

УДК 629.1.04

Г. Г. КУЛИКОВ, П. С. КОТЕНКО, Р. И. АЛИМБЕКОВ, А. Л. АЛИМБЕКОВ

АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ КОРРЕКЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ СУДОВОЖДЕНИЯ

Рассматриваются современные судовые интегрированные навигационные системы и предлагаются методы, позволяющие при помощи использования микропроцессорной обработки навигационных данных полностью автоматизировать процесс судовождения. *Микропроцессорные устройства навигации; система управления судами; алгоритмы судовождения; элементы курсо-скоростного счисления в системе управления*

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных средств автоматизации судовождения происходит в направлении интеграции имеющихся каналов счисления координат и определения параметров движения, т. е. совмещения разнородных навигационных устройств в единую систему с эффективным человеко-машинным интерфейсом. Состав электронного оборудования на судах регламентируется требованиями Российского морского регистра судоходства или Речного регистра, которые, в свою очередь, базируются на правилах судоходства, установленных Международной морской организацией (ИМО) [1]. В навигационной системе (рис. 1) можно выделить 3 основных контура местоопределения: курсо-скоростной, спутниковый, инерциальный. Оператор с визуальными устройствами составляет резервный канал управления.

Как правило, современная навигационная система, например, интегрированная система «Транзас» [2], объединяет следующее оборудование: дважды резервированную электронную картографическую навигационную информационную систему (ЭКНИС); дважды резервированную радарную систему; рулевую систему; систему управления по курсу или траектории (автопилот); приемник СНС (GPS или ГЛОНАСС); гироскопический компас; лаг; эхолот; систему обобщенной сигнализации; регистратор данных о рейсе; автоматическая идентификационная система (АИС); система измерения параметров ветра и др.

Система организована в виде локальной вычислительной сети (ЛВС) и основными

ее функциями являются: освещение надводной и подводной обстановки; использование космических средств навигации; автоматизация вахтенной службы; гидрометеорологическое обеспечение; управление энергетическими установками и специальными и техническими средствами; автоматическое документирование информации; комплексное графическое представление первичных навигационных данных (координаты, курс, скорость, глубины и др.), вторичной информации и данных, получаемых от смежных систем и судов; генерация аварийно-предупредительных сигналов о навигационных опасностях.

Из перечисленных функций видно, что система предназначена для того, чтобы облегчить управление судном, автоматизировать рутинные операции судовождения и представить информацию в наиболее удобном виде оператору; в конечном итоге система призвана уменьшить влияние человеческого фактора на безопасность судовождения.

В значительной степени разработанными областями в судовождении являются автоматизация картографии, управления двигателями и рулями.

Анализ степени автоматизации функций измерения и функций управления показывает следующее:

- Магнитный компас, как правило, не подключен к системе автоматизированного управления и используется только в качестве резервного визуального устройства.

- Не используются возможности непрерывного контроля методом сравнения с третьим каналом двухканальной системы непрерывного счисления координат.

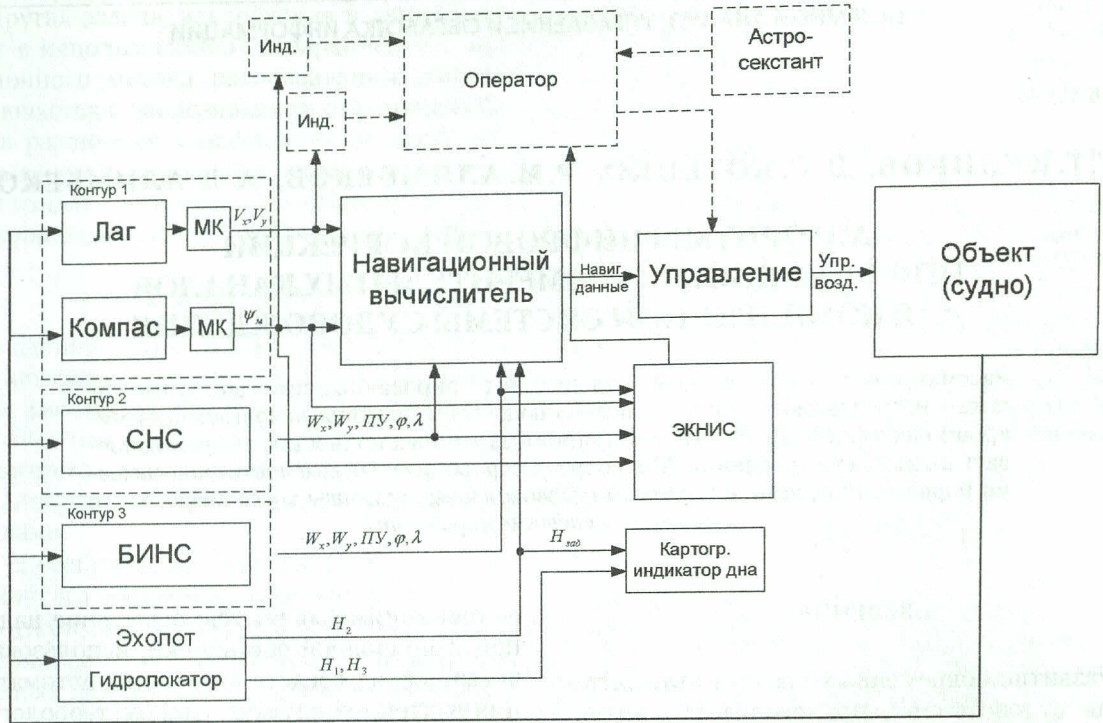


Рис. 1. Контурь счисления в системе управления судном

• Как правило, не решается задача оптимизации расхода топлива по прогнозным значениям погоды и течений.

Как известно, непрерывность счисления как необходимое условие автоматизации, можно обеспечить, используя инерциальную навигационную систему (ИНС). В то же время, дополнительно можно обеспечить непрерывность счисления возможно при помощи системы курсо-скоростного счисления, при доведении ее точности до величин, сравнимых с точностью ИНС.

Таким образом, для решения поставленных задач эффективным средством остается повышение точности базовой системы счисления пути, при помощи цифровой обработки навигационных данных с целью включения их в автоматизированный контур навигации для повышения качества и надежности управления.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КУРСО-СКОРОСТНОГО СЧИСЛЕНИЯ

Измеритель скорости судна на основе индукционного лага с цифровой обработкой. Рассмотрим задачу уменьшения погрешности индукционного лага, вызванной изменением проводимости воды. Как известно, проводимость воды определяется ее соленостью, ко-

торая меняется от 0,1 промилле в реках до 38 промилле в некоторых морях.



Рис. 2. Структурная схема измерения скорости

Для учета этой погрешности в лаг можно встроить контроллер по схеме, приведенной на рис. 2, который периодически будет выполнять (при помощи тех же контактов, с которых снимается сигнал скорости) измерение проводимости воды [3, 5]. Также можно проводить коррекцию коэффициента, который учитывает изменение проводимости. Вычисление скорости в этом случае будет производиться по уравнению

$$V = (U - U_0) \cdot C \cdot Nl \cdot \frac{1}{S},$$

где V — скорость судна в узлах, U — разность потенциалов на контактах датчика лага, U_0 — напряжение, соответствующее нулю

усилительной схемы, C — линейный коэффициент преобразования напряжения в скорость, Nl — нелинейный коэффициент, который вычисляется из функции, получаемой при тарировке лага на судне, S — коэффициент, учитывающий проводимость воды, который вычисляется следующим образом:

$$S = \frac{G}{G_0},$$

где G — текущее значение проводимости воды, G_0 — значение проводимости воды, которое было при операции тарировки.

На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма работы вычислителя индукционного лага.

Алгоритм реализован на микроконтроллере RISK-архитектуры ATmega32 с тактовой частотой 16 МГц. Частота измерений и выдача решений равна 10 Гц. Контроль проводимости воды проводится с частотой 0,1 Гц.

Испытания на судах ФПС РФ, на судах рыболовного флота в акватории Баренцева моря, показали, что интегральная ошибка в показаниях лага не превышает 0,18 на разных скоростях, что соответствует требованиям Российского Морского Регистра Судоходства и не изменяется при изменении проводимости забортной воды (при приближении к устью рек). Результаты пяти измерений показаны в табл. 1.

Таблица 1

№ замера	Показания лага	Реальная скорость	Погрешность
1	15,50	15,44	0,06
2	13,18	13,26	0,08
3	9,90	10,03	0,13
4	16,65	16,47	0,18
5	13,46	13,39	0,07

Измеритель курса судна на основе магнитного компаса с цифровой обработкой. Известны факторы, влияющие на точность измерений магнитного компаса [3, 5]. Это прежде всего полукруговая, четвертная, девиация и качка. Известен метод компенсации погрешности качки, в котором предлагается в феррозондовый датчик встроить акселерометр для измерения проекции гравитационного поля на вертикальную ось датчика и, таким образом, обеспечивать ввод информации о крене судна в вычислитель устройства дистанционной передачи курса (УДПК). К недостаткам этого метода следует отнести то, что встраивание акселерометра в датчик представляется

технически сложной задачей из-за ограниченности его объема.

Для обеспечения адаптивной фильтрации можно использовать информацию от судового кренометра. Это позволит получать информацию о мгновенном значении крена. При этом необходимость в установке дополнительных приборов или датчиков отсутствует.

Структурная схема измерения курса представлена на рис. 3.

Для компенсации указанной погрешности в устройство дистанционной передачи курса можно ввести микроконтроллер, который обеспечивает цифровую фильтрацию погрешности в канале магнитного курса по специальному алгоритму.

На рис. 5 приведена блок-схема алгоритма работы вычислителя УДПК магнитного компаса.

Алгоритм фильтрации должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение повышения точности измерений вследствие оценки и учета крена и дифферента;
- подавление высокочастотных составляющих помех измерительной схемы.

Этим требованиям отвечает нерекурсивный цифровой фильтр с настройкой коэффициентов по методу Уидроу-Хоффа.

В аналитическом виде нерекурсивный фильтр можно представить формулой:

$$y_k = \sum_{j=0}^{N-1} a_{j,k}^* \cdot x_{j-k},$$

а уравнения настройки коэффициентов этого фильтра будут выглядеть как:

$$a_{j,k}^* = a_{j,k-1}^* + 2 \cdot \mu \cdot e_k \cdot x_{j-k}, \quad e_k = d_k - y_k,$$

где e_k — сигнал ошибки между сигналом на опорном входе и его оценкой на выходе фильтра, k — номер итерации, N — длина импульсной характеристики или число коэффициентов фильтра, a_k — вектор длины N коэффициентов фильтра на k -й итерации, $\mu > 0$ — коэффициент адаптации, определяющий качество процесса фильтрации, и скорость сходимости итерационного процесса к этому решению.

Алгоритм реализован на микроконтроллере RISK-архитектуры ATmega32 с тактовой частотой 16 МГц. Частота измерений и выдача решений равна 10 Гц.

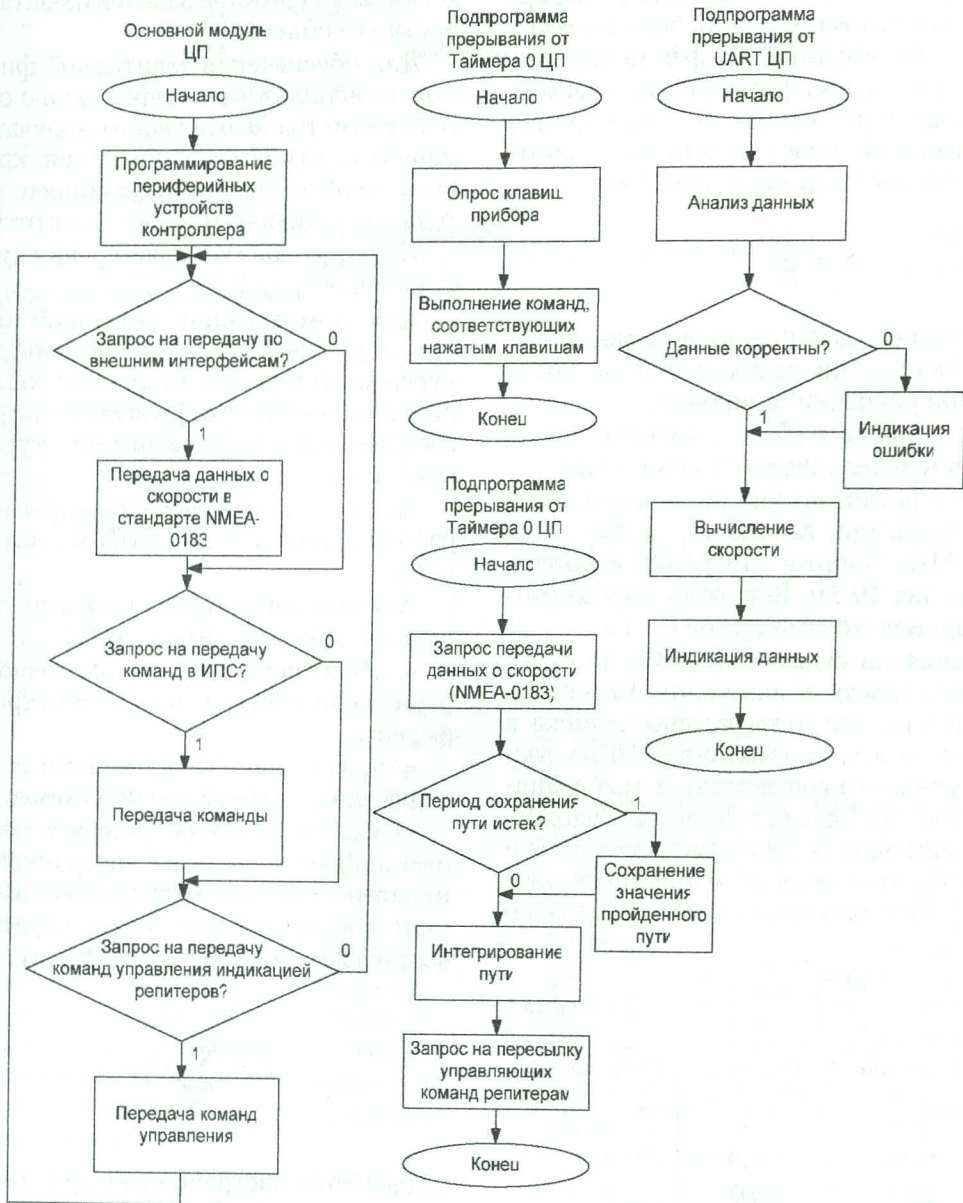


Рис. 3. Блок-схема основной части алгоритма работы вычислителя лага

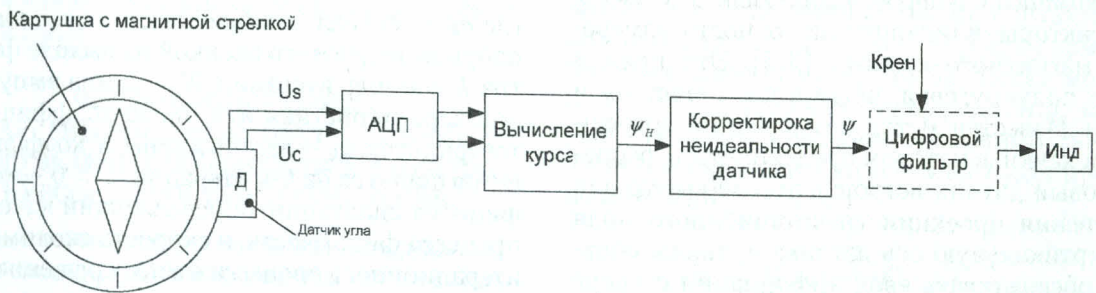


Рис. 4. Структурная схема измерения магнитного курса

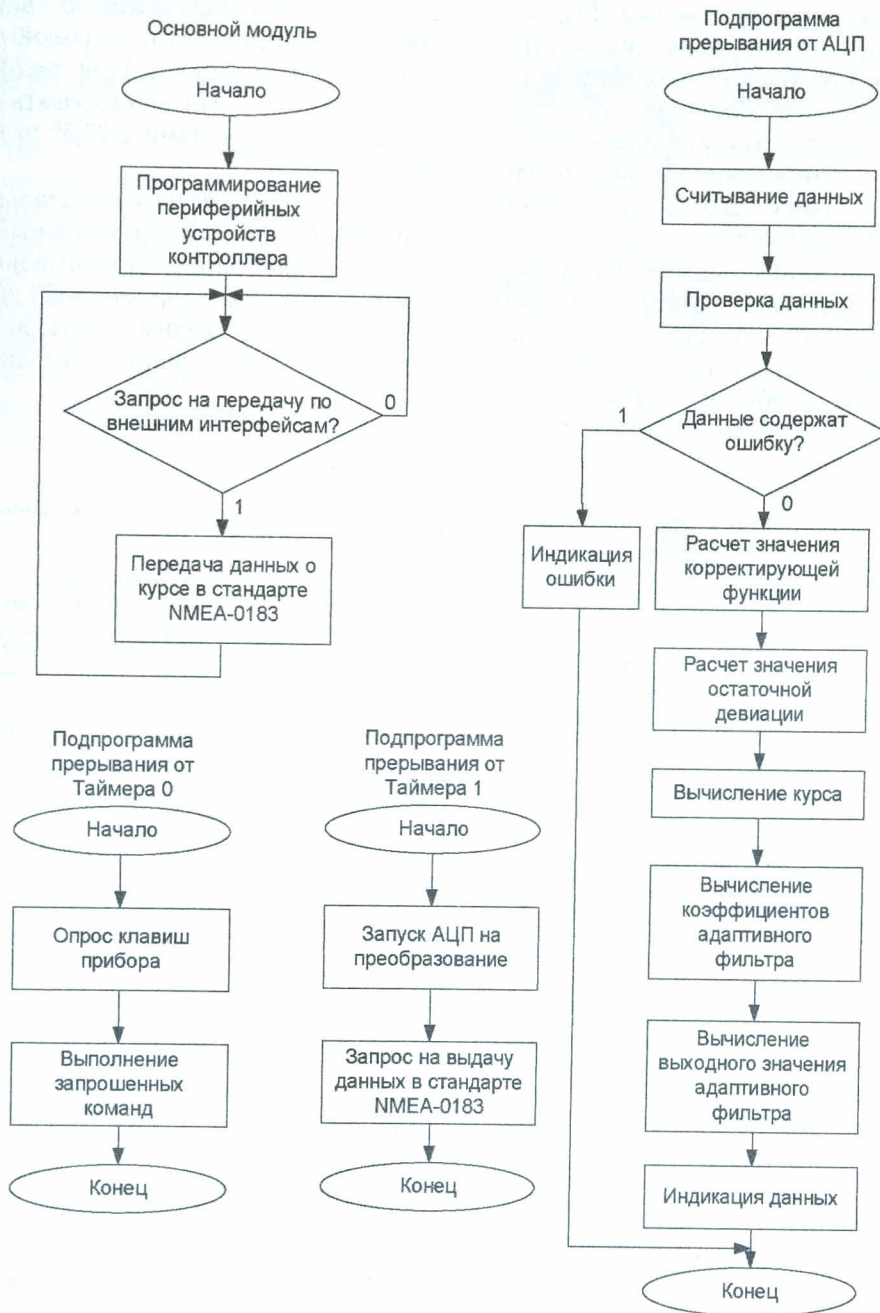


Рис. 5. Блок-схема основной части алгоритма работы вычислителя компаса

Испытания на судах ФПС РФ показали, что интегральная ошибка в показаниях не превышает $1,4^\circ$ при качке 9° и 1° при качке 3° , что соответствует требованиям Российского Морского Регистра Судоходства. На испытаниях в качестве эталонного использовался гиромангнитный курс. Результаты в виде графиков приведены на рис. 6, 7.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ СУДОВОЖДЕНИЯ

Наличие данных каналов позволяет сформулировать критерии, которым должна отвечать структура перспективной судовой навигационной системы: обеспечивать непрерывность счисления координат с высокой точностью при помощи базового оборудования в горизонтальной и продольной плоскости; обеспечивать возможность задания маршрута судовождения по частным ортодромиям с

учетом морских течений и ветров [4]; осуществлять оптимизацию движения в горизонтальной и в продольной плоскости с целью экономии топлива; обеспечить автоматизацию выхода и входа в бухту отхода и прибытия с помощью зондирования глубины эхолотом и гидролокатором с обходом препятствий в горизонтальной плоскости.

Вертикальный канал судовождения осуществляется при помощи эхолота, измеряющего глубину под килем и гидролокатора, например, бокового обзора, установленного также под килем так, чтобы ось вибратора бы-

ла направлена под углом 55° вниз от горизонтальной плоскости, широкой диаграммой прямо по курсу судна. При такой установке гидролокатор будет зондировать рельеф дна перед судном с углами $\pm 27,5^\circ$ от продольной оси судна.

Две координаты в горизонтальной плоскости, измерительный вертикальный канал с обходом препятствий в горизонтальной плоскости и продольный (временной) канал. Таким образом, мы приходим к четырехмерной системе навигации судна в пространстве.

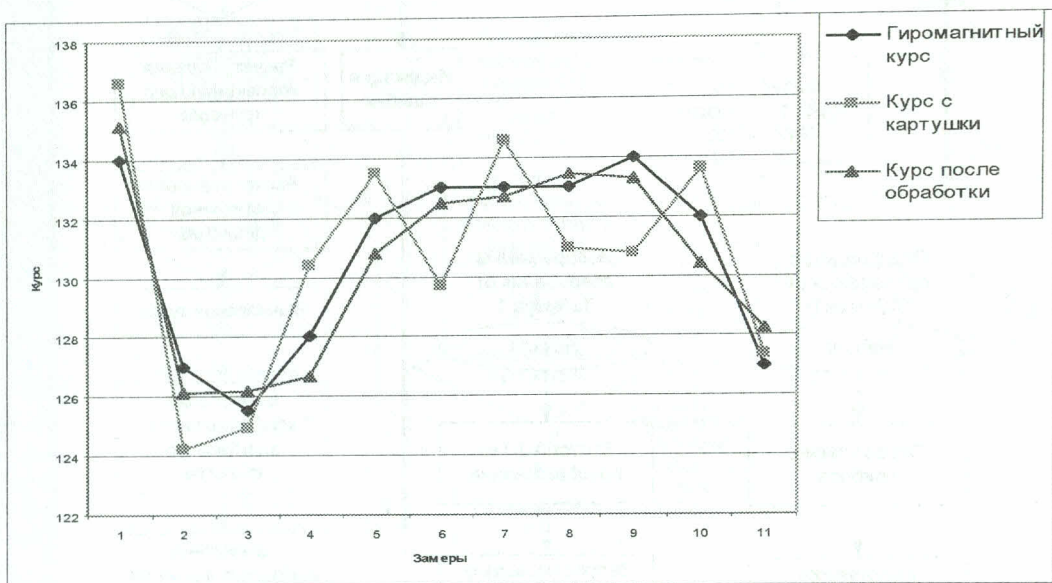


Рис. 6. Проверка функционирования компаса на прямых курсах, качка до 9°

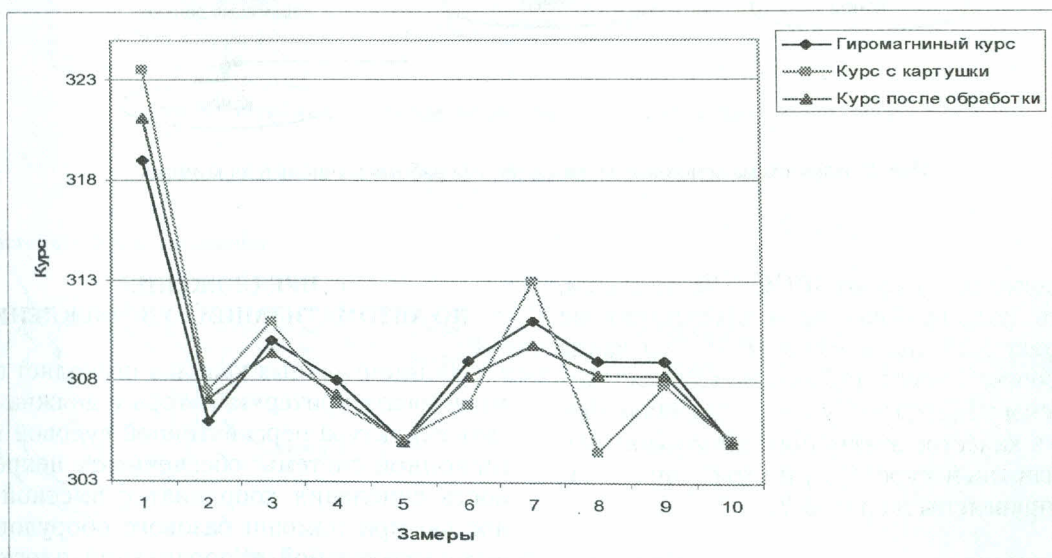


Рис. 7. Проверка функционирования компаса на прямых курсах, качка до 3°

ВЫВОДЫ

Предложенные технические решения позволяют:

- увеличить точность показаний канала курсоскоростного счисления;
- повысить надежность работы навигационной системы за счет резервирования контуров, основанных на привлечении данных о местоположении судна от разнородных по физическому принципу датчиков;
- производить оптимизацию режимов работы судового двигателя с целью экономии топлива при соблюдении графика движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ИМО.** International Maritime Organisation [Электронный ресурс]. (www.imo.org).
2. **Транзас.** Описание продукции ЗАО «Транзас» [Электронный ресурс]. (www.transas.com).
3. **Куликов, Г. Г.** Метод повышения точности и надежности измерительных систем / Г. Г. Куликов, Р. И. Алимбеков, П. С. Котенко, А. Л. Алимбеков // Полет. 2007. № 9. М.: Машиностроение, 2007.
4. **Kulikov, G.** Analysis of ship navigation improvements methods / G. Kulikov, P. Kotenko, A. Alimbekov // Робототехника, мехатроника и интеллектуальные системы : матер. междунар. конф. Таганрог: ТРТУ, 2005.
5. **Алимбеков, А. Л.** Анализ погрешности судовой системы навигационного счисления / А. Л. Алимбеков // Решетневские чтения : матер. X Междунар. науч. конф. Красноярск: СибГАУ, 2006.

ОБ АВТОРАХ



Куликов Геннадий Григорьевич, проф., зав. каф. АСУ. Дипл. инж. по автоматиз. машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по системн. анализу, автоматич. упр. и тепловым двигателям (УАИ, 1989). Иссл. в обл. АСУ и упр. силовыми установками ЛА.



Котенко Павел Степанович, доц. каф. выч. техн. и заш. информ. Дипл. инж. по авиац. приборостроению (ХАИ, 1968). Канд. техн. наук по гирос. приборам и навиг. комплексам (КПИ, 1990).



Алимбеков Роберт Ибрагимович, дир. НИИ техн. систем «Пилот». Дипл. инж.-электромех. (УГАТУ, 1971). Канд. техн. наук по элементам и устройствам систем управления (УГАТУ, 1977).



Алимбеков Азат Лиерович, асп. каф. АСУ. Дипл. инж.-сист. по выч. машинам, комплексам, системам и сетям (УГАТУ, 2003).