



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 117 253** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) МПК⁶ **G 01 C 21/18**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
 ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

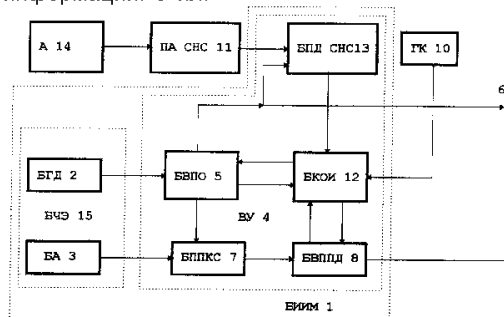
(21), (22) Заявка: 97107215/28, 28.04.1997
 (46) Дата публикации: 10.08.1998
 (56) Ссылки: Анучин О.Н. и др. Гироскопия и навигация, 1994, N 1(4), с.32-44.

(71) Заявитель:
 Анучин Олег Николаевич,
 Гусинский Валерий Залманович,
 Емельянцеv Геннадий Иванович
 (72) Изобретатель: Анучин Олег Николаевич,
 Гусинский Валерий Залманович, Емельянцеv
 Геннадий Иванович
 (73) Патентообладатель:
 Анучин Олег Николаевич,
 Гусинский Валерий Залманович,
 Емельянцеv Геннадий Иванович

(54) ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

(57) Реферат:
 Интегрированный комплекс используется для морской навигации. Для повышения точности и надежности выработки курса, а также снижения массогабаритных характеристик интегрированный комплекс для навигации и управления движением морских судов содержит бескарданный инерциальный измерительный модуль и приемную аппаратуру спутниковой навигационной системы (СНС). Блок чувствительных элементов БИИМ и приемной антенны СНС размещены на максимально возможном удалении от центра масс судна, что позволяет придать БИИМ избирательность по курсу. БИИМ содержит блок чувствительных элементов с линейными акселерометрами и гироскопами, блок

выработки параметров поступательного движения, блок выработки параметров ориентации, блок преобразований кажущейся скорости и блок комплексной обработки информации. 3 ил.



Фиг.1

RU 2 1 1 7 2 5 3 C 1

RU 2 1 1 7 2 5 3 C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 117 253** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁶ **G 01 C 21/18**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 97107215/28, 28.04.1997

(46) Date of publication: 10.08.1998

(71) Applicant:

Anuchin Oleg Nikolaevich,
 Gusinskij Valerij Zalmanovich,
 Emel'jantsev Gennadij Ivanovich

(72) Inventor: Anuchin Oleg Nikolaevich,
 Gusinskij Valerij Zalmanovich, Emel'jantsev
 Gennadij Ivanovich

(73) Proprietor:

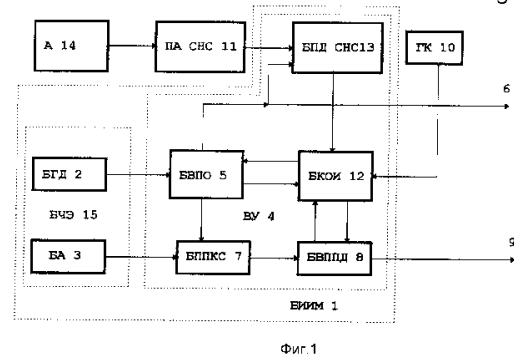
Anuchin Oleg Nikolaevich,
 Gusinskij Valerij Zalmanovich,
 Emel'jantsev Gennadij Ivanovich

(54) **INTEGRATED COMPLEX FOR NAVIGATION AND CONTROL OVER DEEP- SEA VESSELS**

(57) Abstract:

FIELD: sea navigation. SUBSTANCE: proposed integrated complex for navigation and control over deep-sea vessels has gimbal-free inertial measurement module and receiving equipment of satellite navigation system. Units of sensitive elements of gimbal-free inertial measurement module and receiving antenna of satellite navigation system are positioned at maximum possible distance from center of mass of vessel which gives selectivity by heading to gimbal-free inertial measurement module. The latter incorporates unit of sensitive elements with linear accelerometers and gyroscopes, unit generating parameters of translational movement, unit generating orientation parameters, unit transforming apparent

velocity and unit of complex processing of information. EFFECT: increased accuracy and reliability of generation of heading, diminished mass and size characteristics. 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 1 1 7 2 5 3 C 1

RU 2 1 1 7 2 5 3 C 1

Изобретение относится к области морского навигационного приборостроения.

Известны судовые интегрированные навигационные комплексы, включающие в свой состав ряд приборов, вырабатывающих курс, углы качки и динамические параметры движения корабля. Так, в [1] рассмотрена система автоматического управления движения (САУД) "Бриз", в которой интегрированный комплекс использует данные гироскопа (ГК) "Вега", гиравертикали (ГВ), гироскопического датчика угловой скорости (ДУС) и измерителя линейных ускорений.

Основным недостатком такого построения интегрированного комплекса является низкая надежность из-за значительного количества измерителей, интерфейсных блоков и связей между гироскопическими датчиками, входящими в состав рассматриваемой схемы.

Известны также интегрированные комплексы, реализованные на базе бескарданных инерциальных навигационных систем (БИНС) и приемной аппаратуры спутниковой навигационной системы (СНС) [2, 3].

К основным недостаткам таких схем построения интегрированных комплексов следует отнести их высокую стоимость. Это обусловлено высокими требованиями к точности чувствительных элементов и, в основном, к точности используемых гироскопов, так как для обеспечения измерения угловой скорости вращения горизонтного трехгранника, обусловленной суточным вращением Земли и линейной скоростью перемещения центра масс судна, и придания БИНС гироскопических свойств необходима точность гироскопов порядка 0,1...0,01 град./ч. Вследствие этого на морских судах интегрированные комплексы на базе БИНС до настоящего времени не применяются.

Известен также интегрированный навигационно-управляющий комплекс для морских судов [4, 5], состоящий из бескарданного инерциального измерительного модуля (БИИМ) и штатных навигационных средств: лага и гироскопического компаса (ГК), либо ГК и бортовой аппаратуры спутниковой навигационной системы (СНС).

Укрупненная блок-схема такого комплекса на базе аппаратуры СНС приведена на фиг. 1.

Рассматриваемый здесь БИИМ 1, как динамическая приставка к приемной аппаратуре СНС, представляет собой малогабаритный, высоконадежный и сравнительно дешевый бескарданный модуль, так как включает в себя блок "грубых" гироскопических датчиков (БГД) 2 [либо блок датчиков угловых ускорений (БДУУ) либо блок датчиков угловых скоростей (ДУС), которые позволяют определять угловую скорость с точностью на уровне 1 - 10 град./ч], блок акселерометров (БА) 3 и вычислительное устройство (ВУ) 4.

Функционирование интегрированной системы осуществляется следующим образом. Выходными данными БГД 2 являются проекции угловой скорости объекта параметров ориентации (БВПО) 5 с учетом поправок вырабатываются текущие значения параметров ориентации 6 (курс, углы килевой и бортовой качек, а также скорости их

изменений). Данные БА 3 после их преобразования в блоке преобразования приращений кажущейся скорости (БППКС) 7 из осей связанного трехгранника в географические и компенсации "вредных" ускорений интегрируются в блоке выработки параметров поступательного движения (БВПД) 8 с целью получения параметров поступательного движения судна 9 (координат места и составляющих вектора линейной скорости объекта на оси горизонтной системы координат с географической ориентацией осей).

Для совместной обработки информации БИИМ 1, ГК 10 и данных приемной аппаратуры (ПА) СНС 11 с целью выработки поправок в блоке комплексной обработки информации (БКОИ) 12 используется стандартная процедура оптимального линейного фильтра Калмана (ОФК). При этом для повышения точности системы в блоке поправок данных СНС (БПД СНС) 13 осуществляется пересчет данных СНС 11, привязанных к фазовому центру антенны (А) 14 приемной аппаратуры, к месту установки блока чувствительных элементов (БЧЭ) 15.

Недостатком известного устройства [4, 5], которое выбрано в качестве прототипа, является необходимость использования в составе интегрированного комплекса для навигации и управления гироскопического прибора с кардановым подвесом - ГК, что существенно снижает надежность характеристики комплекса в целом, увеличивает его массогабаритные характеристики и стоимость.

Целью изобретения является повышение точности и надежности выработки курса, а также снижение массогабаритных характеристик и стоимости в целом интегрированного комплекса для навигации и управления движением морских судов за счет исключения из его состава комплекса гироскопа.

Поставленная цель достигается тем, что БЧЭ и приемная антенна СНС устанавливаются на удалении не менее 5 - 10 м от ц.м. судна, что приводит к модуляции погрешностей "грубых" гироскопов в условиях рыскания судна. Для реализации положительного эффекта, обусловленного отстоянием БЧЭ от ц.м. судна, в устройство дополнительно введен блок пересчета данных интегрированного комплекса (БПДИК) от места установки БЧЭ к центру масс (ц.м.) судна, первый вход которого подключен к выходу БВПД, второй вход соединен с выходом БВПО и дополнительно выход БППКС соединен с третьим входом БКОИ.

На фиг. 2 изображена структурная схема предлагаемого интегрированного комплекса для навигации и управления движением судов.

Интегрированный комплекс для навигации и управления движением судов включает БИИМ 1, который содержит БЧЭ 15, состоящий из БГД 2 и БА 3, ВУ 4, которое, в свою очередь, содержит БВПО 5, БППКС 7, БВПД 8, БКОИ 12, БПД СНС 13 и БПДИК 16, и А 14 ПА СНС 11. Отметим, что алгоритмы, реализуемые в блоке пересчета данных интегрированного комплекса от места установки БЧЭ к ц.м. судна, аналогичны алгоритмам, реализуемым в блоке поправок данных СНС прототипа. Выходными данными

интегрированного комплекса для навигации и управления движением судов являются параметры ориентации б (курс, углы килевой и бортовой качек, а также скорости их изменений) и параметры поступательного движения судна 9 (координаты места и составляющие вектора линейной скорости объекта на оси горизонтной системы координат с географической ориентацией осей).

Основное отличие предлагаемого устройства от прототипа, помимо исключения из его состава ГК и соответствующей связи по курсу от БВПО 5 к БКОИ 12, заключается в размещении БЧЭ 15 БИИМ 1 и приемной антенны А 14 ПА СНС 11 на максимально возможном удалении от ц.м. судна, а также во введении новой связи выхода БПГКС 7 с входом БКОИ 12 что, с одной стороны, отличается от общепринятого размещения на морских судах гирокомпасов (ГК стремятся устанавливать вблизи ц.м. судна [6]), а, с другой, позволяет придать БИИМ избирательность по курсу. Такое требование к размещению БЧЭ ИИМ может быть объяснено следующим образом.

Одной из проблем на пути создания интегрированных комплексов с достаточно "грубыми" ЧЭ является задача выполнения требований по точности выработки курса для обеспечения навигационной безопасности судовождения. Действительно, привлечение данных ПА СНС о горизонтальных составляющих линейной скорости судна и прямое использование в БИИМ гирокомпасного эффекта в силу значительных дрейфов используемых гироскопов не представляется возможным, так как в этом случае равновесное положение ошибок выработки курса, определяемое отношением постоянной составляющей "восточного" дрейфа гироскопов БИИМ к угловой скорости вращения Земли (для неподвижного основания), может составлять 100 град. и более.

Решение поставленной задачи за счет создания для подвижных объектов ПА СНС с фазовыми интерферометрическими измерениями, обеспечивающей выработку поправки курса [7], ведет к усложнению ПА СНС, значительному повышению ее стоимости и, кроме того, в этом случае имеет место потеря информационной автономности ИСОН по курсу.

Модуляционные повороты БЧЭ в плоскости палубы, в принципе, придают БИИМ избирательность по курсу с приемлемой точностью, однако приводят к усложнению аппаратуры и, как следствие, к увеличению массогабаритных характеристик и стоимости. При этом длительность переходного процесса, определяемая временем оценки постоянных составляющих дрейфов гироскопов БИИМ, достаточно значительна и может составлять 1,5 - 2,0 ч при уровне постоянных составляющих дрейфов 10^{-2} град./с.

Аналогичный эффект с уменьшением времени переходного процесса может быть достигнут при установке БЧЭ БИИМ на значительном удалении от ц.м. судна. В этом случае угловые колебания судна по углу рыскания, с одной стороны, подобны модуляционным поворотам БЧЭ БИИМ, а, с другой, позволяют непосредственно

наблюдать в погрешностях выработки линейной скорости БИИМ составляющие, обусловленные неточным знанием курса. Действительно, дифференциальные уравнения, описывающие погрешности автономного БИИМ в выработки восточной ΔV_E и северной ΔV_N составляющих линейной скорости, имеют вид [5]:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{V}_E &= n_N \cdot \alpha - n_h \cdot \gamma + \Delta \alpha'_E + \Delta \alpha'_{BE}, \\ \Delta \dot{V}_N &= -n_E \cdot \alpha + n_h \cdot \beta + \Delta \alpha'_N + \Delta \alpha'_{BN}, \end{aligned}$$

где

α, β, γ - ошибки БИИМ в моделировании горизонтной системы координат ENh с географической ориентацией осей;

$\Delta \alpha'_E, \Delta \alpha'_N$ - проекции инструментальных погрешностей акселерометров на оси горизонтной системы координат.

$\Delta a_{BE}, \Delta a_{BN}$ - погрешности компенсации "вредных" ускорений по соответствующим осям;

n_E, n_N, n_h - проекции вектора кажущегося ускорения места установки БИИМ на оси горизонтной системы координат.

Подчеркнем, что в случае установки БИИМ при максимально возможном удалении от ц. м. судна горизонтальные составляющие n_E, n_N определяются, в основном, переносным ускорением, обусловленным рысканием, имеют периодический характер и могут быть непосредственно измерены БА.

Для подтверждения работоспособности предлагаемого устройства осуществлялось численное моделирование его погрешностей. При численном моделировании данной задачи на ПЭВМ использовались измерения $Z_i (i = V_E, V_N, V_h)$ фильтра Калмана:

$$\begin{aligned} z_{VE} &= v_E - v_E^C = \Delta v_E + v_{VE}, & z_{VN} &= v_N - v_N^C = \Delta v_N + v_{VN}, \\ z_{Vh} &= v_h - v_h^C = \Delta v_h + v_{Vh}, \end{aligned} \quad (2)$$

где

v_{VE}, v_{VN}, v_{Vh} - соответствующие погрешности СНС в выработке линейной скорости, аппроксимируемые процессами типа "белый" шум с $l \sigma = 0,1$ м/с на частоте 1 Гц [8].

Для формирования измерений (2) использовалась имитационная модель погрешностей интегрированного комплекса 21 порядка. Численные значения ($l \sigma$) инструментальных погрешностей ЧЭ и начальные неопределенности выходных данных БИИМ приведены в таблице.

Расчетная модель погрешностей ИСОН была представлена в векторно-матричной форме:

$$\frac{dX(t)}{dt} = F(t) \cdot X(t) + u(t), \quad X(t_0) = X_0. \quad (3)$$

В соответствии с уравнениями погрешностей ИСОН на ДУС вектор состояния имеет вид [5]:

$$X^T(t) = [\alpha \beta \gamma \Delta v_E \Delta v_N \Delta v_h \Delta \omega_x \Delta \omega_y \Delta \omega_z \Delta a_x \Delta a_y \Delta a_z], \quad (4)$$

где

$\Delta \omega_x, \Delta \omega_y, \Delta \omega_z$ - проекции постоянных составляющих дрейфа БГД (ДУС) на оси,

связанной с корпусом объекта системы координат хуз;

$\Delta a_x, \Delta a_y, \Delta a_z$ - аналогичные проекции постоянных составляющих погрешностей линейных акселерометров.

Отстояние характеризовалось следующими значениями: по поперечной оси - 2 м, по продольной - 20 м, а по вертикальной - 5 м. Параметры "малой" и "большой" качек при моделировании принимались следующими:

"малая" качка и рыскание:

рыскание - $\varphi_r = 1,5^\circ, T\varphi = 25$ с;

килевая качка - $\psi = 1,5^\circ, T\psi = 10$ с;

бортовая качка - $\theta_k = 2,0^\circ, T\theta_k = 15$ с

"большая" качка и рыскание:

рыскание - $\varphi_r = 3,0^\circ, T\varphi = 20$ с;

килевая качка - $\psi = 2,5^\circ, T\psi = 5$ с;

бортовая качка $\theta_k = 12,0^\circ, T\theta_k = 9$ с.

Результаты численного моделирования погрешностей интегрированного комплекса по курсу представлены на фиг. 3, из которых следует, что при наличии рыскания интегрированный комплекс обладает гирокомпасным эффектом.

Литература

1. Злобин Г.П., Смигельский С.П. Суда на подводных крыльях и воздушной подушке. Л.: Судостроение, 1976.

2. Плотников П. К. и др. Алгоритмы работы и свойства комплексных бесплатформенных систем ориентации и навигации двойного применения // Реферат доклада на III Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам//Гироскопия и навигация. 1996, - N 3, с. 115.

3. Чесноков Г.И. и др. Интегрированная навигационная система для подвижных наземных объектов//Реферат доклада на III Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам//Гироскопия и навигация.-1996.-N3.-с.117.

4. Патент РФ N 2056037. Гироазимутгоризонткомпас/Емельянцева Г.И., Анучин О.Н., Биндер Я.И., Гусинский В.З.,

Ходорковский Я.И., 1992.

5. Анучин О.Н. и др. Инерциальный измерительный модуль интегрированного навигационного комплекса для морских судов//Гироскопия и навигация. 1994, N 1, с. 32 - 44.

6. Регистр СССР. Правила по конвенционному оборудованию морских судов. - М.: Транспорт, 1990.

7. Резниченко В.И., Шашков А.А. Фазовый метод определения ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы//Навигация и гидрография, 1996, N 2, с. 56 - 60

8. Зайцев А.В., Резниченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте//Навигация и гидрография. 1995, N 1, с. 56 - 60.

Формула изобретения:

Интегрированный комплекс для навигации и управления движением морских судов, содержащий бортовую аппаратуру спутниковой навигационной системы с приемной антенной и бескарданный инерциальный измерительный модуль, включающий блок чувствительных элементов с линейными акселерометрами и гироскопами, блок выработки параметров поступательного движения, блок выработки параметров ориентации, блок преобразования приращений кажущейся скорости и блок комплексной обработки информации, отличающийся тем, что в его состав дополнительно введен блок пересчета данных интегрированного комплекса к центру масс судна, первый вход которого подключен к выходу блока выработки параметров поступательного движения, второй вход соединен с выходом блока выработки параметров ориентации, блок преобразования приращений кажущейся скорости соединен с блоком комплексной обработки информации, при этом блок чувствительных элементов и приемная антенна спутниковой навигационной системы установлены на удалении не менее 5 - 10 м от центра масс судна.

45

50

55

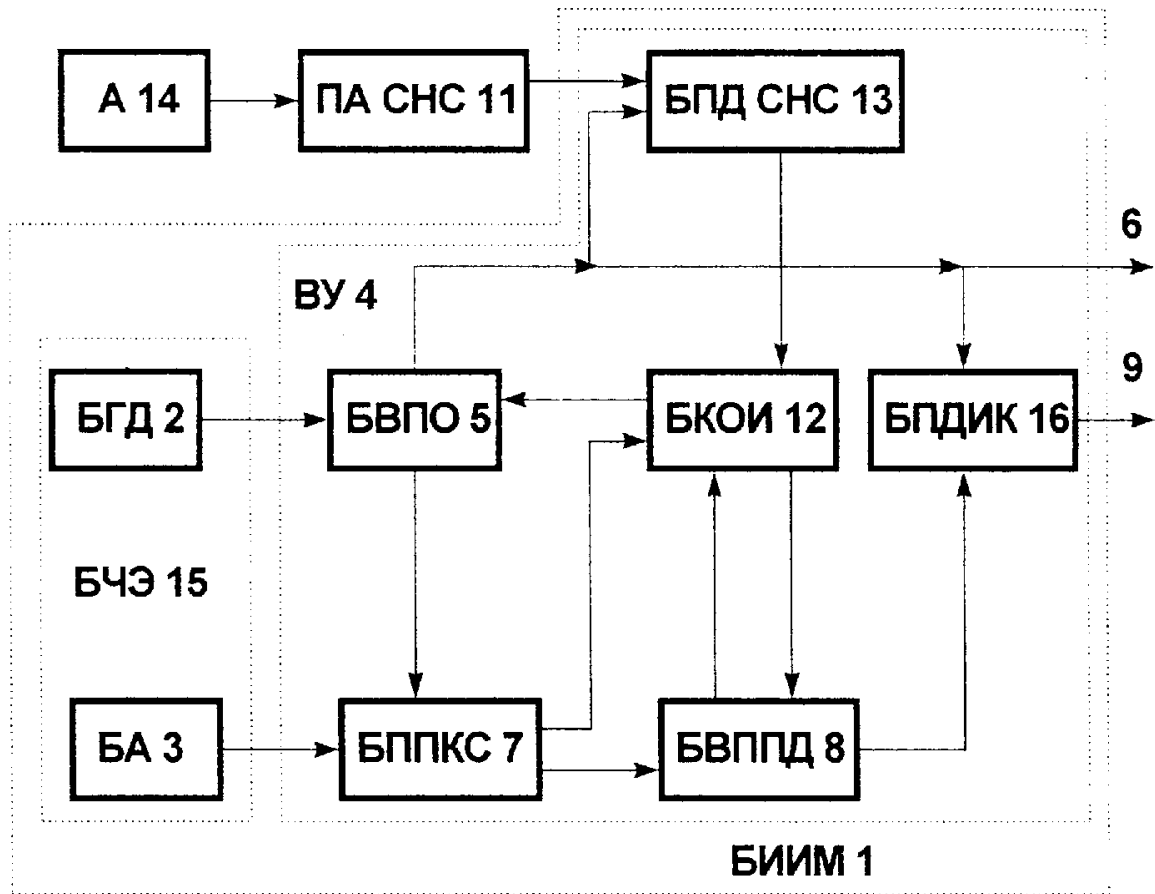
60

Таблица

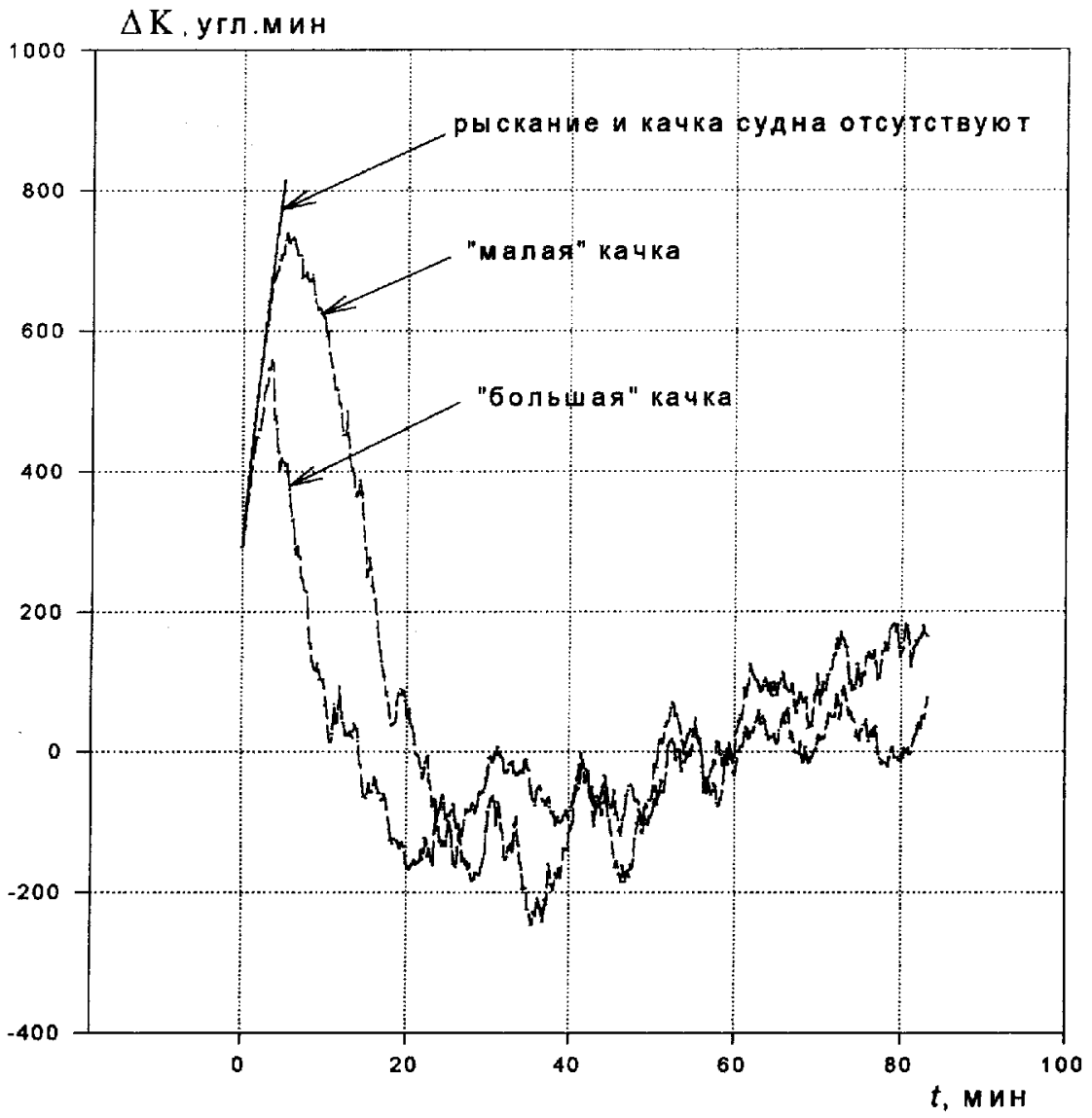
Источник погрешностей	Численные значения
<p>Линейный акселерометр:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ смещение нуля, м/с^2 0,02 ■ нестабильность масштабного коэффициента, % 0,1 ■ нестабильность смещения нуля - марковский процесс первого порядка <li style="padding-left: 20px;">1σ, м/с^2 0,002 <li style="padding-left: 20px;">μ, $1/\text{с}$ 0,01 ■ "шумовая" составляющая на частоте 50 Гц, м/с^2 0,04 	
<p>Датчик угловой скорости:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ смещение нуля, рад/с $1,8 \cdot 10^{-4}$ ■ нестабильность масштабного коэффициента, % $3,0 \cdot 10^{-2}$ ■ нестабильность смещения нуля - марковский процесс первого порядка <li style="padding-left: 20px;">1σ, рад/с $1,0 \cdot 10^{-5}$ <li style="padding-left: 20px;">μ, $1/\text{с}$ $3,0 \cdot 10^{-3}$ ■ "шумовая" составляющая на частоте 50 Гц, рад./с $1,8 \cdot 10^{-4}$ 	
<p>Начальные неопределенности:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ по углам качки, град. 0,5 ■ по курсу, град. 5 ■ по координатам места, м. 30 ■ по составляющим линейной скорости, м/с 0,1 	

RU 2117253 C1

RU 2117253 C1



Фиг.2



Фиг.3

RU 2117253 C1

RU 2117253 C1