



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012111461/11, 27.03.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.03.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.03.2012

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2013 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: 20.05.2014 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2292289 C1, 27.01.2007. RU 2240953 C1, 27.11.2004. RU 2151713 C1, 27.06.2000. RU 2248914 C1, 27.03.2005. RU 2155142 C1, 27.08.2000. US 509854 A1, 23.12.1975. US 6611737 B1, 23.12.1975

Адрес для переписки:

117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65, ИПУ РАН,  
патентный отдел

(72) Автор(ы):

**Острецов Генрих Эразмович (RU),  
Памухин Василий Юрьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем управления им. В.А.  
Трапезникова Российской академии наук  
(RU)**

**(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА ПО ШИРОТЕ И ДОЛГОТЕ**

(57) Реферат:

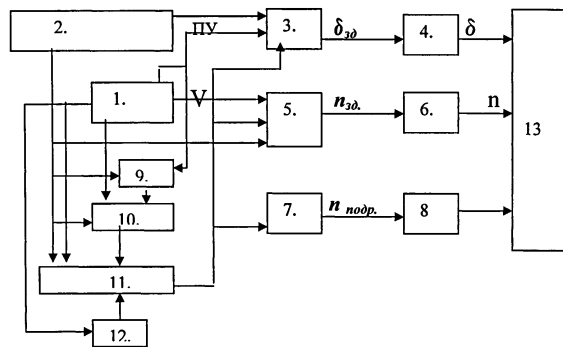
Способ управления движением судна по широте и долготе позволяет управлять движением судна по заданной траектории с корректировкой скорости движения по времени. Корректировка по времени обеспечивает нахождение судна в заданной точке в заданное время. Использование в качестве навигационной информации широт и долгот повышает точность управления движением как в пространстве, так и во времени. Точное управление с использованием текущих и заданных во времени широт и долгот судна реализуется с учетом текущего нахождения

путевого угла в одном из четырех секторов в диапазоне от 0° до 360°. При больших угловых изменениях заданной траектории движения обеспечивается автоматический переход на штатное управления движением по заданному путевому углу и заданной скорости хода судна. Достигается минимизация отклонения судна от заданной траектории, повышение экономичности и безопасности управления движением, прохождение судна в узкостях и управление перехода на типовое (штатное) движение судна. 1 ил.

**RU 2 516 885 C 2**

**RU 2 516 885 C 2**

RU 2516885 C2



RU 2516885 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012111461/11, 27.03.2012**

(24) Effective date for property rights:  
**27.03.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **27.03.2012**

(43) Application published: **20.11.2013** Bull. № 32

(45) Date of publication: **20.05.2014** Bull. № 14

Mail address:

**117997, Moskva, ul. Profsojuznaja, 65, IPU RAN,  
patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Ostretsov Genrikh Ehrazmovich (RU),  
Pamukhin Vasilij Jur'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki  
Institut problem upravlenija im. V.A.  
Trapeznikova Rossijskoj akademii nauk (RU)**

(54) **METHOD OF CONTROLLING SHIP MOVEMENT ON LATITUDE AND LONGITUDE**

(57) Abstract:

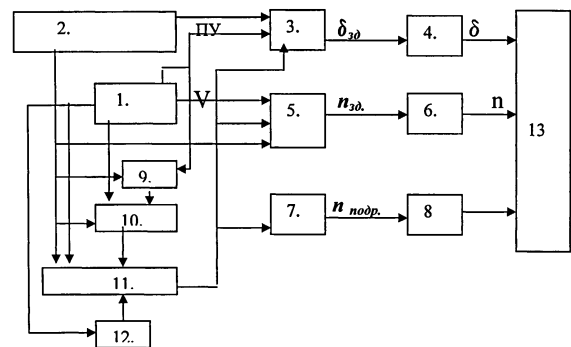
FIELD: physics, navigation.

SUBSTANCE: method of controlling ship movement on a latitude and longitude enables to control movement of a ship on a given path with time-correction of speed. Time-correction enables to find a ship at a given point at a given time. Using the latitude and longitude as navigation information improves accuracy of controlling movement in both space and time. Accurate control using current and latitude and longitude of the ship given in time is realised based on current determination of the course angle in one of four sectors in the range from 0° to 360°. For large angular changes of the given path, automatic switch to standard control of movement on a given course angle and given travelling speed of the ship is provided.

EFFECT: minimising deviation of the ship from a

given path, high cost-effectiveness and safety of controlling movement, passage of the ship through narrow waters and control of switch to standard movement of the ship.

1 dwg



RU 2 516 885 C 2

RU 2 516 885 C 2

Предлагаемое изобретение относится к области судовождения - автоматическому управлению движением судна по заданному маршруту.

Известен способ автоматического управления движением судна по заданному 5  
путевому углу, реализованный в «Системе автоматического управления судном»,  
(патент RU 2240953 С1, БИ №33, 27.11.2004 г.). Способ управления движением судна  
основан на использовании информации от приемника спутниковой навигационной  
системы (СНС), датчика угловой скорости, блока заданного значения путевого угла и  
сумматора, в котором по сигналам: текущего путевого угла, заданного путевого угла  
и угловой скорости судна формируется сигнал для управления рулевым приводом  
10 судна.

Известен также способ автоматического управления движением судна (патент RU  
2292289 С1, БИ №3, 27.01.2007 г., принятый нами в качестве прототипа), в котором  
автоматическое управление движением судна осуществляется аналогично описанному  
выше, но с корректировкой заданного значения путевого угла в процессе плавания из  
15 точки «А» в точку «Б», затем «В»... по заданному маршруту.

Известные способы автоматического управления движением по заданной траектории  
обеспечивают движение судна к заданной точке. Однако недостатками рассмотренных  
способов управления движением судна по заданной траектории являются:

- отсутствие контроля за нахождением судна в заданной точке траектории в заданное  
20 время, т.е. не контролируется совпадение текущего положения судна во времени с  
заданным местонахождением,

- при появлении поперечных (относительно судна) возмущающих силовых  
воздействий создается большой угол дрейфа судна, что приводит к уходу с заданной  
траектории движения, а также к экономическим и временным потерям,

25 - использование только кормового рулевого привода для управления движением  
создает дополнительный угол дрейфа в процессе изменения направления движения  
судна, который приводит также к дополнительным отклонениям от заданной траектории  
в поперечной плоскости судна,

30 - затруднен проход судном узкостей из-за появления угла дрейфа и бокового сноса  
судна относительно заданной траектории движения.

Приведенный ниже способ управления лишен этих недостатков т.к. обеспечивает  
движение судна практически с нулевым углом дрейфа и обеспечивает точное движение  
судна в соответствии с заданным временем нахождения в заданных точках траектории  
движения.

35 Техническим результатом предлагаемого способа управления движением судна  
является:

- минимизация отклонения судна от заданных точек программной траектории  
движения с использованием широт, долгот (благодаря минимизации отклонения судна  
по широте и долготе текущего состояния судна от заданных в пространстве и во  
40 времени),

- повышение экономичности и безопасности управления движением,

- проводка судна в узкостях (т.к. поперечное смещение судна даже при наличии  
возмущающих сил, действующих на судно в поперечном направлении, сводится к малым  
значениям),

45 - переход на типовое (штатное) управление движением судна (с использованием  
только рулевого привода по заданному углу курса) при существенном отклонении  
текущего путевого угла от заданного программного угла курса.

Этот технический результат достигается благодаря использованию трех подсистем

управления движением судна:

а) в продольном направлении движения судна - это подсистема управления скоростью хода  $V$ , в которой путем перестройки регулятора оборотов гребного вала -  $n$  корректируется скорость движения судна -  $V$  и поддерживается движение судна в продольном направлении в соответствии с заданной временной программой движения судна,

б) в поперечном направлении - это подсистема управления движением судна только по углу дрейфа с использованием подруливающих устройств (или носовых рулей), которая совместно с подсистемой управления кормовым рулевым приводом устраняет угол дрейфа и боковой снос судна относительно заданной траектории;

в) при существенном отклонении текущего путевого угла - ПУ от заданного (программного) угла курса -  $\phi_{зд}$   $|\text{ПУ} - \phi_{зд}| > C$ , (в основном это наблюдается при переходе судна на новое направление движения при существенном изменении направления движения по заданной траектории) используют типовое (штатное) управление по путевому углу - ПУ= $\phi_{зд}$  и по скорости хода судна -  $V=V_{зд}$ .

Каналы управления: а) и б) корректируют текущее положение судна с использованием текущих широт -  $\Phi$  и долгот -  $\gamma$ , а также заданных (во времени) программных широт -  $\Phi_{зд}=f(t_{зд})$  и долгот -  $\gamma_{зд}=f_1(t_{зд})$ , обеспечивая более точное управление.

Штатное в) управление осуществляется кормовым рулем -  $\delta$  по заданному путевому углу - ПУ $_{зд}$  и по скорости хода -  $V$  регулятором оборотов гребного вала -  $n$ .

Рассмотрим, как формируются законы штатного управления.

Типовое - штатное управление по путевому углу - ПУ= $\phi_{зд}$  формируется в подсистеме управления кормовым рулевым приводом.

В регулятор рулевого привода -  $\delta$  вводят сигналы:

- ПУ - текущего путевого угла,

-  $\phi_{зд}$  - заданного - программного угла курса,

-  $\omega$  - угловой скорости судна, которая формируется в регуляторе рулевого привода

-  $\delta$ , таким образом формируется закон управления рулем -  $\delta$ :

$$\delta_{зд} = K_1(\text{ПУ} - \phi_{зд}) + K_2\omega \quad (1);$$

где:  $\delta_{зд}$  - заданный угол перекаладки руля,

ПУ,  $\phi_{зд}(t)$  - путевой угол и заданный (программный) угол курса,

$\omega$  - угловая скорость судна,

$K_1, K_2$  - коэффициенты регулирования.

Сигнал -  $\delta_{зд}$  в соответствии с зависимостью (1) вводится на вход рулевого привода, это обеспечивает вывод судна на путевой угол - ПУ, равный заданному (программному) углу курса -  $\phi_{зд}$ .

Типовое - штатное управление скоростью хода судна -  $V=V_{зд}$ .

Для управления скоростью хода судна используют сигналы заданной скорости ходами -  $V_{зд}$  и текущей скорости хода -  $V$ , которые вводят в регулятор оборотов гребного вала -  $n$ :  $f$

$$n_{зд} = K_1(V - V_{зд}) + f(n, V), \quad (2).$$

где:

$n_{зд}$  - заданные обороты гребного вала -  $n$ ,

$f(n, V)$  - штатный закон управления приводом гребного вала.

Рассмотрим реализацию способа управления движением судна по заданной траектории в двух режимах:

- штатное управление,
- управление с формированием управления в пространстве и во времени в

5 соответствии с предлагаемым способом точного управления движением судна, в качестве основной навигационной информации используются текущие и заданные широты -  $\Phi$ ,  $\Phi_{зд}$ , текущие и заданные долготы -  $\gamma$ ,  $\gamma_{зд}$ .

А. Типовой (штатный) закон управления движением судна

Для формирования штатного управления используют:

- 10 - приемник спутниковой навигационной системы (СНС),
- задатчик маршрута,
- регулятор рулевого привода -  $\delta$ ,
- рулевой привод,
- регулятор привода оборотов гребного вала -  $n_{зд}$ ,
- 15 - привод оборотов гребного вала.

В соответствии с зависимостями (1) и (2) судно двигается по заданной траектории с путевым углом -  $\text{ПУ}=\phi_{зд}$  и скоростью -  $V$ , равной заданной скорости -  $V_{зд}$ . Для реализации законов (1) и (2) сигналы путевого угла -  $\text{ПУ}$  и скорости хода судна -  $V$  (сформированные в приемнике СНС) вводят, соответственно, на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$  и на вход регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ . Сигналы заданного угла курса -  $\phi_{зд}$  и заданной скорости хода -  $V_{зд}$  (из задатчика маршрута) вводят, соответственно, на входы регулятора рулевого привода -  $\delta$  и регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ . Сигналы: заданного угла переключки руля -  $\delta_{зд}$  (из

20 регулятора рулевого привода -  $\delta$ ) и заданных оборотов гребного вала -  $n_{зд}$  (из регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ ) вводят, соответственно, на входы: рулевого привода и привода оборотов гребного вала.

Переход со штатного закона управления (1) и (2) на режим точного управления осуществляется с применением:

- 30 - блока 4-х секторов путевого угла,
- регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{подр}$ ,
- подруливающего устройства,
- блока сравнения,
- 35 - блока разностей,
- блока коррекции сигналов управления.

Сигнал путевого угла -  $\text{ПУ}$  (из приемника СНС) и сигнал заданного угла курса -  $\phi_{зд}$  (из задатчика маршрута) вводят на вход блока сравнения, в котором формируют модуль разности сигналов  $|\text{ПУ} - \phi_{зд}|$  и сравнивают с постоянной  $C_1$ .

40 Если  $\phi_{зд} |\text{ПУ} - \phi_{зд}| > C_1$  (это условие соответствует использованию штатного режима управления), то сигналы  $\text{ПУ}$  и  $\phi_{зд}$  отключают от входа блока сравнения, через интервал времени  $\Delta t$  сигналы:  $\text{ПУ}$  и  $\phi_{зд}$  вновь вводят в блок сравнения и формируют модуль разности сигналов  $|\text{ПУ} - \phi_{зд}|$  для сравнения с постоянной  $C_1$ , если  $\phi_{зд} |\text{ПУ} - \phi_{зд}| > C_1$ , то вновь через интервалы времени  $\Delta t$  в блоке сравнения повторяют операцию сравнения сигнала модуля разности... Рассмотренные циклы повторяют до тех пор пока

выполняется неравенство  $\phi_{зд} |ПУ - \phi_{зд}| > C_1$ . Если удовлетворяется неравенство  $|ПУ - \phi_{зд}| \leq C_1$ , то производят формирование точного закона управления.

Б. Формирование точного закона управления.

5 В соответствии с предложенным способом формируют законы точного управления движением судна в регуляторе рулевого привода -  $\delta$ , в регуляторе оборотов гребного вала -  $n$  и в регуляторе привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{подр}$  (с использованием информации по широте -  $\Phi$  и долготе -  $\gamma$  судна).

10 Если в блоке сравнения формируется условие  $|ПУ - \phi_{зд}| \leq C_1$ , то в блок разностей вводят сигналы текущей широты -  $\Phi$ , долготы -  $\gamma$  судна (из приемника СНС) и заданной широты -  $\Phi_{зд}$ , заданной долготы -  $\gamma_{зд}$  (из задатчика маршрута) для формирования сигналов:  $(\Phi - \Phi_{зд})$ ,  $(\gamma - \gamma_{зд})$  и сигналов, производных от сигналов широты  $d\Phi/dt$  и долготы  $d\gamma/dt$ . Сформированные сигналы:  $(\Phi - \Phi_{зд})$ ,  $(\gamma - \gamma_{зд})$ ,  $d\Phi/dt$  и  $d\gamma/dt$  вводим в блок коррекции сигналов управления

В блоке 4-х секторов путевого угла формируем сигнал одного из четырех секторов, в котором находится в данный момент вектор путевого угла - ПУ, используя сигнал путевого угла - ПУ (из приемника СНС) и сигналы углов граничных значений четырех

- 20 секторов (последние введены в память блока 4-х секторов путевого угла):
- а)  $(-\pi/4) = +7\pi/4 < \text{угол вектора ПУ} < +\pi/4$
  - б) или  $+\pi/4 < \text{угол вектора ПУ} < +3\pi/4$
  - в) или  $+3\pi/4 < \text{угол вектора ПУ} < +5\pi/4$
  - г) или  $+5\pi/4 < \text{угол вектора ПУ} < +7\pi/4 = (-\pi/4)$ .

25 Сигнал одного из четырех секторов: а), или б), или в), или г), в котором находится в данный момент вектор путевого угла - ПУ, вводим в блок коррекции сигналов управления для формирования точных законов управления движением судна.

А. Формируем в блоке коррекции сигналов управления точные законы управления движением судна, если ПУ находится в секторе: а) или в) (блока 4-х секторов путевого

30 угла).

1а. Сигнал точного закона управления рулевым приводом -  $\Delta\delta_{кор}$  формируется используя сигналы -  $(\gamma - \gamma_{зд})$ ,  $d\gamma/dt$ , поступившие из блока разностей:

при наличии сигнала сектора а)  $\Delta\delta_{кор} = +K_1(\gamma - \gamma_{зд}) + K_2 d\gamma/dt$ ,

35 или

при наличии сигнала сектора в)  $\Delta\delta_{кор} = -K_1(\gamma - \gamma_{зд}) - K_2 d\gamma/dt$ ,

где  $K_1$  и  $K_2$  - постоянные.

40 Сигнал  $\Delta\delta_{кор}$  (с выхода блока коррекции сигналов управления) вводится на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , а сигналы:  $K_1(ПУ - \phi_{зд}) + K_2\omega$  (из приемника СНС и задатчика маршрута), подключенные к входу регулятора рулевого привода -  $\delta$  (используемые в штатном режиме управления), отключают. На выходе регулятора рулевого привода -  $\delta$  таким образом формируется сигнал:  $\delta_{зд} = \Delta\delta_{кор}$ .

2а. Сигнал управления оборотами подруливающего устройства -  $n_{подр}$  формируется, 45 используя сигнал -  $(\gamma - \gamma_{зд})$  из в блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $n_{подр.зд} = -K_3(\gamma - \gamma_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $n_{подр.зд} = +K_3(\gamma - \gamma_{зд})$ .

Сигнал -  $n_{\text{подр.зд}}$  вводится на вход регулятора оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$ , на выходе регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$  формируется сигнал  $n_{\text{подр}}=n_{\text{подр.зд}}$ , который вводится на вход привода оборотов подруливающего устройства.

3а. Сигнал коррекции оборотов гребного вала -  $\Delta n_{\text{зд}}$  формируется, используя сигнал  $(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $\Delta n_{\text{зд}}=-K_4(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $\Delta n_{\text{зд}}=+K_4(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$ .

Сигнал -  $\Delta n_{\text{зд}}$  вводят на вход регулятора оборотов гребного вала -  $n$ . На выходе регулятора оборотов гребного вала -  $n$  формируется сигнал:

$$n_{\text{зд}}=\Delta n_{\text{зд}}+K_1(V-V_{\text{зд}})+f(n,V).$$

Б. Формируем в блоке коррекции сигналов управления точные законы управления движением судна, если ПУ находится в секторе б) или г) (блока 4-х секторов путевого угла).

1б. Сигнал точного закона управления рулевым приводом -  $\Delta\delta_{\text{кор}}$  формируем, используя сигналы  $(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$ ,  $d\Phi/dt$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора - б)  $\Delta\delta_{\text{кор}}=-K_5(\Phi-\Phi_{\text{зд}})-K_2d\Phi/dt$ ,

или при наличии сигнала сектора - г)  $\Delta\delta_{\text{кор}}=+K_5(\Phi-\Phi_{\text{зд}})+K_2d\Phi/dt$ .

Сигнал -  $\Delta\delta_{\text{кор}}$  вводится на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , а сигналы  $K_1(\Phi-\Phi_{\text{зд}})+K_2\omega$ , подключенные к входу регулятора рулевого привода (из приемника СНС и задатчика маршрута), отключают. На выходе регулятора рулевого привода -  $\delta$  таким образом формируется сигнал:  $\delta_{\text{зд}}=\Delta\delta_{\text{кор}}$ .

2б. Сигнал оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$  формируем, используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора - б)  $n_{\text{подр.зд}}=-K_5(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$ ,

или при наличии сигнала сектора - г)  $n_{\text{подр.зд}}=+K_5(\Phi-\Phi_{\text{зд}})$ .

Сигнал -  $n_{\text{подр.зд}}$  вводится на вход регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$ . Сигнал с выхода регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$  вводится на вход подруливающего устройства:  $n_{\text{подр}}=n_{\text{подр.зд}}$ .

3б. Сигнал коррекции оборотов гребного вала -  $\Delta n_{\text{зд}}$  формируем, используя сигнал -  $(\gamma-\gamma_{\text{зд}})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора - б)  $\Delta n_{\text{зд}}=-K_3(\gamma-\gamma_{\text{зд}})$ ,

или при наличии сигнала сектора - г)  $\Delta n_{\text{зд}}=+K_6(\gamma-\gamma_{\text{зд}})$ ,

затем сигнал -  $\Delta n_{\text{зд}}$  вводят на вход регулятора оборотов гребного вала -  $n$ . Сигнал с выхода регулятора оборотов гребного вала -  $n$  вводят на вход привода оборотов гребного вала:  $n_{\text{зд}}=\Delta n_{\text{зд}}+K_1(V-V_{\text{зд}})+f(n,V)$ .

Таким образом, сформированы законы точного управления движением судна с использованием регулятора рулевого привода -  $\delta$ , регулятора оборотов гребного вала -  $n$  и регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$ . Через интервал времени  $\Delta t$  в блоке сравнения формируется сигнал  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}|$ . Если выполняется



условие  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq C_1$ , то через следующий интервал времени  $\Delta t$  в блоке сравнения формируется сигнала  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq \dots$  Через интервал времени  $m\Delta t$ , при выполнении

5 условия  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq C_1$  повторяется цикл установки точного управления с использованием текущих данных по широте, долготе и направлению вектора путевого угла (начиная с раздела см. выше: «Б. Формирование точного закона управления)...».

Если через  $n\Delta t$  (где обычно  $n > m$ ) интервалов времени в блоке сравнения сформируется  
10 сигнал  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq C_1$ , то начнется формирование штатного закона управления.

#### Аа. Формирование штатного закона управления

В случае перехода на новое направление движения судна (при выполнении условия в блоке сравнения  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq C_1$ ) включается штатное управление (переход на  
15 штатное управление по заданному путевому углу и заданной скорости хода судна в соответствии с законами управления (1) и (2)) с точного закона управления по широте и долготе). Переход производится при существенном отклонении путевого угла от заданного угла курса:  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq C_1$  в следующей последовательности:

- сигналы - ПУ и  $\phi_{\text{зд}}$  (из приемника СНС и задатчика маршрута) подключают к входу  
20 регулятора: рулевого привода -  $\delta$ ,

- сигналы -  $V$  и  $V_{\text{зд}}$  (из приемника СНС и задатчика маршрута) подключают к входу регулятора оборотов гребного вала -  $n$ ,

- сигнал угловой скорости -  $\omega$  формируют в регуляторе рулевого привода -  $\delta$  и  
25 подключают к его входу,

- сигналы закона точного управления с выхода блока коррекции сигналов управления, подключенные к входу регуляторов: рулевого привода -  $\delta$ , оборотов гребного вала -  $n$  и привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$ , отключают (формируется  
30 управление рулевым приводом по закону (1) и приводом оборотов гребного вала по закону (2) (подруливающее устройство отключается).

Через интервал времени  $\Delta t$  в блоке сравнения вновь формируется сигнал  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}|$  и сравнивается с постоянной  $C_1$ .

35 Если  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| > C_1$ , то через следующий интервал времени  $\Delta t$  вновь формируется сигнал  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}|$  и сравнивается с постоянной  $C_1 \dots$  (остается штатное управление).

Если  $|\text{ПУ} - \phi_{\text{зд}}| \leq C_1$ , то формируются сигналы для формирования точных законов управления, т.е. возвращаемся к разделу, см. выше: «Б. Формирование точного закона  
40 управления)...».

Система автоматического управления движением судна по заданной траектории (см. фиг.)

Рассмотрим систему автоматического управления движением судна по заданной траектории, структура которой разработана с использованием предлагаемого способа  
45 управления движением судна по заданной траектории. К штатному режиму управления движением, при котором в качестве основной информации используются сигналы путевого угла - ПУ и скорости хода  $V$ , добавлен режим точного управления с использованием в качестве основной навигационной информации текущей и заданной

широты -  $\Phi$ ,  $\Phi_{зд}$  и долготы -  $\gamma$ ,  $\gamma_{зд}$  судна).

Система содержит: приемник спутниковой навигационной системы (СНС) - 1, задатчик маршрута - 2, регулятор рулевого привода  $\delta_{зд}$  - 3, рулевой привод - 4, регулятор привода оборотов гребного вала  $n_{зд}$  - 5, привод оборотов гребного вала - 6, регулятор оборотов подруливающего устройства  $n_{подр}$  - 7, подруливающее устройство - 8, блок сравнения - 9, блок разностей - 10, блок коррекции сигналов управления - 11, блок 4-х секторов путевого угла - 12, судно - 13 (объект управления). Все связи между блоками системы приведены на фиг. Реализация предлагаемой системы может быть осуществлена с использованием микросхем типа 140-УД 6 и 140 УД-8:

- сумматоры: блоки: 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11,
- интегратор 12.

Задатчик маршрута - 2 - программный блок формирования сигналов: заданного значения угла курса и скорости хода, а также заданных широт и долгот для движения по заданной траектории от точки Д к точке Б...

Штатные судовые системы:

- приемник СНС-1 (с возможностью выработки угловой скорости -  $\omega$  с точностью не ниже 0,05 гр/с, сигнал  $d\phi/dt$  может формироваться также в регуляторе рулевого привода  $\delta_{зд}$  - 3).

- рулевой привод - 4,
- привод оборотов гребного вала - 6,
- подруливающее устройство - 8.

Система автоматически обеспечивает движение корабля по заданной траектории в двух режимах: как при штатном режиме управления, так и при законе точного управления.

1а. Штатный режим управления реализуется по путевому углу -  $ПУ = \phi_{зд}$

В регулятор рулевого привода 0-3 вводятся сигналы:

- ПУ - текущего путевого угла (с приемника СНС-1),
- $\phi_{зд}$  - заданного (программного) угла курса (с задатчика маршрута - 2),
- $\omega$  - угловой скорости судна (которая формируется в регуляторе рулевого привода  $\delta$  - 3).

Таким образом, формируется закон управления рулевым приводом - 4:

$$\delta_{зд} = K_1 (ПУ - \phi_{зд}) + K_2 \omega \quad (1);$$

где:  $\delta_{зд}$  - заданный угол перекадки руля,

ПУ,  $\phi_{зд}(t)$  - путевой угол и заданный (программный) угол курса,  $G$  - угловая скорость судна,

$K_1$   $K_2$  - коэффициенты регулирования;

Сигнал  $\delta_{зд}$  в зависимости (1) (с выхода регулятора рулевого привода - 3) вводится на вход рулевого привода - 4, это обеспечивает вывод судна на путевой угол - ПУ, равный заданному (программному) углу курса -  $\phi_{зд}$ .

1б. Типовое (штатное) управление скоростью хода судна -  $V = V_{зд}$ .

Для управления скоростью хода судна используют сигналы заданной скорости хода -  $V_{зд}$  (из задатчика маршрута - 2) и текущей скорости хода -  $V$  (из приемника СНС - 1), которые вводят на вход регулятора оборотов гребного вала - 5 (на выходе регулятора - 5 формируется закон управления приводом оборотов гребного вала - 6):

$n_{зд} = K_1(V - V_{зд}) + f(n, V)$ , где:

$n_{зд}$  - заданные обороты гребного вала,

$f(n, V)$  - штатный закон управления приводом гребного вала - 6,

$(V - V_{зд})$  - сигнал рассогласования по скорости хода судна.

Штатный закон управления (1) и (2) формируется в системе только при величине модуля рассогласования - путевого угла - ПУ (из приемника СНС-1) и заданного угла курса -  $\phi_{зд}$  (из задатчика маршрута - 2) больше  $C_1$ :  $|\text{ПУ} - \phi_{зд}| > C_1$ . Эта зависимость формируется в блоке сравнения - 9 и только при выполнении этого условия формируется штатный закон управления (1), (2) в регуляторе рулевого привода - 3 и регуляторе привода оборотов гребного вала - 5.

Формирование и использование закона точного управления движением судна производится при удовлетворении зависимости:  $|\text{ПУ} - \phi_{зд}| \leq C_1$ , которая может

вырабатываться в блоке сравнения - 9 вместо зависимости  $|\text{ПУ} - \phi_{зд}| > C_1$ . При этом в блок разностей - 10 из приемника СНС - 1 поступит текущая широта -  $\Phi$  и долгота - 7, а из задатчика маршрута - 2 - заданная широта -  $\Phi_{зд}$  и заданная долгота -  $\gamma_{зд}$ . Для формирования сигналов:  $(\Phi - \Phi_{зд})$ ,  $(\gamma - \gamma_{зд})$  и сигналов, производных от сигналов широты -  $d\Phi/dt$  и долготы -  $d\gamma/dt$ , которые вводятся в блок коррекции законов управления - 11, в блок коррекции законов управления - 11 также вводится сигнал одного из четырех секторов, в котором находится вектор путевого угла а), или б), или в), или г) (из блока 4-х секторов путевого угла - 12). Для формирования в блоке - 12 сигнала одного из четырех секторов, в котором находится вектор путевого угла., сигнал путевого угла - ПУ (из приемника СНС) вводится в блок - 12. В блоке коррекции сигналов управления - 11 по сигналу сектора: а), или б) или в) или г) (из блока 12), а также сигналам разностей  $(\Phi - \Phi_{зд})$  и  $(\gamma - \gamma_{зд})$  и сигналам производных от сигналов широты -  $d\Phi/dt$  и долготы -  $d\gamma/dt$  из блока разностей 10 формируют законы точного управления в регуляторах:

1. рулевого привода -  $\delta$  - 3 -  $\Delta\delta_{кор}$ , которые вводятся в регулятор - 3, а сигналы  $K_1(\text{ПУ} - \phi_{зд}) + K_2\omega$  отключают (раннее подключенные к входу регулятора - 3 при штатном управлении),

2. оборотов подруливающего устройства -  $n_{подр}$  - 7. сигнал -  $n_{подр.зд}$  - формируется в регуляторе - 7.

3. оборотов гребного вала  $n_{зд}$  - 5 сигнал -  $\Delta n_{зд}$  - формируется в регуляторе - 5.

(Формирование сигналов  $\Delta\delta_{кор}$ ,  $n_{подр.зд}$ ,  $\Delta n_{зд}$  - подробно рассмотрено в описании изобретения.)

При выработке в блоке сравнения - 9 неравенства  $|\text{ПУ} - \phi_{зд}| > C_1$ :

- сигналы корректировки трех законов точного управления из блоке - 11. отключают от регуляторов: - 3, 5 и 7,

- в блоке 3 сигнал из приемника СНС-1 - ПУ и сигнал из задатчика маршрута - 2 -  $\phi_{зд}$  подключают к входу регулятора рулевого привода - 4,

- формируют в блоке 3 сигнал  $\omega$ , который вводят на вход регулятора - 4, возвращаясь тем самым к закону штатного управления (1),

- отключают привод подруливающего устройства - 8.

Моделирование рассмотренного выше способа автоматического управления движением судна подтвердило его работоспособность, а следовательно, и высокую

эффективность использования предложенного способа управления движением судна по заданной траектории.

#### Формула изобретения

5 Способ управления движением судна по широте и долготе, основанный на использовании: приемника спутниковой навигационной системы (СНС), задатчика маршрута, регулятора рулевого привода -  $\delta$ , рулевого привода, регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ , привода оборотов гребного вала; сигналы путевого угла - ПУ (из приемника СНС) вводят на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , сигнал скорости хода судна -  $V$  (из приемника СНС) вводят на вход регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ , сигнал заданного угла курса -  $\varphi_{зд}$  (из задатчика маршрута) вводят на входы регулятора рулевого привода -  $\delta$ , сигнал заданной скорости хода -  $V_{зд}$  (из задатчика маршрута) вводят на вход регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ , сигнал заданного угла перекладки руля -  $\delta_{зд}$  (из регулятора рулевого привода -  $\delta$ ) вводят на вход рулевого привода, сигнал заданных оборотов гребного вала -  $n_{зд}$  (из регулятора привода оборотов гребного вала -  $n$ ) вводят на вход привода оборотов гребного вала, отличающийся тем, что используют блок  $4^x$  секторов путевого угла, регулятор оборотов привода подруливающего устройства -  $n_{побр}$ , подруливающее устройство, блок сравнения, блок разностей и блок коррекции сигналов управления; сигнал - ПУ (из приемника СНС) и сигнал -  $\varphi_{зд}$  (из задатчика маршрута) вводят на вход блока сравнения, в котором формируют модуль разности сигналов  $|\text{ПУ}-\varphi_{зд}|$  и сравнивают с постоянной  $C_1$ , если  $|\text{ПУ}-\varphi_{зд}| > C_1$ , то сигналы ПУ и  $\varphi_{зд}$  отключают от входа блока сравнения, через интервал времени  $\Delta t$  сигналы: ПУ и  $\varphi_{зд}$  вводят в блок сравнения, формируют модуль разности сигналов  $|\text{ПУ}-\varphi_{зд}|$  и сравнивают с постоянной  $C_1$ , если  $|\text{ПУ}-\varphi_{зд}| > C_1$ , то вновь через интервалы времени  $\Delta t$  в блоке сравнения повторяют операцию сравнения,

10 если  $|\text{ПУ}-\varphi_{зд}| \leq C_1$ , то производится формирование точного управления: в блоке разностей из сигналов текущей широты судна -  $\Phi$  (из приемника СНС) и заданной широты судна -  $\Phi_{зд}$  (из задатчика маршрута), текущей долготы судна -  $\gamma$  (из приемника СНС) и заданной долготы -  $\gamma_{зд}$  (из задатчика маршрута) формируют сигналы разности  $(\Phi-\Phi_{зд})$ ,  $(\gamma-\gamma_{зд})$  и сигналы производных от сигналов широты -  $d\Phi/dt$  и долготы -  $d\gamma/dt$ .

15 Сформированные сигналы:  $(\Phi-\Phi_{зд})$ ,  $(\gamma-\gamma_{зд})$ ,  $d\Phi/dt$  и  $d\gamma/dt$  вводят в блок коррекции сигналов управления; в блок  $4^x$  секторов путевого угла вводят сигнал - ПУ (из приемника СНС) и по сигналам углов граничных значений четырех секторов (введенных в блок  $4^x$  секторов путевого угла), в котором находится - ПУ:

20 а)  $(-\pi/4) = +7\pi/4 < \text{ПУ} < +\pi/4$ ,  
 б) или  $+\pi/4 < \text{ПУ} < +3\pi/4$ ,  
 в) или  $+3\pi/4 < \text{ПУ} < +5\pi/4$ ,  
 г) или  $+5\pi/4 < \text{ПУ} < +7\pi/4 = (-\pi/4)$ ;

25 формируют сигнал одного из четырех секторов: а), или б), или в), или г), в котором находится ПУ; в блок коррекции сигналов управления вводят сигнал этого сектора, формируют сигналы законов точного управления: рулевым приводом, приводом подруливающего устройства, приводом гребного вала, когда путевой угол - ПУ находится в секторе: а), или б), или в), или г):

- сигнал закона управления рулевым приводом -  $\Delta\delta_{кор}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе а) или в), используя сигналы:  $(\gamma-\gamma_{зд})$ ,  $d\gamma/dt$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $\Delta\delta_{кор}=-K_1(\gamma-\gamma_{зд})-K_2 d\gamma/dt$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $\Delta\delta_{кор}=+K_1(\gamma-\gamma_{зд})+K_2 d\gamma/dt$ ,

сигнал  $\Delta\delta_{кор}$  вводится на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , а сигналы  $K_1$  ( $\text{ПУ}-\varphi_{зд}$ )+ $K_2 \omega_{зд}$ , подключенные к входу регулятора рулевого привода -  $\delta$  (из приемника СНС и задатчика маршрута), отключают (сигнал на выходе регулятора управления рулевым приводом принимает вид:  $\delta_{зд}=\Delta\delta_{кор}$ , этот сигнал вводится на вход рулевого привода -  $\delta$ ),

- сигнал оборотов привода подруливающего устройства -  $n_{подр.зд}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе а) или в), используя сигнал -  $(\gamma-\gamma_{зд})$  из блока разностей:

при наличии сигнала сектора а)  $n_{подр.зд}=-K_3(\gamma-\gamma_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $n_{подр.зд}=+K_3(\gamma-\gamma_{зд})$ ,

сигнал -  $n_{подр.зд}$  формируется в регуляторе оборотов привода подруливающего устройства -  $n_{подр}$ , сигнал управления приводом оборотов подруливающего устройства при этом принимает вид:  $n_{подр}=n_{подр.зд}$ , который вводится на вход приводом оборотов подруливающего устройства;

- сигнал коррекции оборотов гребного вала -  $\Delta n_{зд}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе а) или в), используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{зд})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $\Delta n_{зд}=-K_4(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $\Delta n_{зд}=+K_4(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

сигнал -  $\Delta n_{зд}$  вводят на вход регулятора оборотов гребного вала -  $n$ , сигнал закона управления оборотами гребного вала принимает вид:

$n_{зд}=\Delta n_{зд}+K_1(V-V_{зд})+f(n, V)$ ,

сформированный в регуляторе оборотов гребного вала -  $n$ , сигнал -  $n_{зд}$  вводится на вход привода оборотов гребного вала;

- сигнал управления рулевым приводом вида -  $\Delta\delta_{кор}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе б) или г), используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{зд})$ ,  $d\Phi/dt$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора б)  $\Delta\delta_{кор}=+K_3(\Phi-\Phi_{зд})+K_6 d\Phi/dt$

или при наличии сигнала сектора г)  $\Delta\delta_{кор}=-K_5(\Phi-\Phi_{зд})K_6 d\Phi/dt$ , сигнал -  $\Delta\delta_{кор}$

вводится на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , а сигналы:  $K_1$  ( $\text{ПУ}-\varphi_{зд}$ )+ $K_2 \omega$ , подключенные к входу регулятора рулевого привода (из приемника СНС и задатчика маршрута), отключают, управление рулевым приводом принимает вид:  $\delta_{зд}=\Delta\delta_{кор}$ , этот сигнал вводится на вход рулевого привода -  $\delta$ ;

- сигнал оборотов привода подруливающего устройства (при нахождении путевого угла ПУ в секторе б) или г), используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{зд})$  из блока разностей):

при наличии сигнала - сектора б)  $n_{подр.зд}=-K_5(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

или при наличии сигнала - сектора г)  $n_{подр.зд}=+K_5(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

сигнал -  $n_{подр.зд}$  вводится на вход регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{подр}$ , который затем вводится на вход подруливающего устройства;

- сигнал коррекции оборотов гребного вала -  $\Delta n_{зд}$  (при нахождении путевого угла

ПУ в секторе б) или г), используя сигнал  $(\gamma - \gamma_{зд})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора б)  $\Delta n_{зд} = -K_4(\gamma - \gamma_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора г)  $\Delta n_{зд} = +K_4(\gamma - \gamma_{зд})$ ,

5 сигнал  $-\Delta n_{зд}$  вводят на вход регулятора оборотов гребного вала -  $n$  (управление оборотами гребного вала -  $n$  принимает вид:

$n_{зд} = \Delta n_{зд} + K_1(V - V_{зд}) + f(n, V)$ , сформированный в регуляторе оборотов гребного вала -  $n$  сигнал  $-n_{зд}$  вводится на вход привода оборотов гребного вала;

10 через интервал времени  $\Delta t$  сигнал путевого угла - ПУ (из приемника СНС) и сигнал заданного угла курса -  $\varphi_{зд}$  (из задатчика маршрута) вводят в блок сравнения, в котором формируют сигнал модуля разности  $|ПУ - \varphi_{зд}|$  и сравнивают с постоянной  $C_1$ , если модуль разности  $|ПУ - \varphi_{зд}| \leq C_1$ , то через интервал времени  $\Delta t$  сигналы: ПУ и  $\varphi_{зд}$  вновь вводят в блок сравнения, формируют модуль разности сигналов  $-|ПУ - \varphi_{зд}|$  и сравнивают

15 с постоянной  $C_1$ , ... в момент времени  $m\Delta t$  формируют модуль разности сигналов  $-|ПУ - \varphi_{зд}|$  и сравнивают с постоянной  $C_1$  и если  $|ПУ - \varphi_{зд}| > C_1$ , то формируют штатное управление движением судна:

- сигналы - ПУ и  $\varphi_{зд}$  (из приемника СНС и задатчика маршрута) подключают к

20 входу регулятора рулевого привода -  $\delta$ ,

- сигналы -  $V$  и  $V_{зд}$  (из приемника СНС и задатчика маршрута) подключают к входу регулятора оборотов гребного вала -  $n$ ,

- сигнал угловой скорости -  $\omega$  формируют в регуляторе рулевого привода -  $\delta$  и подключают к его входу,

25 - сигналы с выхода блока коррекции сигналов управления, подключенные к входу регуляторов: рулевого привода -  $\delta$ , оборотов гребного вала -  $n$  и оборотов подруливающего устройства -  $n_{подр}$ , отключают (таким образом формируется управление рулевым приводом по закону (1) и приводом оборотов гребного вала по

30 закону (2)) через интервал времени  $\Delta t$  в блоке сравнения вновь формируют сигнал  $|ПУ - \varphi_{зд}|$ , сравнивают с постоянной  $C_1$  и если  $|ПУ - \varphi_{зд}| > C_1$ , то через интервал времени  $\Delta t$  вновь формируется сигнал модуля  $|ПУ - \varphi_{зд}|$ ... (остается штатное управление), в момент времени  $n\Delta t$  при выполнении условия  $|ПУ - \varphi_{зд}| \leq C_1$  формируют точное управление:

35 в блоке разностей из сигналов текущей широты судна -  $\Phi$  (из приемника СНС) и заданной широты судна -  $\Phi_{зд}$  (из задатчика маршрута), текущей долготы судна -  $\gamma$  (из приемника СНС) и заданной долготы -  $\gamma_{зд}$  (из задатчика маршрута) формируют сигналы разности  $(\Phi - \Phi_{зд})$ ,  $(\gamma - \gamma_{зд})$  и сигналы производных от сигналов широты -  $d\Phi/dt$  и долготы -  $d\gamma/dt$ . Сформированные сигналы:  $(\Phi - \Phi_{зд})$ ,  $(\gamma - \gamma_{зд})$ ,  $d\Phi/dt$  и  $d\gamma/dt$  вводим в блок коррекции

40 сигналов управления; в блок  $4^x$  секторов путевого угла вводят сигнал - ПУ (из приемника СНС) и по сигналам углов граничных значений четырех секторов (введенных в блок  $4^x$  секторов путевого угла), в котором находится - ПУ:

а)  $(-\pi/4) = +7\pi/4 < ПУ < +\pi/4$ ,

45 б) или  $+\pi/4 < ПУ < +3\pi/4$ ,

в) или  $+3\pi/4 < ПУ < +5\pi/4$ ,

г) или  $+5\pi/4 < ПУ < +7\pi/4 = (-\pi/4)$ ;

формируют сигнал одного из четырех секторов: а), или б), или в), или г), в котором находится ПУ; в блок коррекции сигналов управления вводят сигнал этого сектора,

формируют сигналы законов точного управления: рулевым приводом, приводом подруливающего устройства, приводом гребного вала, когда путевой угол - ПУ находится в секторе: а), или б), или в), или г):

5 - сигнал закона управления рулевым приводом -  $\Delta\delta_{кор}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе а) или в), используя сигналы:  $(\gamma-\gamma_{зд})$ ,  $d\gamma/dt$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $\Delta\delta_{кор}=-K_1(\gamma-\gamma_{зд})-K_2 d\gamma/dt$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $\Delta\delta_{кор}=+K_1(\gamma-\gamma_{зд})+K_2 d\gamma/dt$ ,

10 сигнал  $\Delta\delta_{кор}$  вводится на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , а сигналы  $K_1(\text{ПУ}-\varphi_{зд})+K_2 \omega_{зд}$ , подключенные к входу регулятора рулевого привода -  $\delta$  (из приемника СНС и задатчика маршрута), отключают (сигнал на выходе регулятора управления рулевым приводом принимает вид:  $\delta_{зд}=\Delta\delta_{кор}$ , этот сигнал вводится на вход рулевого привода -  $\delta$ ),

15 - сигнал оборотов привода подруливающего устройства -  $n_{подр.зд}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе а) или в), используя сигнал -  $(\gamma-\gamma_{зд})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $n_{подр.зд}=-K_3(\gamma-\gamma_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $n_{подр.зд}=+K_3(\gamma-\gamma_{зд})$ ,

20 сигнал -  $n_{подр.зд}$  формируется в регуляторе оборотов привода подруливающего устройства -  $n_{подр}$ , сигнал управления приводом оборотов подруливающего устройства при этом принимает вид:  $n_{подр}=n_{подр.зд}$ , который вводится на вход приводом оборотов подруливающего устройства;

25 - сигнал коррекции оборотов гребного вала -  $\Delta n_{зд}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе а) или в), используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{зд})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора а)  $\Delta n_{зд}=-K_4(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора в)  $\Delta n_{зд}=+K_4(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

30 сигнал -  $\Delta n_{зд}$  вводят на вход регулятора оборотов гребного вала -  $n$ , сигнал закона управления оборотами гребного вала принимает вид:

$n_{зд}=\Delta n_{зд}+K_1(V-V_{зд})+f(n, V)$ ,

сформированный в регуляторе оборотов гребного вала -  $n$ , сигнал -  $n_{зд}$  вводится на вход привода оборотов гребного вала;

35 - сигнал управления рулевым приводом вида -  $\Delta\delta_{кор}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе б) или г), используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{зд})$ ,  $d\Phi/dt$  из блока разностей);

при наличии сигнала сектора б)  $\Delta\delta_{кор}=+K_5(\Phi-\Phi_{зд})+K_6 d\Phi/dt$

или при наличии сигнала сектора г)  $\Delta\delta_{кор}=-K_5(\Phi-\Phi_{зд})-K_6 d\Phi/dt$ ,

40 сигнал -  $\Delta\delta_{кор}$  вводится на вход регулятора рулевого привода -  $\delta$ , а сигналы:  $K_1(\text{ПУ}-\varphi_{зд})+K_2 \omega$ , подключенные к входу регулятора рулевого привода (из приемника СНС и задатчика маршрута), отключают, управление рулевым приводом принимает вид:  $\delta_{зд}=\Delta\delta_{кор}$ , этот сигнал вводится на вход рулевого привода -  $\delta$ ;

45 - сигнал оборотов привода подруливающего устройства (при нахождении путевого угла ПУ в секторе б) или г), используя сигнал -  $(\Phi-\Phi_{зд})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора б)  $n_{подр.зд}=-K_5(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

или при наличии сигнала сектора г)  $n_{подр.зд}=+K_5(\Phi-\Phi_{зд})$ ,

сигнал -  $n_{\text{подр.зд}}$  вводится на вход регулятора привода оборотов подруливающего устройства -  $n_{\text{подр}}$ , который затем вводится на вход подруливающего устройства;

- сигнал коррекции оборотов гребного вала -  $\Delta n_{\text{зд}}$  (при нахождении путевого угла ПУ в секторе б) или г), используя сигнал -  $(\gamma - \gamma_{\text{зд}})$  из блока разностей):

при наличии сигнала сектора б)  $\Delta n_{\text{зд}} = -K_4(\gamma - \gamma_{\text{зд}})$ ,

или при наличии сигнала сектора г)  $\Delta n_{\text{зд}} = +K_4(\gamma - \gamma_{\text{зд}})$ ,

сигнал -  $\Delta n_{\text{зд}}$  вводят на вход регулятора оборотов гребного вала -  $n$  (управление оборотами гребного вала -  $n$  принимает вид:

$n_{\text{зд}} = \Delta n_{\text{зд}} + K_1(V - V_{\text{зд}}) / +f(n, V)$ , сформированный в регуляторе оборотов гребного вала -  $n$  сигнал -  $n_{\text{зд}}$  вводится на вход привода оборотов, через интервал времени  $\Delta t$  сигналы:

ПУ и  $\varphi_{\text{зд}}$  вводят в блок сравнения, формируют модуль разности сигналов  $|\text{ПУ} - \varphi_{\text{зд}}|$  и сравнивают с постоянной  $C_1$ .