

УДК 531.781.2

ББК 32.97

РЕЗЕРВНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Карасева Т. В.¹, Борисова М. М.²

*(Арзамасский политехнический институт НГТУ им. Р.Е.
Алексеева, Арзамас)*

В статье рассмотрены основные принципы построения резервной информационной системы летательного аппарата (РИСЛА), определена структурная схема, описан принцип работы системы и взаимодействие между собой отдельных составных блоков. Предложен способ повышения точности, изменения массогабаритных характеристик РИСЛА за счет замены блока датчиков ориентации. В статье также представлена методика проверки датчика угловых скоростей STIM210 компании Sensoror (Норвегия).

Ключевые слова: навигационная система ориентации, микроэлектромеханические системы (МЭМС), внедрение МЭМС.

1. Введение

Современная наука не стоит на месте, и уровень развития электроники позволяет по-другому взглянуть на навигационные системы ориентации; на смену аналоговым вычислителям пришли компактные цифровые устройства. Применение цифровых устройств в навигационной системе ориентации позволяет повысить точность, надежность и уменьшить габариты чувстви-

¹ Карасева Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, доцент (tatjanakaraseva@yandex.ru)

² Борисова Марина Михайловна, студент (Marina4534FMRU@rambler.ru)

тельных элементов (гироскопы, акселерометры). В качестве чувствительных элементов навигационной системы ориентации применяются миниатюрные акселерометры и гироскопы, выполненные по МЭМС технологиям.

2. Основные узлы резервной информационной системы летательного аппарата

В статье рассматривается резервная информационная система летательного аппарата (РИСЛА), в которой будут применяться датчики первичной информации, основанные на МЭМС, что позволит уменьшить массогабаритные характеристики и повысить точностные параметры.

Резервная информационная система летательного аппарата, применяемая в гражданских целях, предназначена для формирования, индикации и выдачи потребителю гиромагнитного курса, заданного курса, углов крена и тангажа, давления у поверхности Земли, абсолютной и относительной барометрической высот, вертикальной и приборной скоростей, а также для индикации параметров, поступающих на вход системы от бортовой аппаратуры.

В состав блока РИСЛА входят:

- модуль фильтров (9), три вторичных источника питания (10), модуль защиты и фильтрации (11), предназначенные для обеспечения всех частей и модулей системы питающими стабилизированными напряжениями;
- делитель напряжения (3), служащий для преобразования напряжения;
- блок датчиков ориентации (1), состоящий из трехосевого модульно-сенсорного акселерометра, датчика угловых скоростей *STIM210*, которые выдают измеренные параметры в цифровом коде;
- два датчика давления (2), предназначенных для определения полного и статического давления;
- модуль преобразования (8), служащий для преобразования аналоговых сигналов, поступающих от датчиков давления в

цифровой код, а также для преобразования интерфейсов микро-электромеханических датчиков;

- модуль сопряжения (4), служащий для преобразования частотных сигналов, поступающих с датчиков давления (2);

- процессорный модуль (6), предназначенный для вычисления по заложенным алгоритмам высотно-скоростных параметров и углов пространственного положения объекта;

- адаптер интерфейса (5), предназначенный для обеспечения приёма и выдачи информации по каналам информационного обмена;

- видеомодуль (7), предназначенный для формирования изображения и индикации высотно-скоростных параметров и углов пространственного положения объекта.

Структурная схема системы представлена на рисунке 1. Технические характеристики РИСЛА представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики РИСЛА

Параметры	Значения
Угловая скорость, °/с	до ± 100
Диапазон рабочих углов, °: - крен; - тангаж	± 180 ± 90
Температура окружающей среды для блока, °С	от - 40 до + 55
Гиромагнитный курс, °	± 180
Задаваемый диапазон давления у Земли, мм. рт. ст.	от 520 до 806
Линейная нагрузка, г	до 50
Абсолютная барометрическая (геопотенциальная) высота, м	от минус 500 до 7000
Приборная скорость, км/ч	
Вертикальная барометрическая скорость, м/с	от минус 30 до 30
Электропитание, В	27
Габаритные размеры блока, мм	130×120×184
Масса блока, кг	2,700

Схемы построения аналогичных систем являются однотипными и, как правило, практически не отличаются друг от друга, независимо от производителя. Основное отличие таких систем заключается в применяемых датчиках первичной информации. Зарубежные резервные системы строятся на цифровых датчиках, выполненных по МЭМС технологии. Отечественные производи-

тели с опаской относятся к применению таких датчиков, т.к. не считают их достаточно надежными. Одним из примеров создания такой отечественной системы является ИСРП-26 (Россия, г. Арзамас, ОАО «АНПП «ТЕМП-АВИА») [3].

В состав интегрированной системы резервных приборов ИСРП-26 входят блок ориентации и индикации и магнитометр аналоговый.

Определение параметров осуществляется на основе физических измерений угловой скорости, линейного ускорения, статического и полного давлений, проекций напряженности магнитного поля Земли и их последующей математической обработки.

ИСРП-26 функционально состоит из:

- блока датчика ориентации;
- датчиков давления;
- делителя напряжения;
- модулей питания;
- модуля электроники;
- адаптера интерфейса;
- процессорного модуля;
- видеомодуля.

Основные технические характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики ИСРП-26

Параметр	Значения
1	2
Диапазон рабочих угловых скоростей, °/с	±100
Диапазон рабочих температур, °С	от - 40 до + 55
Максимальное линейное ускорение, g	50
Рабочее напряжение питания, В	27
Габаритные размеры блока, мм	130×120×215
Диапазон рабочих углов, °:	
- крен;	±180
- тангаж;	±90
- курс.	±180

Продолжение таблицы 2

1	2
Интерфейс информационного обмена - RS-232; - ARINC-429.	Да Да
Масса блока ИСПП-26, кг	3,4

При разработке РИСЛА было предложено заменить блок датчиков ориентации, построенных на традиционных принципах, на блок в МЭМС исполнении. Три акселерометра с магнитоэлектрической обратной связью компенсационного типа АТ 1104-50 (Россия, г. Арзамас, ОАО «АНПП «ТЕМП-АВИА»») [1] были заменены на трехосевой модульно-сенсорный акселерометр МСА (Россия, г. Арзамас, ОАО «АНПП «ТЕМП-АВИА»»), а три волоконно-оптических гироскопа ВГ 941 (Россия, г. Арзамас, ООО «ФИЗОПТИКА») [2] на трехосевой датчик угловых скоростей (ДУС) *STIM210* (Норвегия, компания *Sensoror*) [4]. Такая замена привела к уменьшению массы в среднем на 20% и габаритных размеров системы на 25%. Еще одним положительным моментом такой замены станет отказ от дополнительной платы преобразования аналоговых выходных сигналов в соответствующий цифровой код, так как предложенные датчики выдают сигнал в цифровом коде. Достоинствами микроэлектромеханических датчиков является малый разброс параметров в пределах изделия, низкое энергопотребление, высокая технологичность и повторяемость, микроминиатюрность, функциональность, надежность и стойкость к внешним воздействиям.

3. Методика проверки датчика угловых скоростей *STIM210*

Существуют проблемы, с которыми сталкиваются многие разработчики изделий на базе микроэлектромеханических датчиков. Это несоответствие параметров, выдаваемых датчиками. Необходимо выбрать надежного и зарекомендованного поставщика МЭМС, так как существует много производителей таких датчиков и есть вероятность того, что можно наткнуться на брак

или несоответствие предъявляемых параметров. Для разработчика важна надежность и точность МЭМС, и необходим баланс точности между датчиками и конечным изделием. Прежде чем устанавливать микроэлектромеханические датчики в систему РИСЛА, необходимо провести проверочные работы. Важно грамотно планировать входной контроль и выбор поставщика, это позволит правильно подобрать нужные датчики и сохранить надежность и точность работы системы РИСЛА.

Одним из основных чувствительных элементов систем ориентации и навигации является датчик угловых скоростей. Они в большей степени определяют механические, массогабаритные и стоимостные характеристики систем. Поэтому оптимальный выбор датчиков угловой скорости является одной из важнейших задач проектирования системы. Для построения РИСЛА предложен датчик угловой скорости *STIM210*, выполненный на базе МЭМС технологий.

Датчик угловой скорости *STIM210* - это набор из трех высокоточных микроэлектромеханических гироскопов в миниатюрном корпусе. Каждая ось калибруется на производстве по смещению, чувствительности и имеет температурную компенсацию для обеспечения высокочастотных измерений на температурном диапазоне от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Блок питается от одного источника $+5\text{ В}$. Калибровка датчика по температуре осуществляется для отображения температуры окружающей среды, а не внутренней температуры нагрева датчика [4].

Основные технические характеристики ДУС представлены в таблице 3.

Таблица 3. Основные технические характеристики датчика угловых скоростей *STIM210*

Параметр	<i>STIM210</i>
1	2
Количество осей чувствительности	3
Диапазон измеряемых угловых скоростей, $^{\circ}/\text{с}$	± 400
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	от -40 до $+85$
Точность смещения нуля, $^{\circ}/\text{ч}$	$-250 \dots +250$

Продолжение таблицы 3

1	2
Нестабильность смещения нуля по температурным градиентам, °/ч	
Стабильность масштабного коэффициента от времени, %	$\pm 0,5$
Напряжение питания, В	5
Потребляемая мощность, Вт	1,5
Вес не более, г	52
Размер, мм	21.5×38.6×44.8

Примечание:

* - Среднеквадратичное значение, рассчитываемое на основе остаточной погрешности по двум температурным циклам.

3.1 Проверка параметров датчика от включения к включению

Неповторяемость нулевого сигнала от включения к включению представлена в таблице 4.

Таблица 4. Параметры, полученные от включения к включению датчика STIM210

$w_x, ^\circ/\text{ч}$	$w_y, ^\circ/\text{ч}$	$w_z, ^\circ/\text{ч}$
-100.1	18.5	332.0
-99.9	16.7	330.1
-100.8	17.8	326.8
-100.5	12.3	335.8
-101.1	14.2	326.5

Неповторяемость нулевого сигнала от включения к включению в нормальных условиях составила: ось X: 1.2 °/ч, ось Y: 6.2 °/ч, ось Z: 9.5 °/ч.

3.2 Определение нулевого сигнала ДУС от температуры при нагреве

Для того, чтобы определить зависимость нулевого сигнала ДУС от температуры, необходимо поместить датчик в термокамеру и изменять температуру от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$, полученные результаты записываются в ноутбук.

В таблице 5 приведены результаты трех замеров при нагреве от -40°C до 0°C .

Таблица 5. Параметры, полученные при нагреве от минус 40°C до 0°C

	Температура, $^{\circ}\text{C}$				
	-40	-30	-20	-10	0
	Нулевой сигнал, $^{\circ}\text{C}$				
X_1	-84.8	-87.5	-96.4	-96.7	-96.6
X_2	-89.5	-80.9	-90.9	-96.1	-102.7
X_3	-84.8	-87.7	-97.0	-94.6	-95.6
Y_1	-32.5	-28.2	-7.0	1.2	11.8
Y_2	-66.6	-60.7	-51.4	-39.2	-25.5
Y_3	-32.5	-25.7	-20.1	-7.0	7.5
Z_1	176.5	280.1	334.5	368.2	406.7
Z_2	148.9	239.0	258.4	251.1	280.8
Z_3	176.5	274.8	322.1	353.6	383.6

В таблице 6 приведены результаты трех замеров при нагреве от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+60^{\circ}\text{C}$.

Таблица 6. Параметры, полученные при нагреве от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+60^{\circ}\text{C}$

	Температура, $^{\circ}\text{C}$					
	10	20	30	40	50	60
	Нулевой сигнал, $^{\circ}\text{C}$					
1	2	3	4	5	6	7
X_1	-102.2	-106.0	-106.4	-96.9	-100.6	-93.4
X_2	-103.5	-110.8	-107.8	-101.9	-103.9	-94.9
X_3	-99.3	-105.2	-106.0	-110.1	-102.1	-99.1
Y_1	18.9	26.0	44.94	51.86	60.0	51.4
Y_2	-13.3	1.5	14.3	21.2	32.2	24.1

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
Y_3	20.2	22.7	26.8	40.6	56.3	60.0
Z_1	405.2	375.8	340.5	317.1	276.7	212.4
Z_2	286.1	268.9	228.4	234.3	228.7	195.7
Z_3	414.3	396.6	377.9	345.6	322.0	266.5

Графики данных зависимостей при нагреве от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$ приведены на рисунках 2, 3.

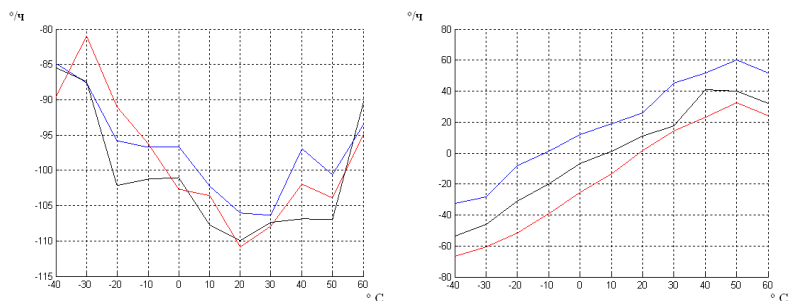


Рис. 2. Измерение по осям X и Y

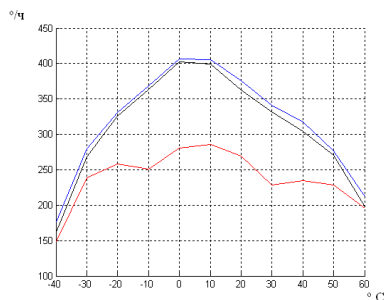


Рис. 3. Измерение по оси Z

Максимальное смещение нулевого сигнала при нагреве с -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$: ось X: 29.9°C , ось Y: 98.8°C , ось Z: 230.2°C , максимальная неповторяемость смещения нулевого сигнала: ось

X: 6.1 °/ч, ось Y: 15.1 ° /ч; одно из измерений по оси Z имеет большую неповторяемость, с его учетом она составила 149.5 °/ч, без его учета – 28.5 °/ч.

3.3 Определение нулевого сигнала ДУС от температуры при охлаждении

Датчик *STIM210* необходимо поместить в термокамеру и охлаждать от + 60° С до - 40° С, полученные результаты записываются в ноутбук (из-за самопрогрева датчик не охлаждался ниже минус 35° С).

В таблице 7 представлены параметры, полученные при охлаждении от +60° С до + 10° С.

Таблица 7. Параметры, полученные при охлаждении датчика от + 60° С до + 10° С

	Температура, °С					
	60	50	40	30	20	10
	Нулевой сигнал, °/ч					
X_1	-85.7	-82.4	-82.1	-78.3	-82.7	-84.9
X_2	-85.0	-88.4	-87.2	-87.1	-88.0	-95.6
X_3	-86.1	-82.5	-93.6	-79.1	-83.2	-91.3
Y_1	-60.1	-61.7	-44.4	-36.3	-31.1	-27.4
Y_2	-64.6	-64.1	-45.7	-45.8	-36.4	-32.9
Y_3	-68.8	-67.0	-55.0	-50.6	-43.4	-44.9
Z_1	79.4	90.9	112.4	142.1	193.1	205.8
Z_2	80.0	92.9	114.6	139.4	194.3	210.0
Z_3	70.8	86.5	114.2	136.0	189.5	208.7

В таблице 8 представлены параметры, полученные при охлаждении от 0° С до - 35° С.

Графики данных зависимостей при охлаждении приведены на рисунках 4, 5.

Таблица 8. Параметры, полученные при охлаждении датчика от 0°C до -35°C

	Температура, $^{\circ}\text{C}$				
	0	-10	-20	-30	
	Нулевой сигнал, $\%/\text{ч}$				
X_1	-90.3	-93.7	-90.7	-88.5	-83.8
X_2	-103.7	-101.5	-96.1	-98.0	-90.9
X_3	-93.3	-93.5	-89.8	-79.5	-85.0
Y_1	-9.5	-5.1	12.7	21.5	24.4
Y_2	-17.8	-5.8	8.6	14.5	13.9
Y_3	-26.7	-14.4	-2.4	9.3	18.0
Z_1	176.2	126.3	161.4	172.4	161.6
Z_2	182.5	128.6	164.9	170.0	167.6
Z_3	174.8	124.2	165.8	170.4	165.9

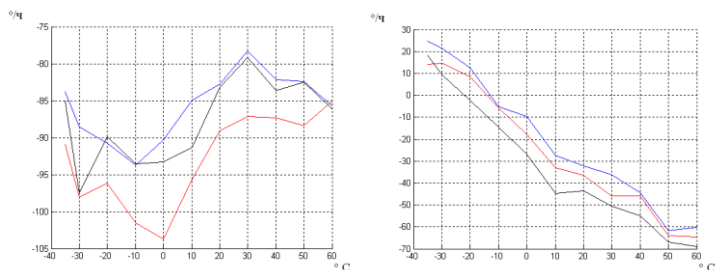


Рис. 4. Измерение по осям X и Y

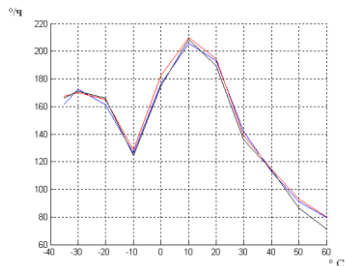


Рис. 5. Измерение по оси Z

Максимальное смещение нулевого сигнала при охлаждении с $+60^{\circ}\text{C}$ до -40°C : ось X: $45.0^{\circ}/\text{ч}$, ось Y: $86.8^{\circ}/\text{ч}$, ось Z: $137.9^{\circ}/\text{ч}$, максимальная неповторяемость смещения нулевого сигнала: ось X: $6.1^{\circ}/\text{ч}$, ось Y: $15.1^{\circ}/\text{ч}$, ось Z: $9.2^{\circ}/\text{ч}$.

3.4 Зависимость смещения нулевого сигнала от температуры на фиксированных точках

Зависимость смещения нулевого сигнала от температуры на фиксированных точках -40°C , -20°C , 0°C , 20°C , 40°C , 60°C с выдержкой два часа представлена на рисунках 6, 7.

Максимальное смещение нулевого сигнала при определении зависимости смещения нулевого сигнала от температуры на фиксированных точках температуры: ось X: $28.8^{\circ}/\text{ч}$, ось Y: $91.4^{\circ}/\text{ч}$, ось Z: $155.6^{\circ}/\text{ч}$.

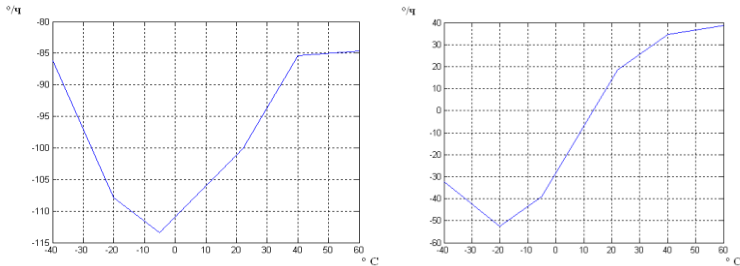


Рис. 6. Измерение по осям X и Y

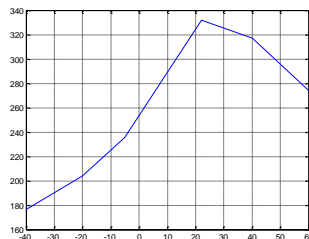


Рис. 7. Измерение по оси Z

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что микромеханический гироскоп *STIM210* соответствует заявленным производителем характеристикам. Испытания показали, что после охлаждения модуля ниже -40°C происходит резкое увеличение нулевого сигнала, но для системы РИСЛА необходим диапазон от -40°C до $+55^{\circ}\text{C}$. Точностные характеристики датчика *STIM210* находятся на одном уровне с характеристиками применяемых сейчас волоконно-оптических гироскопов.

4. **Заключение**

Навигационная система ориентации это сложная электромеханическая система, в которой точность выходной навигационной информации напрямую зависит от характеристик блока датчиков ориентации (гироскопы, акселерометры), входящих в состав системы, и поэтому выбор их очень важен для разработки системы. В проектируемой РИСЛА для реализации навигационного алгоритма были выбраны датчики, основанные на МЭМС технологиях. Прежде чем установить такие датчики, необходимо провести входной контроль, так как точность выходной навигационной информации зависит от блока датчиков ориентации. Результатом сделанной замены стало уменьшение габаритных размеров и массы системы, при одновременном сохранении точности и надежности выдаваемых параметров. Еще одним положительным моментом такой замены стал отказ от дополнительной платы, которая была предназначена для преобразования аналоговых сигналов, поступающих от датчиков традиционного исполнения. МЭМС выдают сигнал в цифровом коде, и нет необходимости в дополнительном преобразовании.

Применение МЭМС технологий позволит сохранить точность и надежность выдаваемых параметров системы и обеспечить минимальные массогабаритные параметры. Современные микроэлектромеханические датчики являются хорошим примером воплощения нового поколения, и, возможно, в будущем смогут полностью заменить датчики традиционного исполнения.

Литература

1. АТ1104-50 ОАО АНПП «ТЕМП-АВИА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.temp-avia.ru/index-18.htm.
2. ВГ941 ООО «ФИЗОПТИКА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.fizoptika.ru/description/tu.pdf
3. ИСРП-26 ОАО АНПП «ТЕМП-АВИА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.temp-avia.ru/index-5.htm
4. STIM210 компания Sensoror [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sensoror.com/gyro-products/gyro-modules/stim210.aspx

RESERVE INFORMATION SYSTEM OF AIRCRAFT

Tatiana Karaseva, Arzamas polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev, Arzamas, dochent (tatjanakaraseva@yandex.ru).

Marina Borisova, Arzamas polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev, Arzamas, student (Marina4534FMRU@rambler.ru).

Abstract: In the article is considered a base approach of building a reserve information system of aircraft (RISLA), defined the block diagram, described the principle of operation the system and the interaction the separate combined blocks between themselves. Is propoused the way of increaseing precision and redusing the mass and overall dimensions of RISLA due to replacement the block of orientation sensors. The same way in the article is present the method of verification angle rate sensor STIM210 the Sensoror company (Norway).

Keywords: navigation system, microelectromechanical systems (MEMS), introduction MEMS.