

УДК 621.77(045)

О. А. Сущенко, канд. техн. наук,  
С. Г. Егоров,  
С. В. Карасев

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: fsu@nau.edu.ua

*Представлена методика выбора гироскопического измерителя для системы стабилизации информационно-измерительных устройств. Выполнен сравнительный анализ традиционных гироскопических измерителей и датчиков, созданных по новым технологиям. Исследована обобщенная модель гироскопического измерителя скорости. Эффективность предложенной методики подтверждена результатами моделирования.*

**Ключевые слова:** гироскопический измеритель, система стабилизации информационно-измерительных устройств.

**Введение.** Качество процессов слежения и стабилизации в системах стабилизации информационно-измерительных устройств, предназначенных для эксплуатации на подвижных объектах, во многом определяется выбором гироскопического измерителя скорости, который является основным измерителем в системах такого типа. При этом необходимо обеспечивать высокую точность в условиях сложных маневров подвижного объекта, сопровождающихся внешними возмущениями.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Как показано в работе [1], гироскопический измеритель угловой скорости имеет большое влияние на характеристики системы исследуемого типа. В зависимости от особенностей назначения и предъявляемых требований в таких системах могут использоваться гироскопические измерители разного типа. В отдельных случаях используются электромеханические гироскопические измерители угловой скорости. К их преимуществам относятся высокая точность, низкие шумы и хорошие динамические характеристики. Но эти устройства являются сложными, как в производстве, так и в эксплуатации. Поэтому сейчас все больше начинают использоваться измерители, построенные на волоконно-оптических гироскопах, которые также имеют хорошие точностные и динамические характеристики, но отличаются большим ресурсом работы в сравнении с электромеханическими гироскопами. Обзор таких измерителей, представляющих интерес для использования в системах исследуемого типа, проведен в работе [2]. В системах стабилизации могут также использоваться гироскопические измерители, построенные по MEMS-технологии, которые характеризуются низкой стоимостью и удобством в эксплуатации. Обзор гироскопических измерителей MEMS-гироскопов, представляющих интерес для использования в системах стабилизации информационно-измерительных устройств, представлен в работе [3].

**Целью** исследований, результаты которых приведены в этой работе, является создание методики выбора гироскопических измерителей угловой скорости для систем стабилизации информационно-измерительных устройств.

**Сравнительный анализ современных гироскопических измерителей.** В настоящее время гироскопические измерители угловой скорости, построенные по волоконно-оптической технологии, широко используются в системах стабилизации исследуемого типа. Преимуществами таких измерителей являются отсутствие подвижных частей, малое время готовности, высокая чувствительность и точность. Но такие измерители характеризуются значительными массогабаритными характеристиками, что, прежде всего, связано с необходимостью использования приемо-передающих устройств, и высокой стоимостью, обусловленной наличием ручных операций в их производстве. Кроме того, измерители этого

типа характеризуются не слишком высокой устойчивостью к ударам, что имеет существенное значение для рассматриваемой области применения.

Использование гироскопических измерителей угловой скорости, построенных по MEMS-технологии, является одним из основных направлений современного приборостроения. Такие датчики имеют широкую область применения, в том числе стабилизацию платформ с установленными на них информационно-измерительными устройствами. Процесс развития датчиков этого типа не является завершенным. Он характеризуется повышением точностных характеристик, улучшением эксплуатационных свойств, уменьшением стоимости и усовершенствованием технологии датчиков. К основным преимуществам этих датчиков относятся простота эксплуатации и невысокая стоимость. В части же точностных характеристик требуется достижение определенного прогресса. Ряд измерителей этого типа характеризуется достаточно высокой устойчивостью к ударам. Но измерители угловой скорости этого типа имеют определенные особенности. Их характеристики имеют некоторый статистический разброс, обусловленный неизбежными отклонениями условий производства от заданных в технической документации. Кроме того, процессы старения в отдельных измерителях происходят с разной скоростью. Поэтому измерители этого типа для приложений высокой точности требуют компенсации дрейфа нуля. Поэтому, как правило, во многих случаях для улучшения их характеристик необходимо использовать корректирующие устройства разной сложности. Следует отметить, что многие современные датчики имеют встроенные средства, позволяющие улучшить их характеристики. Так, во многих измерителях угловой скорости, построенных по MEMS-технологии, используются встроенные системы термокомпенсации. В последнее время появляется тенденция улучшения характеристик MEMS-измерителей за счет проектирования и использования регуляторов, обеспечивающих робастное качество измерителей в условиях вариаций параметров измерителя [4]. Такие регуляторы способны обеспечить желаемые характеристики по запасу устойчивости, полосе пропускания, постоянной величине масштабного коэффициента.

Характеристики измерителей угловой скорости разного типа представлены в таблице.

**Параметры измерителей угловых скоростей, которые могут использоваться для систем стабилизации информационно-измерительных устройств**

№ п/п	Тип измерителя	Тип технологии	Производитель	Диапазон измерения, град/с	Полоса пропускания, Гц	Стойкость к ударам, g
1	ГТ	Электро-механический	Украина	50	40	150
2	G20-075-100	MEMS	Gladiator Technologies	75	100	500
3	SDG1000	MEMS	Systron Donner	75	>100	200
4	MAG16	MEMS	Northrop Grumman	150	400	-
5	ВГ910Ф	Волоконно-оптическая	Физоптика, Россия	150	450	90

**Методика выбора гироскопического измерителя угловой скорости для систем стабилизации информационно-измерительных устройств.** Методику выбора измерителей угловой скорости систем исследуемого типа целесообразно определять на основании особенностей назначения и условий эксплуатации. На ранних этапах проектирования такая методика может базироваться на проведении моделирования с помощью математической модели системы стабилизации и математических моделей соответствующих измерителей угловой скорости. Процесс выбора измерителя угловой скорости является достаточно сложным и включает в себя следующие этапы:

1. Создание обобщенной математической модели гироскопического измерителя угловой скорости.
2. Выбор моделирующих внешних воздействий, наиболее типичных для эксплуатации системы рассматриваемого типа.
3. Моделирование системы и оценка точности отработки положения объекта в пространстве.
4. Оценка влияния основных параметров измерителя угловой скорости на точностные характеристики системы.
5. Обязательное исследование влияния интервала дискретности обработки информации на характеристики системы.
6. Анализ результатов моделирования и окончательный выбор датчика угловой скорости.

Использование обобщенной математической модели измерителя облегчает анализ возможности использования датчиков разного типа. Кроме того, такая модель должна быть достаточно простой, в отличие от моделей, используемых проектировщиками измерителей, и основываться на их общих характеристиках.

В качестве моделирующих воздействий для системы рассматриваемого типа следует рассмотреть, по крайней мере, два основных воздействия, подаваемых на вход измерителя. Во-первых, необходимо промоделировать воздействие гармонического сигнала, реакция на который позволяет оценить динамическую погрешность системы. Во-вторых, необходимо проанализировать реакцию систему на импульсное воздействие, которое соответствует воздействию ударов в реальных условиях эксплуатации.

При моделировании использовалась обобщенная математическая модель измерителя угловой скорости в виде передаточной функции [5]

$$W = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2},$$

где  $\omega$  – полоса пропускания (рад/с);  $\xi$  – коэффициент демпфирования.

Вычислительная схема гироскопического измерителя угловой скорости [5] представлена на рис. 1. Эта схема составлена средствами пакета расширения Simulink, который входит в состав вычислительной системы MATLAB.

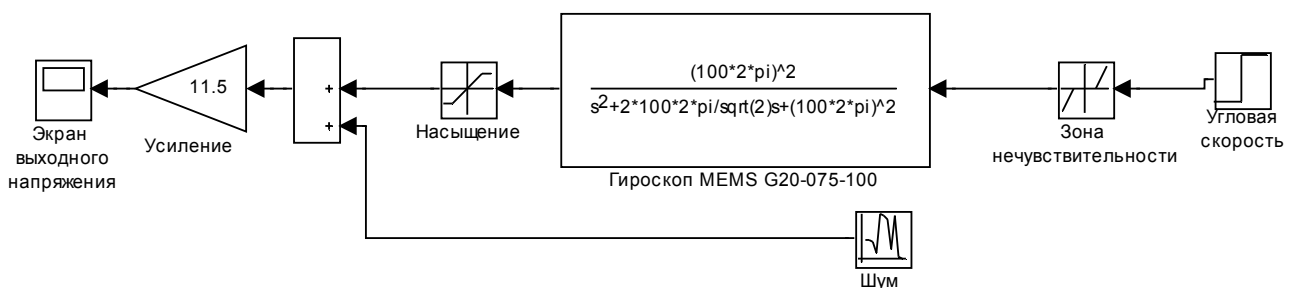


Рис. 1. Вычислительная схема гироскопического измерителя угловой скорости

В модели, представленной на рис. 1, учитывается диапазон измерения измерителя, зона его нелинейности и воздействие случайной погрешности. Следует отметить, что коэффициент передачи измерителя может варьироваться в зависимости от коэффициентов усиления контуров управления системы стабилизации.

Результаты моделирования системы стабилизации информационно-измерительных устройств с измерителями разных типов представлены на рис. 2. При этом на рис. 2 а, б представлена реакция системы на гармоническое воздействия при вхождении в систему измерителей угловой скорости ГТ и G20-075-100 при одних и тех же параметрах контуров управления.

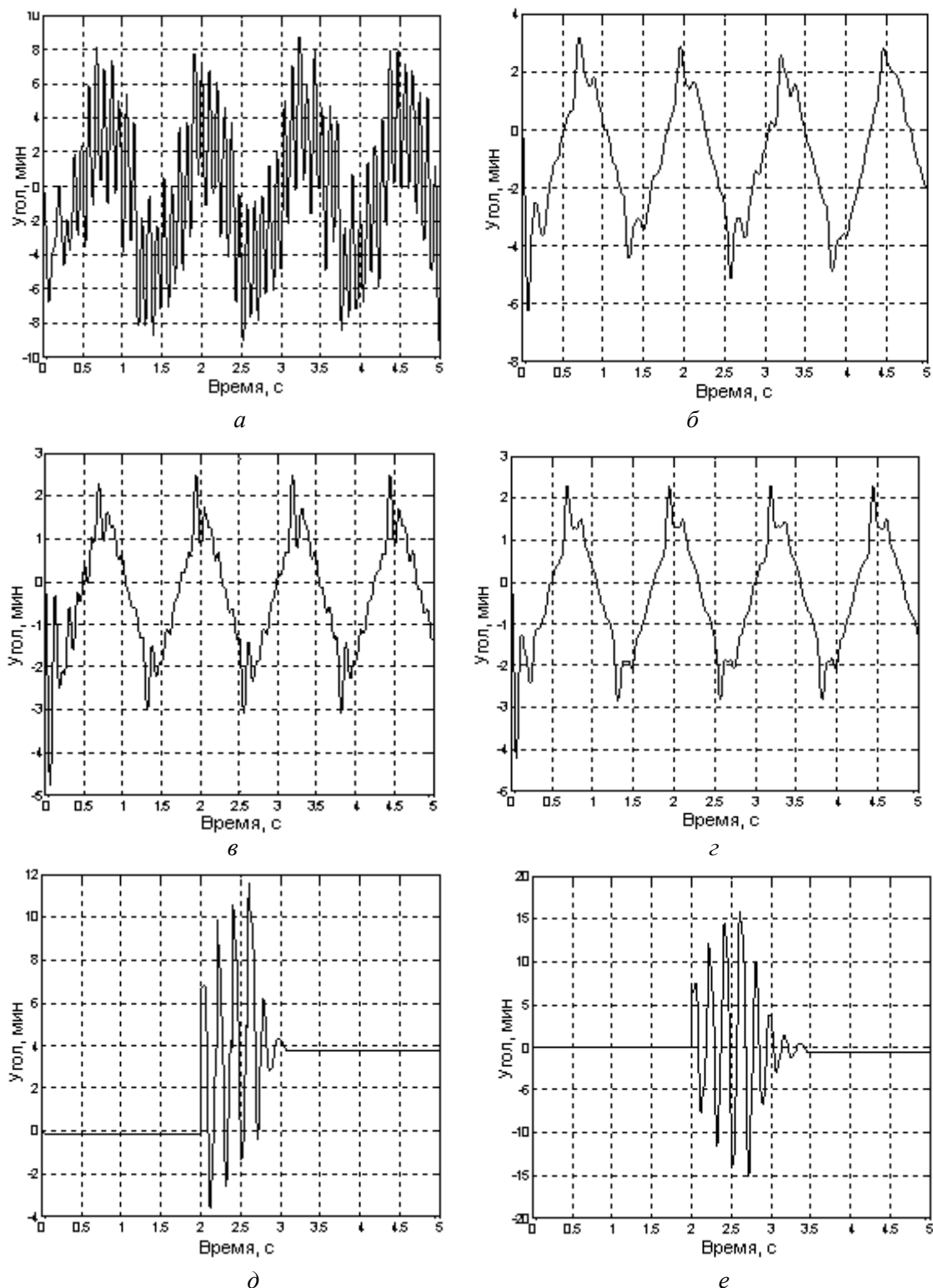


Рис. 2. Результаты моделирования системы стабилизации информационно-измерительных устройств с разными типами измерителей угловой скорости: *а* – с использованием гиротаксометра; *б* – с использованием MEMS-измерителя G20-075-100; *в, г* – влияние полосы пропускания 100 Гц (*в*) и 400 Гц (*г*) измерителя на динамическую погрешность системы стабилизации; *д* – обработка импульсного воздействия при дискретности обработки информации 2,5 мс; *е* – обработка импульсного воздействия при дискретности обработки информации 0,5 мс

При моделировании был использован достаточно большой коэффициент усиления по основной цепи, который, как следует из рис. 2, *а*, приводит к колебательности, но известно,

что при этом обеспечивается достаточная жесткость системы по моменту. Результаты моделирования показывают, что введение измерителя угловой скорости нового типа G20-075-100 решает проблему колебательности, обеспечивая при этом достаточную жесткость системы.

Результаты исследования влияния увеличения полосы пропускания (с 200 до 400 Гц) на динамическую погрешность системы показаны на рис. 2 в, г. Повышение полосы пропускания приводит к улучшению помехоустойчивости системы и позволяет обеспечить требования по ее жесткости, поскольку снижает колебательность при достаточно высоком коэффициенте усиления.

Положительное влияние уменьшения дискретности обработки сигналов системы стабилизации при воздействии ударов показано на рис. 2 д, е. Как следует из рис. 2, е, уменьшение дискретности снимает остаточную погрешность отработки импульсного воздействия.

**Выводы.** Представлена методика выбора гироскопического измерителя угловой скорости для системы стабилизации информационно-измерительных устройств. Результаты моделирования показывают преимущества измерителей нового типа, при этом высокая полоса пропускания и малый интервал дискретности обработки информации приводят к улучшению характеристик системы.

#### Список литературы

1. Сущенко О. А. Дослідження впливу приладового складу на характеристики системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв / О. А. Сущенко, С. В. Карасев // Електроніка і системи управління. – 2011. – №2. – С. 103–108.
2. Сущенко О. А. обзор современного состояния волоконно-оптических датчиков угловой скорости и тенденции их развития / О. А. Сущенко, В. Пальчик // Електроніка і системи управління. – 2011. – №3. – С. 74–84.
3. Сущенко О. А. Обзор современного состояния микроэлектромеханических датчиков угловой скорости и тенденции их развития / О. А. Сущенко, С. В. Карасев // Електроніка і системи управління. – 2011. – №1. – С. 83–88.
4. Woon-Tahk S. Controller Design of a MEMS Gyro-Accelerometer with a Single Proof Mass/ Woon-Tahk Sung, Taesam Kang, and Jang Gyu Lee // International Journal of Control, Automation, and Systems. – 2008. – Vol. 6.– P. 873–883.
5. GG5200 two axis MEMS gyro.  
[http://wikis.controltheorypro.com/index.php?title=MEMS\\_Gyros](http://wikis.controltheorypro.com/index.php?title=MEMS_Gyros)

О. А. Сущенко, С. Г. Єгоров, С. В. Карасьов

#### **Методика вибору гіроскопічного вимірювача для системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв**

Подано методику вибору гіроскопічного вимірювача для системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв. Виконано порівняльний аналіз традиційних гіроскопічних вимірювачів і датчиків, створених по основі нових технологій. Досліджено узагальнену модель гіроскопічного вимірювача швидкості. Ефективність запропонованої методики підтверджено результатами моделювання.

О. А. Sushchenko, S. G. Egorov, S. V. Karasyov

#### **Methodic of gyroscopic measuring device choice for informational-measuring devices stabilization system.**

In the paper the methodic of gyroscopic measuring device choice for informational-measuring devices stabilization system is represented. The comparative analysis of the traditional gyroscopic measuring devices and sensors that were created on the base of new technologies was carried out. The generalized model of the rate gyro was studied. Efficiency of the proposed methodic is proved by the simulation results.