



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014107640/28, 27.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.02.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.02.2014

(45) Опубликовано: 10.09.2015 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Гироскопические системы, ч.2, Гироскопические приборы и системы: П.В. БРОМБЕРГ, И.А. МИХАЛЕВ, Е.А. НИКИТИН и др. Под ред. Д.С. ПЕЛЬПОРА. М.: Высшая школа, 1971 г, стр.82. RU 2257523 C1, 27.07.2005. Основы радиуправления, ПОД РЕД. ВЕЙЦЕЛЯ В.А. И ТИПУГИНА В.Н., Москва, "Советское радио", 1973 г., стр.52, 53, рис.1.31. RU 2283466 C1, 10.09.2006. RU 2493059 C1, 20.09.2013

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13, ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина", Отдел интеллектуальной собственности, Кацману К.Б.

(72) Автор(ы):

Деев Сергей Антонович (RU),
Любомирова Алена Владимировна (RU),
Злоказов Юрий Петрович (RU),
Файзуллин Олег Рамилевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация "Росатом") (RU),
Федеральное государственное унитарное предприятие "РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР - ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.И. ЗАБАБАХИНА" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА КРЕНА ОБЪЕКТА, СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ВРАЩЕНИЕМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к способу определения углового положения (в частности, угла крена) объекта, стабилизированного вращением (ОСВ), в пространстве. Способ определения угла крена объекта, стабилизированного вращением (ОСВ), заключается в том, что начиная с момента начала движения t_0 , на который известен априори угол крена объекта $\varphi_{нач}$, измеряют угловую скорость вращения ОСВ $\omega(t)$, путем интегрирования которой по времени от момента t_0 до конечного известного момента t_k определяют величину изменения угла крена объекта, а величину угла крена $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно

выражению:
$$\varphi(t_k) = \varphi_{нач} + \int_{t_0}^{t_k} \omega(t) dt$$
. При

этом производят наблюдение за физическим параметром $P(t)$, функционально связанным с изменением угла крена ОСВ, формируют, по меньшей мере, два раза момент t_0 , являющийся характерной точкой на графике изменения физического параметра, например переходом физического параметра $P(t)$ через «ноль» на участке установившегося движения. А интегрирование угловой скорости вращения ОСВ по времени осуществляют от момента начала движения t_0 до первого сформированного

момента $\tau_0^{\text{нач}}$ и фиксируют величину интеграла

$\int_{t_0}^{\tau_0^{\text{нач}}} \omega(t) dt$. Причем наблюдение за физическим

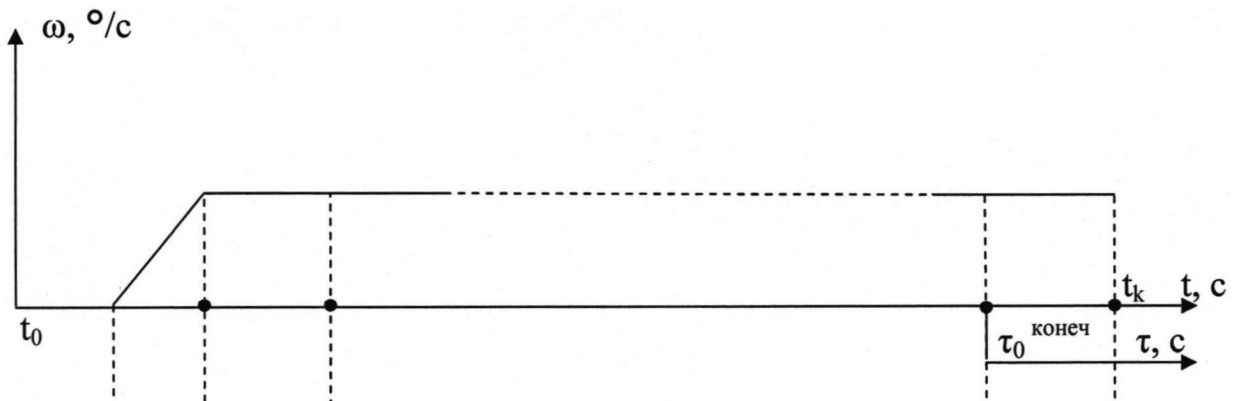
параметром $P(t)$ прекращают до возобновления в момент сформированного последующего второго момента $\tau_0^{\text{посл}}$, максимально приближенного к моменту t_k , при этом изменение угла крена $\Delta\varphi(t)$ относительно момента $\tau_0^{\text{посл}}$ вычисляют согласно выражению:

$$\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{\text{посл}}}, \text{ где } \tau - \text{измеренное}$$

время от $\tau_0^{\text{посл}}$ до момента t_k ; $T_{\text{посл}}$ - измеренный период вращения в процессе формирования момента $\tau_0^{\text{посл}}$, а величину угла крена объекта $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно в ы р а ж е н и ю :

$$\varphi(t_k) = \varphi_{\text{нач}} + \int_{t_0}^{\tau_0^{\text{нач}}} \omega(t) dt + \Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}}}^{t_k}$$

Изобретение обеспечивает повышение точности определения угла крена ОСВ. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.1

R U 2 5 6 1 7 9 5 С 1

R U 2 5 6 1 7 9 5 С 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014107640/28, 27.02.2014

(24) Effective date for property rights:
27.02.2014

Priority:

(22) Date of filing: 27.02.2014

(45) Date of publication: 10.09.2015 Bull. № 25

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.
Vasil'eva, 13, FGUP "RFJaTs-VNIITF im. akadem.
E.I. Zababakhina", Otdel intellektual'noj
sobstvennosti, Katsmanu K.B.

(72) Inventor(s):

Deev Sergej Antonovich (RU),
Ljubomirova Alena Vladimirovna (RU),
Zlokazov Jurij Petrovich (RU),
Fajzullin Oleg Ramilevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj
vystupaet Gosudarstvennaja korporatsija po
atomnoj ehnergii "Rosatom" (Goskorporatsija
"Rosatom") (RU),
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predprihatie "ROSSIJSKIJ FEDERAL'NYJ
JaDERNYJ TsENTR - VSEROSSIJSKIJ
NAUCHNO-ISSLEDOVATEL'SKIJ INSTITUT
TEKhNICHESKOJ FIZIKI IMENI
AKADEMIKA E.I. ZABABAKhINA" (RU)

(54) **METHOD OF ROLL ANGLE DETERMINATION OF OBJECT STABILISED BY ROTATION**

(57) Abstract:

FIELD: instrumentation.

SUBSTANCE: invention relates to the measuring equipment, namely to method of determination of the angular position (in particular to the roll angle) of the object stabilised by the rotation in space. The method of determination of the roll angle of the object stabilised by the rotation means that starting from the moment of the motion start t_0 , when the roll angle is a priori known φ_{initial} , rotational speed of the object stabilised by rotation $\omega(t)$ is measured, by its time integration from time τ_0 to final known time moment t_k the change of the roll angle of the object is determined, and the roll angle $\varphi(t_k)$ at the time t_k is determined according to the

equation: $\varphi(t_k) = \varphi_{\text{initial}} + \int_{\tau_0}^{t_k} \omega(t) dt$. At that

the physical parameter $P(t)$ is monitored, it is functionally linked with change of the roll angle of the object stabilised by rotation, at least two time the time moment τ_0 is formed, it is characteristic point on the curve of the physical parameter change, for example, physical parameter $P(t)$ passing across the zero within

the section of stable movement. And time integration of the angular speed of the object stabilised by rotation is performed from the time of movement start t_0 to the first formed moment τ_0^{start} , and integral value is fixed

- $\int_{t_0}^{\tau_0^{\text{initial}}} \omega(t) dt$. At that monitoring of the physical

parameter $P(t)$ is stopped till re-start at the time moment of the formed second moment τ_0^{next} , as close as possible to time moment t_k , at that change of the roll angle $\Delta\varphi(t)$ relatively to time moment τ_0^{next} is calculated according to the equation:

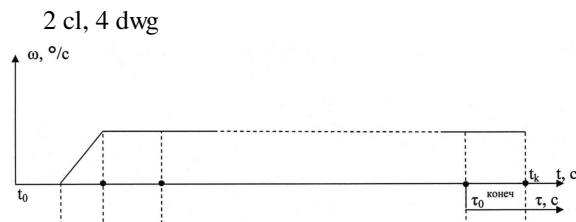
$$\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{next}}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{\text{next}}}, \text{ where } \tau - \text{measured}$$

time from τ_0^{next} to t_k ; T_{next} is measured period of rotation during moment τ_0^{next} formation, the roll angle of the object $\varphi(t_k)$ at the time moment t_k is determined

according to the equation:

$$\varphi(t_k) = \varphi_{\text{initial}} + \int_{t_0}^{\tau_0^{\text{initial}}} \omega(t) dt + \Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{next}}}$$

EFFECT: invention ensures increased accuracy of determination of the roll angle of the object stabilised by rotation.



Фиг.1

R U 2 5 6 1 7 9 5 C 1

R U 2 5 6 1 7 9 5 C 1

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к способу определения углового положения (в частности, угла крена) объекта, стабилизированного вращением (ОСВ), в пространстве, и может быть использовано в космической технике в бортовых системах управления движением ОСВ.

5 В настоящее время остро стоит задача расширения функциональных возможностей глобальных навигационных спутниковых систем, в частности при определении углового положения объекта. При этом возникают проблемы повышения точности.

Известен способ определения угла крена объекта, стабилизированного вращением [Гироскопические системы, ч.2, Гироскопические приборы и системы: П.В. Бромберг, 10 И.А. Михалев, Е.А. Никитин и др. Под ред. Д.С. Пельпора. М.: Высшая школа, 1971 г., стр.82], заключающийся в том, что начиная с момента начала движения t_0 , на который известен априори угол крена объекта $\varphi_{нач}$, измеряют угловую скорость вращения ОСВ $\omega(t)$, путем интегрирования которой по времени от момента t_0 до конечного известного 15 момента t_k определяют величину изменения угла крена объекта, а величину угла крена

$\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно выражению:
$$\varphi(t_k) = \varphi_{нач} + \int_{t_0}^{t_k} \omega(t) dt$$

20 Данный способ наиболее близок по технической сущности к заявляемому и поэтому принят за прототип.

Недостатком известного способа является относительно низкая точность определения угла крена. Одна из основных проблем обеспечения точности ориентации и навигации для ОСВ состоит в уменьшении влияния погрешностей, зависящих от продольной 25 составляющей угловой скорости, в первую очередь, ошибки масштабного коэффициента датчика угловой скорости (ДУС), ось чувствительности которого параллельна оси вращения ОСВ. В данном способе при определении угла крена на требуемый момент t_k непрерывно измеряют и интегрируют угловую скорость вращения объекта $\omega(t)$, что ведет к накоплению ошибки определения изменения угла ОСВ на требуемый момент 30 t_k , величина которой пропорциональна времени наблюдения (всего периода времени на интервале $t_0 \dots t_k$) и ошибке измерения угловой скорости.

Задачей заявляемого изобретения является повышение точности определения угла крена объекта, стабилизированного вращением, в плоскости движения.

35 Техническим результатом, на достижение которого направлено заявляемое изобретение, является снижение накапливаемой ошибки определения изменения величины угла крена путем сокращения времени наблюдения за изменением углового положения объекта и повышения точности определения угловой скорости вращения ОСВ путем перехода к использованию нового физического параметра, на основе 40 которого определяется угловая скорость вращения ОСВ, а именно - к измерению периода вращения ОСВ.

Технический результат достигается тем, что в способе определения угла крена объекта, стабилизированного вращением (ОСВ), заключающемся в том, что начиная с момента начала движения t_0 , на который известен априори угол крена объекта $\varphi_{нач}$, 45 измеряют угловую скорость вращения ОСВ $\omega(t)$, путем интегрирования которой по времени от момента t_0 до конечного момента t_k определяют величину изменения угла крена объекта, а величину угла крена $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно

выражению: $\varphi(t_k) = \varphi_{нач} + \int_{t_0}^{t_k} \omega(t) dt$, согласно изобретению производят наблюдение

5 за физическим параметром $P(t)$, функционально связанным с изменением угла крена ОСВ, формируют, по меньшей мере, два раза момент τ_0 , являющийся характерной точкой изменения физического параметра во времени, например переходом физического параметра $P(t)$ через «ноль» на участке установившегося движения, а интегрирование угловой скорости вращения ОСВ по времени осуществляют от момента начала движения t_0 до первого сформированного момента $\tau_0^{нач}$ и фиксируют величину интеграла -

10 $\int_{t_0}^{\tau_0^{нач}} \omega(t) dt$, причем наблюдение за физическим параметром $P(t)$ прекращают до

15 возобновления в момент сформированного последующего второго момента $\tau_0^{посл}$, максимально приближенного к моменту t_k , при этом изменение угла крена $\Delta\varphi(\tau)$

20 относительно момента $\tau_0^{посл}$ вычисляют согласно выражению: $\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{посл}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{посл}}$,

где τ - измеренное время от $\tau_0^{посл}$ до момента t_k ; $T_{посл}$ - измеренный период вращения в процессе формирования момента $\tau_0^{посл}$, а величину угла крена объекта $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно выражению:

$$30 \quad \varphi(t_k) = \varphi_{нач} + \int_{t_0}^{\tau_0^{нач}} \omega(t) dt + \Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{посл}}^{t_k}$$

Формирование, по меньшей мере, два раза момента τ_0 , который является характерной точкой изменения физического параметра во времени, например переходом физического параметра $P(t)$ через «ноль» на участке установившегося движения относительно продольной оси вращения, интегрирование угловой скорости вращения ОСВ по времени от момента начала движения t_0 до первого сформированного момента $\tau_0^{нач}$, прекращение наблюдения за физическим параметром $P(t)$, функционально связанным с изменением угла крена ОСВ, до возобновления в момент сформированного второй раз последующего момента $\tau_0^{посл}$, максимально приближенного к моменту t_k , дает возможность сократить время наблюдения за изменением угла крена ОСВ при повышении точности определения угловой скорости за счет измерения периода вращения ОСВ и тем самым повысить точность определения угла крена ОСВ.

С целью расширения возможностей применения устройства, реализующего заявляемый способ, формирование момента $\tau_0^{посл}$, максимально приближенного к моменту t_k , осуществляют циклически j -раз, начиная с произвольного момента времени t_i после формирования момента $\tau_0^{нач}$ вплоть до момента t_k , а наблюдение за физическим параметром $P(t)$ прекращают до возобновления в момент времени t_j , при этом изменение

угла крена $\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{посл j}}^{t_k}$ относительно момента $\tau_0^{посл j}$, сформированного последний

5

раз перед моментом t_k , вычисляют согласно выражению: $\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{посл j}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{посл}}$,

10

где τ - измеренное время от $\tau_0^{посл j}$ до момента t_k ; $T_{посл}$ - измеренный период вращения в процессе формирования момента $\tau_0^{посл j}$.

Цикличность формирования момента начала отсчета изменения угла крена $\tau_0^{посл}$ определяется из условия обеспечения погрешности на каждом цикле, не выше допустимой.

15

Наличие в заявленном изобретении признаков, отличающих его от прототипа, позволяет его считать соответствующим условию "новизна".

Новые признаки, которые содержит отличительная часть формулы изобретения, не выявлены в технических решениях аналогичного назначения. На этом основании можно сделать вывод о соответствии заявляемого изобретения условию «изобретательский уровень».

20

Изобретение поясняется чертежами:

на фиг.1 представлена циклограмма функционирования ОСВ на траектории движения;

на фиг.2 представлен график изменения параметра $P(t)$ во времени, величина которого функционально связана с изменением углового положения объекта, стабилизированного вращением с заданным конечным временем движения t_k ;

25

на фиг.3 представлен график изменения параметра $P(t)$ во времени, величина которого функционально связана с изменением углового положения ОСВ, где формирование момента $\tau_0^{посл}$ происходит циклически;

30

на фиг.4 представлен график, демонстрирующий снижение накапливаемой ошибки определения изменения величины угла крена путем сокращения времени наблюдения за изменением углового положения объекта и повышением точности определения угловой скорости вращения.

Способ осуществляется следующим образом.

35

При движении объекта, стабилизированного вращением, в безвоздушном пространстве с учетом на момент его начала движения t_0 известного априори угла крена $\varphi_{нач}$ проводят наблюдение за изменением во времени параметра $P(t)$ (фиг.1, 2).

Параметр $P(t)$ является синусоидальной функцией. Величина параметра $P(t)$

функционально связана с изменением угла крена ОСВ (например, параметром $P(t)$

40

могут быть величины проекций вектора напряженности магнитного поля Земли на поперечные оси связанной системы координат ОСВ и/или поперечные составляющие вектора угловой скорости вращения ОСВ).

Далее при движении объекта формируют первый момент $\tau_0^{нач}$, который является

45

характерной точкой изменения физического параметра во времени, например переходом физического параметра $P(t)$ через «ноль» на участке установившегося движения. В процессе формирования этой точки определяют угловую скорость вращения $\omega(t)$, интегрирование которой по времени осуществляют от момента начала движения t_0 до

первого сформированного момента $\tau_0^{\text{нач}}$.

Далее наблюдение за физическим параметром $P(t)$ прекращают до возобновления в момент сформированного последующего момента $\tau_0^{\text{посл}}$, максимально приближенного к моменту t_k , что дает возможность сократить время наблюдения за изменением угла крена ОСВ и снизить накапливаемые ошибки определения изменения величины угла крена. При этом изменение угла крена $\Delta\varphi(t)$ относительно момента $\tau_0^{\text{посл}}$ вычисляют

согласно выражению: $\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}}}^{t_k} = \frac{2\pi \cdot \tau}{T_{\text{посл}}}$, где τ - измеренное время от $\tau_0^{\text{посл}}$ до момента

t_k ; $T_{\text{посл}}$ - измеренный период вращения в момент $\tau_0^{\text{посл}}$. А величину угла крена объекта $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно выражению:

$$\varphi(t_k) = \varphi_{\text{нач}} + \int_{t_0}^{\tau_0^{\text{нач}}} \omega(t) dt + \Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}}}^{t_k}$$

Определение $T_{\text{посл}}$ в момент $\tau_0^{\text{посл}}$ дает возможность повысить точность определения угла крена ОСВ.

С целью расширения возможностей применения устройства, реализующего заявляемый способ, формирование момента $\tau_0^{\text{посл}}$, максимально приближенного к моменту t_k , может осуществляться циклически j -раз, начиная с произвольного момента времени t_i после формирования момента $\tau_0^{\text{нач}}$ вплоть до момента t_k , при этом изменение

угла крена $\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}j}}^{t_k}$ относительно момента $\tau_0^{\text{посл}j}$ (относительно момента, сформированного последний раз перед моментом t_k) вычисляют согласно выражению:

$$\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}j}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{\text{посл}}}, \text{ где } \tau \text{ - измеренное время от } \tau_0^{\text{посл}j} \text{ до момента } t_k; T_{\text{посл}} -$$

измеренный период вращения в процессе формирования момента $\tau_0^{\text{посл}j}$.

Согласно полученным на основе математического моделирования данным определение угла крена, осуществленное заявляемым способом, оценивается на уровне $0,1^\circ$. График, представленный на фиг.4, наглядно демонстрирует снижение накапливаемой ошибки определения изменения величины угла крена путем сокращения времени наблюдения за изменением углового положения объекта и повышением точности определения угловой скорости вращения. Цикличность формирования момента начала отсчета изменения угла крена $\tau_0^{\text{посл}}$ определяется из условия обеспечения погрешности на каждом цикле, не выше допустимой. Относительная погрешность определения периода вращения ОСВ оценивается на уровне $\delta=10^{-5}$ [с]. Периодичность формирования момента $\tau_0^{\text{посл}}$ более чем на два-три порядка меньше времени наблюдения при способе определения угла крена, описанном в прототипе. Точность определения угловой скорости через измерение периода вращения ОСВ существенно выше точности

приборного измерения угловой скорости вращения ОСВ, как в прототипе (непрерывного измерения и интегрирования угловой скорости вращения объекта $\omega(t)$ по времени на интервале $t_0 \dots t_k$). Сокращение времени наблюдения и повышение точности определения угловой скорости обеспечивают уменьшение ошибки, накапливаемой при определении угла крена.

Таким образом, представленные сведения свидетельствуют о выполнении при использовании заявляемого изобретения следующей совокупности условий:

- средство, воплощающее заявляемый способ при его осуществлении, предназначено для определения углового положения (в частности, угла крена) объекта, стабилизированного вращением, в плоскости движения;
- повышение точности определения угла крена ОСВ;
- для заявляемого способа в том виде, в котором он охарактеризован в формуле изобретения, подтверждена возможность его осуществления с помощью описанных в заявке и известных до даты приоритета средств и методов.

Следовательно, заявляемое изобретение соответствует условию «промышленная применимость».

Формула изобретения

1. Способ определения угла крена объекта, стабилизированного вращением (ОСВ), заключающийся в том, что начиная с момента начала движения t_0 , на который известен априори угол крена объекта $\varphi_{нач}$, измеряют угловую скорость вращения ОСВ $\omega(t)$, путем интегрирования которой по времени от момента t_0 до конечного известного момента t_k определяют величину изменения угла крена объекта, а величину угла крена $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно выражению:

$$\varphi(t_k) = \varphi_{нач} + \int_{t_0}^{t_k} \omega(t) dt, \text{ отличающийся тем, что производят наблюдение за}$$

физическим параметром $P(t)$, функционально связанным с изменением угла крена ОСВ, формируют, по меньшей мере, два раза момент τ_0 , являющийся характерной точкой на графике изменения физического параметра, например переходом физического параметра $P(t)$ через «ноль» на участке установившегося движения, а интегрирование угловой скорости вращения ОСВ по времени осуществляют от момента начала движения t_0 до первого сформированного момента $\tau_0^{нач}$ и фиксируют величину интеграла -

$$\int_{t_0}^{\tau_0^{нач}} \omega(t) dt, \text{ причем наблюдение за физическим параметром } P(t) \text{ прекращают до}$$

возобновления в момент сформированного последующего второго момента $\tau_0^{посл}$, максимально приближенного к моменту t_k , при этом изменение угла крена $\Delta\varphi(t)$ относительно момента $\tau_0^{посл}$ вычисляют согласно выражению:

$$\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{посл}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{посл}}, \text{ где}$$

τ - измеренное время от $\tau_0^{\text{посл}}$ до момента t_k ;

$T_{\text{посл}}$ - измеренный период вращения в процессе формирования момента $\tau_0^{\text{посл}}$, а величину угла крена объекта $\varphi(t_k)$ на момент t_k определяют согласно выражению:

$$\varphi(t_k) = \varphi_{\text{нач}} + \int_{t_0}^{\tau_0^{\text{нач}}} \omega(t) dt + \Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл}}}^{t_k}.$$

2. Способ определения угла крена объекта по п.1, отличающийся тем, что формирование момента $\tau_0^{\text{посл}}$, максимально приближенного к моменту t_k , осуществляют циклически j -раз, начиная с произвольного момента времени t_i после формирования момента $\tau_0^{\text{нач}}$ вплоть до момента t_k , а наблюдение за физическим параметром $P(t)$ прекращают до возобновления в момент времени t_i , при этом изменение угла крена

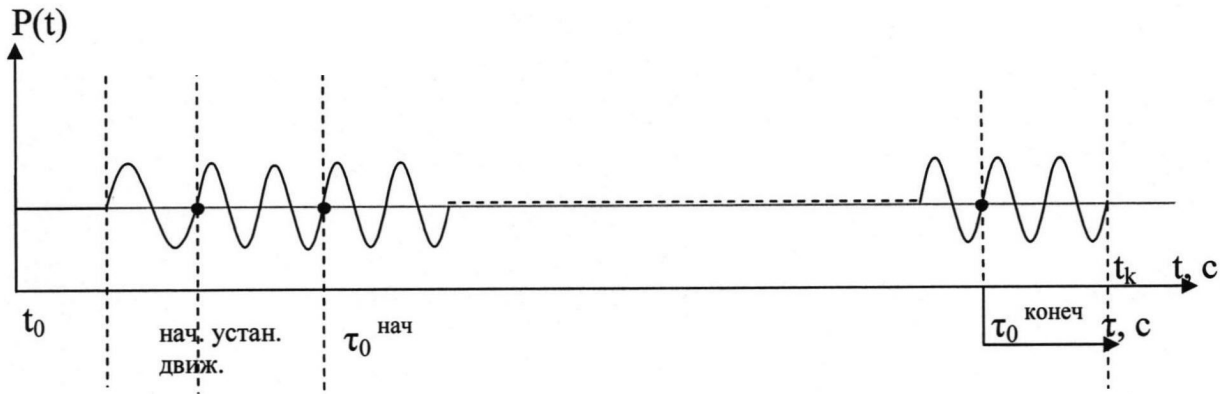
$\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл } j}}^{t_k}$ относительно момента $\tau_0^{\text{посл } j}$, сформированного последний раз перед

моментом t_k , вычисляют согласно выражению:

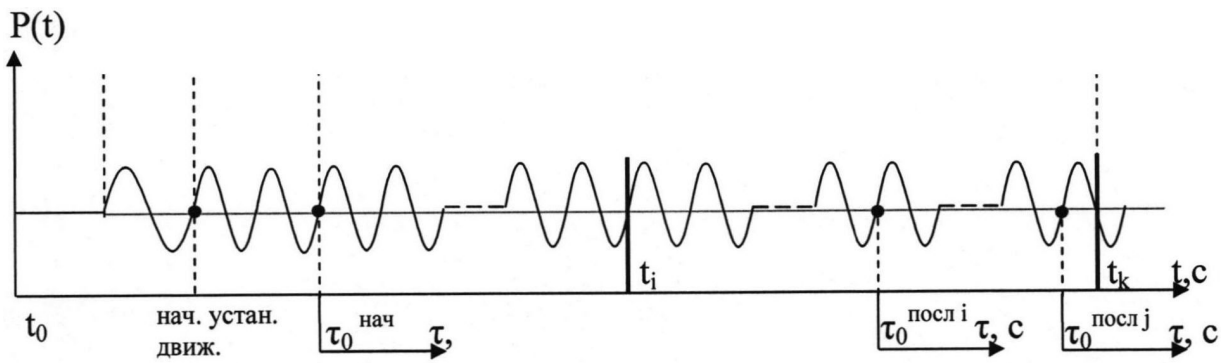
$$\Delta\varphi(\tau) \Big|_{\tau_0^{\text{посл } j}}^{t_k} = 2\pi \frac{\tau}{T_{\text{посл}}}, \text{ где}$$

τ - измеренное время от $\tau_0^{\text{посл } j}$ до момента t_k ;

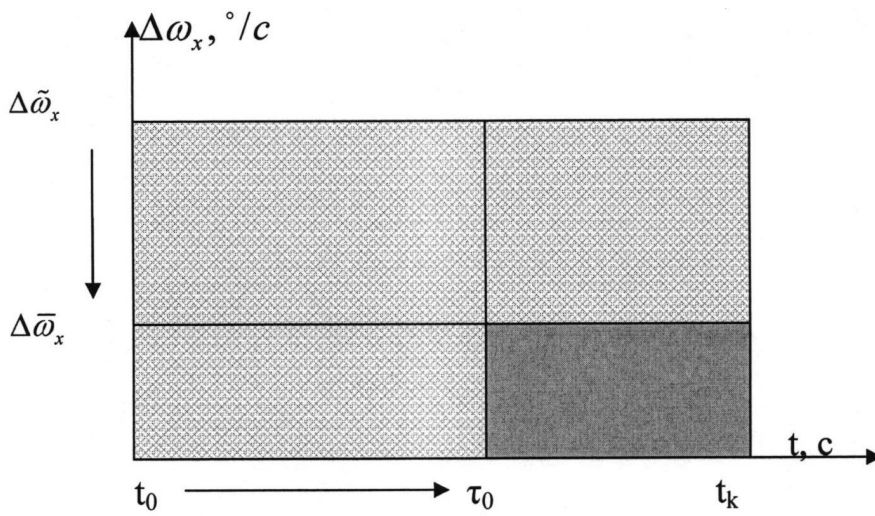
$T_{\text{посл}}$ - измеренный период вращения в процессе формирования момента $\tau_0^{\text{посл } j}$.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4