусловленные вибрационными нагрузками в широкой полосе частот, появляющиеся при наземной экспериментальной отработке, на различных этапах транспортировки, подготовки к старту, старте и начальных стадиях полета, в частотном диапазоне до 5000 Гц, повысив соотношение сигнал/шум измерительного сигнала [11].

Конструкция системы ФАПЧ фактически осуществляет частотно-цифровое преобразование следящего типа, как аналог следящего АЦП, при котором уравнивающий код, подающийся на вход синтезатора частот, является также и выходным цифровым кодом.

Хорошими характеристиками для использования в такой системе ФАПЧ обладает интегральная микросхема ADF5610 (пр-во Analog Devices, США) представляет собой 24-разрядный синтезатор частоты с ФАПЧ со встроенным ГУН с возможностью генерации сигнала в диапазоне от 55 до 15000 МГц. Для настройки выходного сигнала микросхема содержит 24-разрядный модуль настройки частоты, что позволяет генерировать сигнал с дискретным шагом в 3 Гц [12]. Такой синтезатор в интегральном исполнении может включаться в систему ФАПЧ через делитель частоты, позволяя существенно уменьшить массо-габаритные показатели всей измерительной схемы.

#### Заключение.

1. В статье представлена методика расчета максимального и минимального значений давления жидкости (газа) для трубопроводов ДУ КА из материала 12X18H10T при использовании полупроводниковых преобразователей с чувствительным элементом на основе сульфида самария. Они составили 35,0 МПа и 3,0 МПа соответственно.

2. Максимальное значение измеряемого давления в значительной степени определяется прочностными параметрами используемых трубопроводов.

3. Минимальное значение измеряемого давления определяется зашумленностью измерительного сигнала, уровень которых можно оценить по уровню тепловых шумов, возникающих в тензорезисторах, а также фильтрующей способностью используемой системы ФАПЧ.

4. Параметры трубопроводов (длина, заполнение газом или жидкостью) определяют их собственные частоты, используемых для подбора динамических характеристик системы ФАПЧ.

#### Благодарности

Авторы благодарны одному из ведущих специалистов в российской тензометрии Николаю Михайловичу Володину (АО «НПО Лавочкина», г. Москва) за поддержку, помощь в работе и за обсуждение полученных результатов.

#### Библиографический список

1. Kaminskiy V. V., Stepanov N. N., Volodin N. M., Mishin Yu. N. Baroresistor effect and semiconductor thin film baroresistors based on samarium sulfide for spacecraft applications // Solar System Research. 2014. Vol. 48, no. 7. P. 561–567. DOI: 10.1134/S0038094614070107.
2. Каминский В. В., Степанов Н. Н., Володин Н. М., Мишин Ю. Н. Барорезистивный эффект и полупроводниковые тонкопленочные барорезисторы на основе сульфида

самария для аэрокосмических аппаратов // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2013. № 1. С. 11–16.

3. Глагольский Б. А., Пивен И. Д. Электротензометры сопротивления. Изд. 2-е, перераб. Л.: Энергия, 1972. 88 с.

4. Распопов В. Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с. ISBN 5-217-03360-6.

5. Оболенский Е. П., Сахаров Б. И., Стрекозов Н. П. Прочность агрегатов оборудования и элементов систем жизнеобеспечения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1989. 248 с. ISBN 5-217-00520-3.

6. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин: измерительные преобразователи. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. 320 с.

7. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Осадчего Е. П. М.: Машиностроение, 1979. 480 с.

8. Шахгильдяев В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М.: Связь, 1972. 446 с.

9. Леун Е. В. Исследование адаптивной волоконной измерительной головки для бесконтактного измерения отклонений размеров деталей на основе управляемого акустооптоэлектронной обратной связи: дис. ... канд. техн. наук. М., 1994. 223 с.

10. Базыкин С. Н. Помехоустойчивые лазерные акустооптические интерферометры для управления автоматизированным технологическим оборудованием: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 1996. 180 с.

11. Пат. 2396705 Российская Федерация, МПК Н 03 К 5/00. Частотный преобразователь сигнала разбаланса тензомоста / Васильев В. А., Громков Н. В. № 2009129559; заявл. 31.07.09; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22.

12. Пат. 2408857 Российская Федерация, МПК G 01 L 9/04, В 82 В 1/00. Датчик давления на основе нано- и микроэлектромеханической системы с частотным выходным сигналом / Васильев В. А., Громков Н. В. № 2009142167; заявл. 16.11.09; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1.

13. Пат. 2406985 Российская Федерация, МПК G 01 L 9/04, В 82 В 1/00. Устройство для измерения давления с частотным выходом на основе нано- и микроэлектромеханической системы / Васильев В. А., Громков Н. В. № 2009132770; заявл. 31.08.09; опубл. 20.12.10; Бюл. № 35.

14. Широкополосный синтезатор с ФАПЧ со встроенным ГУН ADF5610 // Электроника: наука, технология, бизнес. 2019. № 1 (182). С. 117.

**ПЛАТОВ Илья Вячеславович**, кандидат технических наук, инженер-конструктор 2-й категории АО «НПО Лавочкина».

Адрес для переписки: tenzo@laspace.ru

**ЛЕУН Евгений Владимирович**, кандидат технических наук, ведущий инженер АО «НПО Лавочкина».

SPIN-код: 6060-8056

AuthorID (РИНЦ): 367560

AuthorID (SCOPUS): 57200722184

Адрес для переписки: stankin1999@mail.ru

**ЧЕРЕДОВ Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 6957-1660

AuthorID (РИНЦ): 471995

Адрес для переписки: stankin1999@mail.ru

**МИШИН Юрий Николаевич**, начальник сектора АО «НПО Лавочкина».

SPIN-код: 1017-6421

AuthorID (РИНЦ): 819110

Адрес для переписки: tenzo@laspace.ru

#### Для цитирования

Платов И. В., Леун Е. В., Чередов А. И., Мишин Ю. Н. Особенности контроля давления в трубопроводах двигательных установок космических аппаратов // Омский научный вестник. 2019. № 4 (166). С. 78–83. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-166-78-83.

Статья поступила в редакцию 19.06.2019 г.

© И. В. Платов, Е. В. Леун, А. И. Чередов, Ю. Н. Мишин