

◆ СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ◆

УДК 621.396.988.6:629.12
DOI 10.17285/0869-7035.0045

Б. Л. ШАРЫГИН

**МОРСКАЯ СИСТЕМА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ
И СТАБИЛИЗАЦИИ. ДВАДЦАТЬ ЛЕТ РАЗВИТИЯ**

Статья посвящена истории создания и развития единой морской системы инерциальной навигации и стабилизации «Ладога-М». Перечислены основные этапы ее испытаний и отработки. Приведена схема построения и рассмотрены принципиальные особенности: инерциальная навигационная система полуаналитического типа, вращение азимутальной платформы, двухстепенные поплавковые гироскопы, триада акселерометров, применение фильтра калмановского типа, использование ЭВМ семейства «Багет». Продемонстрированы характеристики надежности СИНС по результатам реальной эксплуатации.

Ключевые слова: навигация, стабилизация, поплавковый гироскоп, испытания, точность, корабль, подводная лодка, курс, параметры качки.

Введение

В истории АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» система инерциальной навигации и стабилизации (СИНС) «Ладога-М» играет заметную роль: за 20 лет изготовлено и поставлено более 200 изделий, в том числе и на экспорт. Создание системы «Ладога-М» началось в сложные 90-е годы. Гироскопическая техника широко использовалась на военных кораблях всех классов – от ракетных катеров и подводных лодок до авианосцев, но до 90-х годов XX века для этих кораблей в Советском Союзе разрабатывались две группы гироскопических систем:

- системы навигации, вырабатывающие навигационные данные (курс, координаты места, составляющие линейной скорости движения корабля);

Шарыгин Борис Леонидович. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, главный конструктор, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Петербург). Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

- системы стабилизации, вырабатывающие параметры качки (углы и угловые скорости качек и рыскания) и динамические составляющие линейной скорости и перемещения в обеспечение систем целеуказания и корабельного вооружения (радиолокационных, оптико-электронных и др.).

По мере повышения требований к точности и автономности выработки навигационных данных и появления на кораблях новых видов оружия создавались новые гироскопические системы и увеличивалось их число на корабле. В результате в 80-е годы на надводных кораблях (НК) устанавливалось до 4-5 видов гироскопических систем, изначально на НК – наиболее простые из них: гировертикали, гироазимуты, гиро-горизонткомпасы. Положение изменилось в 90-е годы, когда были созданы новые высокоэффективные ракетные комплексы для размещения на малых и средних НК. В большинстве случаев это оружие должно было использоваться в географической системе координат (например, при стрельбе по береговым целям или по данным внешних систем целеуказания). Ранее разработанные для этих классов кораблей гироскопические системы не удовлетворяли новым требованиям по точностным характеристикам. Была необходима инерциальная навигационная система (ИНС), которая обладает характеристиками, близкими к характеристикам систем, используемых на подводных лодках, но при этом ее масса и габариты, энергопотребление и стоимость должны быть сравнимы с соответствующими параметрами ранее использовавшихся гироскопических систем.

В 1993 году по инициативе директора института В.Г. Пешехонова начались работы по созданию СИНС на поплавковых гироскопах [1] под научно-техническим наблюдением заказчиков морских средств навигации и систем гироскопической стабилизации [2]. Нужно было создать единую систему навигации и стабилизации на основе платформенной ИНС, выбор которой диктовался десятилетним заданием по ОКР по созданию системы гироскопической стабилизации (СГС) пятого поколения.

Испытания и отработка СИНС

В 1995 году был изготовлен экспериментальный образец СИНС. После стендовой отработки образец разместили в автолаборатории, и уже в 1996 году начались его испытания на набережных Санкт-Петербурга. При этом финансирование ОКР по СГС пятого поколения практически прекратилось. Поддержала разработка инерциального геодезического комплекса «Томпак» (главный конструктор – Б.С. Ривкин), в состав которого входила СИНС [3]. Для создателей СИНС этап отработки этого комплекса был исключительно важным: исследовались шулеровские колебания и влияние вибраций основания, продолжался процесс доводки аппаратной части, программного и алгоритмического обеспечения системы. Неоднократно проводились испытания экспериментального образца комплекса «Томпак» на геодезическом полигоне в районе Кавголово. В 1997 году этот образец с экспериментальным образцом СИНС успешно прошел испытания в Германии.

В 1997 году была завершена ОКР «Пролог-1» – «Создание морской системы навигации и стабилизации на базе унифицированного гиromодуля и базовых вычислительных средств» [4]. Работа выполнялась в соответствии с Федеральной целевой программой «Российские верфи». Именно здесь были окончательно установлены основные характеристики надежности СИНС:

- среднее время наработки на отказ – 3000 ч;
- срок службы до заводского ремонта – 10 лет;
- ресурс до заводского ремонта – 50000 ч.

При выполнении ОКР были:

- уточнены структура системы и требования к составным частям;
- откорректированы алгоритмы пускового режима и вертикального канала;
- разработана активная система термостабилизации гироприбора;
- спроектирован малогабаритный источник эталонного тока (ИЭТ);
- определены вычислительные средства – ЭВМ «Багет-41» и прибор ПЦ на базе ЭВМ «Багет-21»;
- разработаны или выбраны модули цифрового прибора и прибора управления.

В 1998 году был проведен тепловой расчет гироприбора с разбиением внутреннего объема на 829 областей. При этом использовалась одна из компьютерных программ, созданных в России. Результаты расчета были подтверждены измерениями на экспериментальном образце. Это позволило уточнить размещение штатных датчиков температуры и провести комплекс работ по уменьшению румбовых погрешностей. В изделии было внедрено принудительное вращение азимутальной платформы (АП) относительно вертикальной оси за счет подачи на датчик момента (ДМ) азимутального гироскопа соответствующего сигнала управления. Впервые автокомпенсация дрейфа гироскопов за счет вращения азимутальной платформы внедрялась в ИНС «Уран» в начале 60-х годов (главный конструктор – О.В. Кищенко) [5]. Примечательно, что эта ИНС строилась на двухстепенных поплавковых гироскопах (ДПГ) с обработкой информации и управлением гироскопами на ЭВМ. В СИНС вращение АП обеспечило автокомпенсацию постоянных составляющих скорости ухода горизонтирующих гироскопов и повысило наблюдаемость ряда оцениваемых параметров. Период вращения был обоснован в [6] и составил пять часов с учетом энергетических возможностей ДМ поплавковых гироскопов. Азимутальную платформу «закрутили» еще в экспериментальном образце.

При подготовке СИНС к объектовым испытаниям установили первые азимутальные гироскопы Е32-148, изготовленные в 1994–1995 годах. Отработали процедуру запуска и калибровки изделия, причем как на неподвижном, так и на качающемся основании. В первой половине 1998 года закончились официальные стендовые испытания нового изделия. Швартовные и ходовые испытания системы провели на гидрографическом судне ГС-270 во второй половине 1998 года. Работе системы в автономном режиме (АР) предшествовала штатная калибровка у пирса и в корректируемом режиме (КР). В АР система отработала 71 час с проверкой точности определения координат места и составляющих инерциальной скорости. В роли эталона выступала информация приемника GPS. Погрешности определения координат за любые сутки АР не превысили 2 угл. мин по широте и 3 угл. мин по долготе.

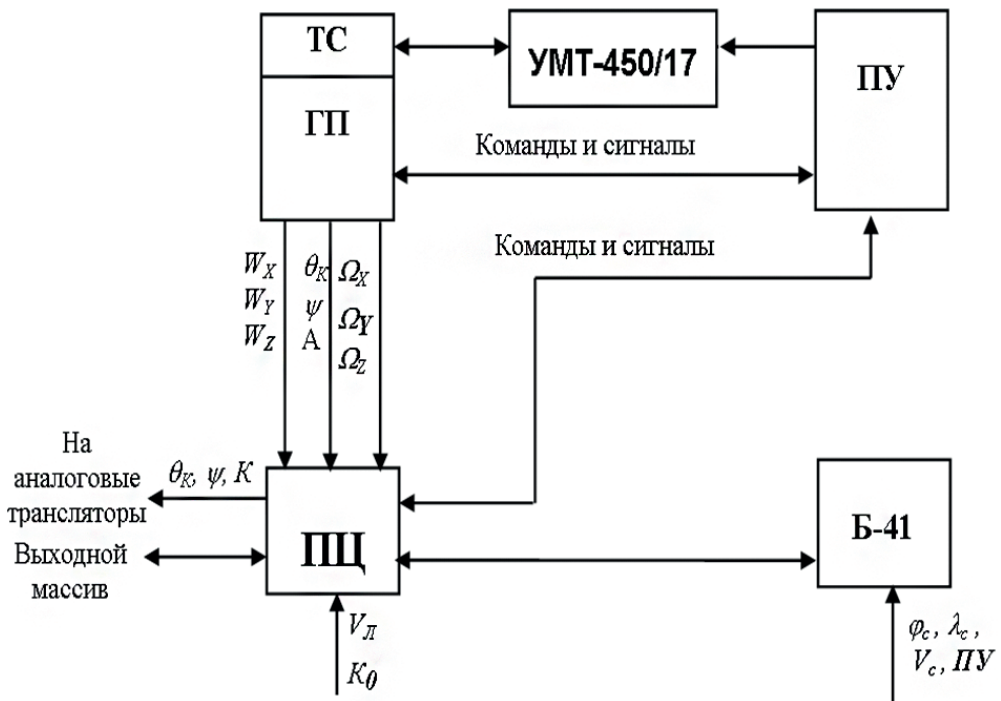
Зачетная работа системы в КР проверялась в процессе плавания в течение 25 часов и закончилась на стоянке после причаливания. По сравнению с АР контролировалась и погрешность выработки курса. С этой целью в военной гавани Ломоносова на причале был развернут гиротеодолитный пост. Во время стендовых и 170 часов зачетных объектовых испытаний неисправностей и отказов в изделии не обнаружено.

Схема построения СИНС

В 1999 году был заключен договор на первые поставки СИНС и завершена разработка документации на базовую СИНС «Ладога-М». Затем на ее основе создавалась документация на единый ряд унифицированных СИНС для кораблей всех классов. Все модификации СИНС имеют одинаковые точностные характеристики, но в зависимости от класса корабля обеспечивают различную продолжительность автономного (инерциального) режима работы.

Схема построения СИНС едина для всех модификаций (см. рисунок). Одинаков и приборный состав:

- центральный гироскопический прибор (ГП) с трехосным кардановым подвесом;
- прибор термостабилизации (ТС) с усилителем мощности термостабилизации (УМТ-450/17);
- прибор цифровой обработки данных (ПЦ);
- прибор отображения информации (Б-41);
- прибор управления (ПУ).



Структурная схема СИНС

В зависимости от типа корабля в СИНС устанавливаются гироскопы различных классов точности (определяют время работы в автономном режиме) и тот или иной прибор термостабилизации (воздушное или жидкостное охлаждение). Прибор электропитания в ядро СИНС не входит и меняется в зависимости от типа первичной корабельной сети (постоянный или переменный ток). Информационной основой системы

являются выходные сигналы акселерометров (W_x, W_y, W_z), гироскопов ($\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$) и списывающих устройств положения азимутальной платформы (Θ, Ψ, A).

Данные об относительной скорости, полученные с использованием лага, для демпфирования СИНС вводятся в прибор ПЦ. Туда же поступает информация о курсе корабля K_0 от гирокомпаса или от других источников курсоуказания, что позволяет сократить время калибровки. Географические координаты места для калибровки и позиционной коррекции (φ_c, λ_c) вводятся в систему через прибор отображения данных. Вся выработанная СИНС информация выдается потребителям через цифровые последовательные и параллельный интерфейсы. Для потребителей, пользующихся аналоговыми устройствами, организован выход углов качки и курса с электронных вращающихся трансформаторов.

В настоящее время к унифицированным СИНС относятся:

- СГС пятого поколения, предназначенная для НК ВМФ всех классов;
- СИНС «Ладога-М», предназначенная для размещения на НК, строящихся как в России, так и за рубежом;
- СИНС «Алеут-1», предназначенная для дизельных подводных лодок, строящихся в России как для нашего ВМФ, так и для иностранных ВМС;
- СИНС «Ладога-МЛ», предназначенная для подводных лодок, в которой предусмотрено воздушное охлаждение гироприбора.

СИНС построена по классической схеме ИНС полуаналитического типа с трехосным кардановым подвесом. На внутреннем кольце размещены чувствительные элементы – триада поплавковых акселерометров маятникового типа и три ДПГ, разработанные в ЦНИИ «Электроприбор», которые применяются в корабельных системах гироскопической стабилизации уже более 30 лет. При разработке ДПГ для морских применений широко использовался научно-технический и технологический опыт других предприятий нашей страны: это и внедрение газодинамической опоры, и использование прецизионных камневых опор. Поплавковые гироскопы обладают целым рядом преимуществ, основным из которых является их высокая надежность, подтвержденная длительным опытом эксплуатации на кораблях ВМФ в составе СГС. Это качество ДПГ и стало определяющим при выборе типа гироскопов для СИНС.

Первые ДПГ в ЦНИИ «Электроприбор» создавались для нового класса морских объектов ВМФ – кораблей с динамическими принципами поддержания. Были необходимы повышенные ударная и вибрационная стойкость и долговечность. Уже в 70-е годы был создан ДПГ, который имел случайную составляющую скорости ухода (СУ) на уровне $0,1^\circ/\text{ч}$ с ресурсом 10000 ч. В ходе создания СГС третьего поколения при творческом сотрудничестве главных конструкторов СГС и ДПГ И.М. Окона и Б.Е. Ландау был разработан ДПГ-04, затем ряд его модификаций [7]. Основу СГС составлял комплекс центральных приборов (КЦП), выполнявший функцию гироазимутгоризонта. В изделие входило от одного до пяти КЦП, которые устанавливались на корабле в различных комбинациях по назначению. Для СГС четвертого поколения «Сахалин» был разработан гироскоп ДПГ-05 с нестабильностью СУ $0,02^\circ/\text{ч}$ с увеличением ресурса в три раза за счет создания гиромотора с газодинамической опорой ротора.

Создание унифицированных СИНС стало возможным в результате решения комплекса научно-технических проблем с использованием последних достижений в ги-

роскопической и вычислительной технике, в системах управления и информационных технологиях. Основными проблемами были:

- обеспечение требуемой точности выработки навигационных параметров, в первую очередь координат места на требуемом интервале автономной работы;
- обеспечение высокой точности выработки динамических параметров, прежде всего углов качки;
- минимизация массогабаритных характеристик – общая площадь, занимаемая СИНС на малых кораблях и неатомных подводных лодках (НАПЛ), не превышает 2 м².

При создании СГС пятого поколения были разработаны, изготовлены и испытаны новые гироскопы: горизонтирующие ДПГ-06 и азимутальные Е32-148 (главные конструкторы – В.Н. Леонов, затем А.Н. Демидов). Тем не менее по точности (прежде всего по величине случайного ухода) ДПГ имели характеристики примерно в 4-5 раз ниже, чем требовалось для СИНС с длительным автономным режимом работы. Это обстоятельство является принципиальным, и именно оно отражает специфику использования и сложность создания морских ИНС. Триада акселерометров была внедрена в СИНС по предложению главного конструктора акселерометрических чувствительных элементов О.Л. Мумина и прекрасно себя зарекомендовала.

Проблема выработки навигационных параметров с требуемой точностью была решена главным образом за счет повышения точностных характеристик ДПГ в результате:

- создания конструкции электростатического бесконтактного подвеса поплавковой камеры азимутального гироскопа, состоящего из восьми электродов, напыленных на внутреннюю поверхность керамического цилиндра, и прецизионной электронной системы управления положением поплавковой камеры относительно электродов. Была решена сложная конструкторско-технологическая задача, но в результате точность гироскопов была повышена примерно в 2-3 раза за счет снижения уровня возмущающих моментов по оси прецессии;
- внедрения прецизионной двухконтурной системы термостабилизации. Точностные характеристики поплавковых гироскопов крайне чувствительны к колебаниям температуры внутри корпуса гироскопа, поэтому были реализованы два контура термостабилизации. Первый контур термостабилизации содержит охлаждающие циклостойкие элементы Пельтье, систему термодатчиков и цифровую систему управления, обеспечивающую контроль и управление распределением температуры во внутреннем объеме гироприбора и в районе установки гироскопов и акселерометров. Второй контур – это встроенная в каждый гироскоп и триаду акселерометров внутренняя система термостабилизации, состоящая из датчиков температуры, нагревательных элементов и системы управления.

Двухконтурная система термостабилизации обеспечила поддержание и контроль тепловых режимов гироскопов с точностью до сотых долей градуса при изменении наружной температуры от 15 до 35°C, что позволило снизить погрешность гироскопов в 1,5-2 раза. Кроме того, в СИНС:

- реализован режим принудительного вращения азимутального кольца. Это позволило не только решить проблему начальной выставки СИНС по курсу без использования внешних средств, но и существенно уменьшить влияние уходов горизонтирующих гироскопов на нарастание погрешностей по долготе, что особенно проявляется при плавании в низких широтах;

- в контур управления СИНС введен фильтр калмановского типа высокой размерности. Появилась возможность оптимальным образом использовать информацию, получаемую от позиционных и скоростных измерителей (спутниковые навигационные системы, лаг), для оценки и последующего учета систематических и медленно меняющихся составляющих уходов гироскопов. Вырабатываемые оценки параметров СИНС используются также для компенсации отдельных составляющих погрешности системы, таких, например, как румбовые погрешности, тренды гироскопов. Для решения этих задач было создано достаточно мощное алгоритмическое и программное обеспечение.

В результате внедрения всего этого комплекса конструкторско-технологических, схемотехнических решений и информационных технологий была достигнута требуемая погрешность выработки координат места при заданных интервалах автономной работы. Результаты морских испытаний СИНС, проведенные на НАПЛ при их сдаче и эксплуатации, подтвердили, что система обладает требуемой точностью выработки навигационных параметров.

Обеспечение минимальной погрешности выработки динамических параметров было не менее сложной проблемой. Достаточно сказать, что предназначенные в первую очередь для выработки углов качки СГС третьего и четвертого поколений имеют в 3-5 раз большую погрешность. Погрешность выработки углов качки зависит как от точности построения плоскости приборного горизонта системами пространственной стабилизации, так и от погрешностей устройств списывания – датчиков углов качки. Для СИНС разработана высокоточная безредукторная система стабилизации. Специально для решения задачи повышения точности выработки динамических параметров были созданы высокомоментные двигатели, реализованы конструкторские решения, позволившие снизить моменты трения в осях карданова подвеса до ~ 30-40 гсм при массе колец ~ 40 кг. Была решена проблема начального согласования безредукторной системы стабилизации, являющейся нелинейной из-за ограниченной мощности моментных двигателей, с больших (до 45°) углов путем изменения структуры системы в зависимости от угла рассогласования, а также разработан прецизионный многополюсный индукционный датчик угла с погрешностью не более 5 угл. с.

Неоднократные испытания, которым подвергается каждая поставляемая СИНС, на качающемся основании со следующими параметрами качки: бортовая – с амплитудой 20° и периодом 10 с, килевая – 8° и 9 с, рыскание – 6° и 10 с – показали, что погрешность выработки углов качки не превышает 15-20 угл. с.

Наконец, была решена проблема минимизации массогабаритных характеристик. Наибольшими размерами обладает центральный гироскопический прибор, содержащий трехколенный карданов подвес с установленными на внутреннем кольце чувствительными элементами. Кроме этого, в нем размещены: система термостабилизации со всеми ее элементами, радиаторами и блоками, электронные модули безредукторной системы пространственной стабилизации и целый ряд других элементов. Прибор является очень насыщенным, и разработка его конструкции стала возможной только при использовании современных систем автоматизированного проектирования, что позволило найти оптимальную конфигурацию, чтобы минимизировать габариты. Это потребовало принятия целого ряда новых оригинальных конструкторских решений, благодаря которым удалось не только вписаться в заданные габариты, но и обеспечить соответствие требованиям, предъявляемым к конструкции

прецизионных карданных гироскопических приборов. В итоге была создана конструкция гироскопического прибора, объем которого не превышает ~60 л, масса ~72 кг, а габариты ~Ø 430×600 мм. В результате размещение такого прибора на НАПЛ и ракетных катерах с водоизмещением 500 т не вызывает каких-либо трудностей.

Минимизация массогабаритных характеристик остальных приборов СИНС не вызвала особых сложностей и была достигнута за счет использования современной элементной базы высокой интеграции, в том числе импортной, и вычислительных средств из базового ряда ЭВМ «Багет».

С применением в СИНС современной вычислительной техники и введением в контур управления фильтра калмановского типа появилась возможность создания разветвленной автоматизированной системы контроля и диагностики, которая позволяет не только выявлять неисправности отдельных блоков и подсистем, но и контролировать правильность прохождения режимов, отбраковывать недостоверные входные данные и т.д. Вся информация по результатам работы этой системы с необходимыми комментариями выводится на монитор пультовой ЭВМ. Кроме того, формируется специальная страница диагностики с документированием неисправностей и отказов за время работы при каждом запуске СИНС. Система контроля и диагностики позволяет в режиме диалога анализировать (контролировать) процесс выработки выходных параметров, производить оценку качества работы СИНС и при необходимости дает возможность оператору вмешаться в ее функционирование, чтобы предупредить возможные нарушения.

Некоторые результаты проектирования, испытаний и эксплуатации СИНС приведены в публикациях [8–10].

Характеристики надежности СИНС

К СИНС изначально предъявлялись весьма высокие требования к надежности, в первую очередь к безотказности функционирования и ресурсу. Эти требования вытекали из соответствующих характеристик СГС пятого поколения и ИНС для навигационных комплексов НАПЛ. В итоге в ТУ на СИНС было указано: среднее время наработки на отказ – 3000 ч, назначенный ресурс до среднего ремонта – не менее 50000 ч. Что касается ремонтпригодности, то было задано среднее время нахождения и устранения неисправностей, которое не должно превышать 12 мин для негироскопического прибора и 0,5 ч – для гироскопического.

Естественно, основные требования к надежности были транслированы на определяющие элементы СИНС: ДПГ, триаду акселерометров ИУТ, электрические машины гироскопического прибора, электронные блоки и изделия основных контрагентов. Различные виды испытаний – предварительные, типовые, периодические, отбраковочные – проводились регулярно на основных элементах СИНС. Практически все отказы исследовались, принимались соответствующие меры. Для чувствительных элементов СИНС в гироскопическом производстве проводилось исследование каждого схода. Все это дало свои плоды. В 2002–2004 годах регистрировалось по 6–7 отказов в год на одну СИНС. Через 15 лет количество отказов на одну СИНС составило не более 0,17.

Своеобразный рекорд по безотказности установил модуль ИЭТ, изготавливаемый более 20 лет в гироскопическом производстве концерна. Этот модуль вырабатывает ШИМ-сигналы для прецизионного управления ДМ гироскопов, размещается в ком-

фортных условиях внутри гиросприбора и использует технологию заливки компаундом. За все время зарегистрировано всего 9 отказов на 220 изделиях. Предпоследний отказ был в 2012 году в модуле с наработкой 18000 ч. Последний отказ выявлен в 2016 году на этапе отработки очередной СИНС. В обоих случаях произошли отказы покупных комплектующих изделий.

В заключение хочу отметить основных участников создания, освоения и развития СИНС, кроме упомянутых выше главных конструкторов. В первую очередь это заместители главного конструктора: З.М. Берман, В.М. Канушин, В.П. Мохов и старший ответственный сдатчик М.Ф. Конев. Далее – идеолог и разработчик малогабаритного центрального прибора В.С. Безмен, создатели безредукторной системы стабилизации И.Е. Гутнер, Л.Д. Журавлев и О.К. Епифанов. Огромный вклад внесли разработчики программно-математического обеспечения И.Б. Вайсгант, В.А. Тупысев, В.И. Короленко и А.В. Короленко. Нельзя не отметить молодежь, которая пришла на предприятие в 90-е годы и внесла неоценимый вклад в становление и развитие СИНС: Г.В. Безмен, М.В. Бутенко, П.С. Глыбин, П.В. Игнатович, Р.В. Котов, Ю.А. Литвиненко, П.А. Чикин.

Заключение

Создание единой морской системы инерциальной навигации и стабилизации «Ладога-М» стало возможным благодаря развитию технологий производства двухступенных поплавковых гироскопов, что в итоге обеспечило требуемые точность и надежность системы в широком спектре условий эксплуатации. Огромную роль при этом сыграли вращение азимутальной платформы, применение фильтра калмановского типа, двухконтурная система термостабилизации, безредукторные следящие системы, использование ЭВМ семейства «Багет» и информационных технологий. В статье представлены основные этапы испытаний и отработки изделия, приведены характеристики надежности СИНС по результатам двадцатилетней эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешехонов В.Г. Унифицированные гироскопические средства для навигационных комплексов надводных кораблей // Гироскопия и навигация. 1994. № 3. С. 87.
2. Емельянец Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н. Современное состояние и пути совершенствования навигационного вооружения надводных кораблей // Гироскопия и навигация. 1994. № 3. С. 88–90.
3. Дмитриев С.П., Ривкин Б.С., Шепель С.В., Берман З.М., Шарыгин Б.Л. Платформенная ИНС в задачах геодезии: модели погрешностей, алгоритмы, первые результаты эксперимента // Гироскопия и навигация. 1996. № 4. С.33–40.
4. Создание морской системы навигации и стабилизации на базе унифицированного гироскопа и базовых вычислительных средств («Пролог-1»). Научно-технический отчет. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 1997. 279 с.
5. Жарков Б.Д., Фармаковский С.Ф. К истории инерциальных навигационных систем // Гироскопия и Навигация. 1998. №3. С. 123–131.
6. Вайсгант И.Б. Выбор скорости принудительного вращения платформы ИНС // Гироскопия и Навигация. 1999. №4.
7. Ландау Б.Е., Окон И.М. Чувствительность одноосного гиростабилизатора на ПИГ к угловой скорости вращения основания // Морское приборостроение. Серия II и III. Навигация и Гироскопия. 1973. №2. С. 53–57.

8. Пешехонов В.Г., Миронов Ю.В., Шарыгин Б.Л. Единая система инерциальной навигации и стабилизации «Ладoga-M» // Морская радиоэлектроника. 2003. №1(4).
 9. Алексеев С.П., Захаров И.Г., Пешехонов В.Г., Миронов Ю.В., Шарыгин Б.Л., Яценко С.В. Единая система навигации и стабилизации для кораблей ВМФ РФ и ВМС инозаказчика // Труды конференции «НО-2004». Т.1. СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004.
 10. Голяк В.И. Военно-техническое сотрудничество с Китайской Народной Республикой // Судостроение. 2016. № 5.
-

Sharygin, B.L. (Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, Russia)

Marine Inertial Navigation and Stabilization System. 20 Years of Development, *Giroskopiya i Navigatsiya*, 2020, vol. 28, no. 3 (110), pp. 122–131.

Abstract. The paper presents the history of creation and development of Ladoga-M marine inertial navigation and stabilization system (INSS). The major steps of testing and modifications are covered. The system architecture and key features are given: semianalytical inertial navigation system, rotation of azimuth platform, single degree of freedom floating gyros, accelerometer triad, application of Kalman type filter, use of Baget computer. INSS reliability parameters by the results of operation in real conditions are demonstrated.

Key words: navigation, stabilization, floating gyro, tests, accuracy, ship, submarine, heading, roll and pitch parameters

Материал поступил 08.08.2019