



Авиакосмическое приборостроение

3•2019
ISSN: 2073-0020



Aerospace Instrument-Making



Курсовая система ГМК–Стриж

Иллюстративный материал к статье О.В. Скудневой
«Курсовые системы летательных аппаратов»

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, СТАБИЛИЗАЦИИ, НАВИГАЦИИ, ОРИЕНТАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ

- Скуднева О.В.**
Курсовые системы летательных аппаратов ... 3
- Реутов В.Г.**
Угловая следящая система, расположенная
на колеблющейся платформе 15
- Шеломанов Д.А.**
Астрономические исследования
с использованием космических
платформ 20

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В АВТОМАТИЧЕСКИХ И РУЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОЛЕТОВ

- Попов Ю.В., Клочков Д.В.**
Искажения информации в бортовых
устройствах регистрации 27

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

- Шилин С.А.**
Повышение качества управляемости
беспилотного летательного аппарата
самолетного типа на основе
принципа приоритетности обработки
информационных потоков 55
- Правила публикации 61

Учредители и издатели журнала:
ООО Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ»
ООО «САТАГЕ»

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания и средств массовых
коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-9355
Подписной индекс ОАО «Роспечать» 81187
Подписной индекс «Пресса России» 44038
Главный редактор: д-р техн. наук, проф. **Т.Г. Самхарадзе**

РЕДАКЦИЯ: **Н.С. Щербаков** – д-р техн. наук, проф., зам. гл.
редактора, **А.А. Романов** – д-р техн. наук, **И.В. Красновский** –
канд. техн. наук, **Е.А. Боброва**, **В.Б. Гончарова**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бабиченко А.В. – д-р техн. наук, проф.
Галиев А.Л. – д-р техн. наук, проф.
Громов Ю.Ю. – д-р техн. наук, проф.
Джанджгава Г.И. – д-р техн. наук, проф.
Дядрих В.Е. – д-р техн. наук, проф.
Зольников В.К. – д-р техн. наук, проф.
Коновалов С.Ф. – д-р техн. наук, проф.
Михайлов Ю.Б. – д-р техн. наук
Мищенко С.В. – д-р техн. наук, проф.
Нартов Б.К. – канд. физ.-мат. наук, доцент
Небылов А.В. – д-р техн. наук, проф.
Орехов М.И. – д-р техн. наук, проф.
Охтилев М.Ю. – д-р техн. наук, проф.
Пешехонов В.Г. – д-р техн. наук, проф., акад. РАН
Пиришвили Ш.А. – д-р техн. наук, проф.
Реутов В.Г. – д-р техн. наук, проф.
Романов А.А. – д-р техн. наук
Рыбин В.М. – д-р техн. наук, проф.
Самхарадзе Т.Г. – д-р техн. наук, проф.
Скрыль С.В. – д-р техн. наук, проф.
Сыров А.С. – д-р техн. наук, проф.
Хачумов В.М. – д-р техн. наук, проф.
Щербаков Н.С. – д-р техн. наук, проф.

*Опубликованные статьи реферированы в реферативных
журналах ВИНИТИ РАН.*

*Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
Публикация статей бесплатная. Правом внеочередной
публикации пользуются аспиранты и докторанты*

Материалы, опубликованные в настоящем журнале, не могут быть
полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распро-
странены без письменного разрешения редакции.

При перепечатке отдельных частей статей ссылка обязательна.

Подписано в печать 12.03.2019 г.

Формат 66×88 1/8, бумага офсетная.

Печать офсетная.

Усл.-печ. л. 9. Уч.-изд. л. 10.8. Заказ № 1099.

Тираж 1 200 экз.

Адрес редакции:

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, корп. 2.

Тел.: 8 (499) 168-21-28, 8 (499) 168-04-95, 8 (916) 008-20-70

Факс: 8 (499) 168-23-58. Бухгалтерия: 8 (499) 168-24-28.

E-mail: aviakosmos@mail.ru,

<http://www.tgizd.ru/aviakos.html>

Оригинал-макет, электронная версия подготовлены

ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Отпечатано в ООО Издательство «Научтехлитиздат»

107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2.

CONTENTS

CONTROL, STABILIZING, NAVIGATION, ORIENTATION AND AIMING SYSTEMS

Skudneva O.B.

Exchange rate system of the aircraft 3

Reutov V.G.

Angular tracking system located
on an oscillating platform 15

Shelomanov D.A.

Astronomical research using space-based
platforms 20

SECURITY IN AUTOMATIC AND MANUAL MODES FLIGHT

Popov Yu.V., Klochkov D.V.

Distortions of the information in onboard
devices of registration 27

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TASKS OF MANAGEMENT, CONTROL AND DIAGNOSTICS

Shilin S.A.

Improving the quality of controllability
of an aircraft-type unmanned
aerial vehicle based on the principle
of prioritizing the processing
of information flows 55

Rules of Reviewing

and Publication of Papers 61

Founder and Publisher:

**Ltd. the Publishing House «Nauchtehlitizdat»
LLC «SATAGE»**

The journal is registered with the Ministry of Press, Tele-
vision, Radio and Mass Communication of the Russian
Federation

Certificate of print media registration № 77-9355

Subscription numbers the public corporation

«Rospechat» 81187

Subscription numbers «Pressa Rossii» 44038

Editor-in-chief, Doctor of Technical Science, Professor
T.G. SAMKHARADZE

Editorial staff: **Scherbakov N.S.** – Doctor of Technical
Sciences, Professor, **Romanov A.A.** – Doctor of Tech-
nical Sciences, **Krasnovsky I.V.** – Cand. of Technical
Sciences, **Bobrova E.A.**, **Goncharova V.B.**

EDITORIAL BOARD:

Babichenko A.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Galiev A.L. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Gromov Yu.Yu. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Dzhandzhgava G.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Didrikh V.E. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Zolnikov V.K. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Konovalov S.F. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Mihaylov Yu.B. – Doctor of Technical Sciences

Mishchenko S.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Nartov B.K. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Nebylov A.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Orehov M.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Okhtilev M.Iu. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Peshehonov V.G. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Acade-
mician of the RAS

Piralishvili Sh.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Reutov V.G. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Romanov A.A. – Doctor of Technical Sciences

Rybin V.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Skryl S.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Syrov A.S. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Khachumov V.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Shcherbakov N.S. – Doctor of Technical Sciences, Professor

Sent to the press 12.03.19.

Format: 60×88 1/8. Text magazine paper. Offset printing
14,3 conventional printer's sheets, 32,1 conventional ink mileages
19,2 conventional publisher's signatures. The order № 1099.

Circulation: 2 700 copies.

✉ Editorial office address:

107258, Moscow, Alymov pereulok, 17, bldg 2

☎ Phone: (916) 008-20-70; (499) 168-04-95,

Fax: (499) 168-23-58.

The accounting department (499) 168-13-69.

✉ E-mail aviakosmos_@mail.ru

<http://www.tgizd.ru>

The layout and the electronic version of the journal are made by Ltd.
the Publishing House «Nauchtehlitizdat»

Printed in Ltd. the Publishing House «Nauchtehlitizdat»
107258, Moscow, Alymov pereulok, 17, bldg. 2.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, СТАБИЛИЗАЦИИ, НАВИГАЦИИ, ОРИЕНТАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ

КУРСОВЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О.В. Скуднева, старший преподаватель
E-mail: chykchyk@yandex.ru
НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация

В статье показано назначение курсовых систем, являющихся основой автономной навигации пассажирской и транспортной авиации, а также беспилотных летательных аппаратов. Курсовые системы с датчиками авиагоризонта определяют пространственную ориентацию летательного аппарата (ЛА) и входят вместе с датчиками скорости, высоты полета и аппаратурой радиосвязи в состав обязательного оборудования, которое должно функционировать на борту ЛА от взлета до посадки с обеспечением требований по безопасности. Выдаваемые курсовой системой параметры – гиромагнитный, гирополукомпасный и истинный курс – обеспечивают навигацию ЛА. Дана краткая характеристика магнитного поля Земли, рассмотрено формирование гиромагнитного курса на основе измерения двух горизонтальных составляющих магнитного поля Земли и взаимодействия с высокоточным гироскопом направления в любых условиях полета. Приведены структурная и функциональная схемы современной курсовой системы – «Гиромагнитный компас ГМК-Стриж». Рассмотрена работа канала магнитного курса, канала формирования магнитной коррекции с устройствами магнитной и горизонтальной коррекции, и канала формирования гирополукомпасного курса, используемого в данной курсовой системе. Приведены основные технические характеристики курсовой системы ГМК-Стриж. Материалы статьи предназначены для разработки методического пособия по ознакомлению студентов с работой реальных курсовых систем, а также могут быть полезны для разработчиков и специалистов по эксплуатации навигационно-пилотажного оборудования летательных аппаратов.

Ключевые слова и их сокращенное наименование: летательный аппарат – ЛА; магнитное поле Земли – МПЗ; курсовая система – КС; гиромагнитный курс – ГМК; гирополукомпасный курс – ГПК; истинный курс – ИК; магнитное склонение – М; задатчик магнитного склонения – ЗМС; пульт широтной коррекции – ПШК; беспилотный летательный аппарат – БПЛА.

EXCHANGE RATE SYSTEM OF THE AIRCRAFT

O.V. Skudneva, Senior teacher
E-mail: chykchyk@yandex.ru
Bauman Moscow State Technical University
Moscow, Russian Federation

The article shows the assignment of exchange rate systems, which are the basis of Autonomous navigation of passenger and transport aircraft, and unmanned aerial vehicles. Exchange rate system with the sensors of the attitude indicator to determine the spatial orientation of the aircraft (LA) and are along with sensors such as speed, altitude, and a radio communication network a part of obligatory equipment which must operate in the aircraft from takeoff to landing, ensuring safety requirements. Issued exchange rate system options – gyromagnetic, gyrofrequency and true heading – provide navigation LA. Brief characteristics of the Earth's magnetic field, considered the formation of the gyromagnetic rate based on the measurement of the two horizontal components of Earth's magnetic field and interaction with high-precision gyro direction in all flight conditions. Given the structural and functional scheme of the modern exchange rate system «Gyromagnetic compass GMK swift». The work channel of the magnetic heading channel of formation of the magnetic correction devices magnetic and horizontal KORREKCII, and channel formation pyropolymer rate used in this course system. The technical data course system GMK swift. The article is intended for the development of manuals for training of students with the work of the real exchange rate systems and can also be useful to developers and maintainers of navigation and flight equipment of the aircraft.

Keywords and their abbreviated name: the Earth's magnetic field – EMF; the exchange rate system – KS; gyromagnetic course – MMC; gyrofrequency course – code of civil procedure; the true rate – IR; magnetic declination –MS; magnetic declination Adjuster – ZMS; a remote pulse width of the correction – PSIIK; unmanned aerial vehicle – UAV.

DOI: 10.25791/aviakosmos.03.2019.537

Введение

Гражданская пассажирская и транспортная отечественная авиация эксплуатирует широкий класс летательных аппаратов (ЛА) – от самолетов, совершающих трансатлантические рейсы, до самолетов и вертолетов, решающих различные производственные и хозяйственные задачи. В зависимости от назначения ЛА и условий его эксплуатации на борту устанавливается различное оборудование. Обязательными системами, входящими в состав пилотажно-навигационного оборудования (ПНО), является аппаратура, определяющая пространственную ориентацию ЛА – измеряющая параметры углового положения – углы курса, крена и тангажа, а также аппаратура, определяющая скорость и высоту полета ЛА и аппаратура радиосвязи. Все входящие в состав ПНО системы должны функционировать на борту ЛА от его взлета до посадки. В соответствии с нормативными требованиями для обеспечения безопасности полетов на борту ЛА должна устанавливаться высоконадежная, резервированная аппаратура,

измеряющая параметры во всех условиях эксплуатации, в том числе при отказе основной системы электропитания ЛА. Снижение погодного минимума, повышение экономичности и уровня автоматизации летательных аппаратов при обеспечении безопасности полетов предъявляют соответствующие требования к бортовой аппаратуре, что приводит к созданию новых разработок. При этом вновь создаваемая аппаратура будет отличаться принципами действия, структурой, более высокоточной и миниатюрной элементной базой, режимами работы, широким применением вычислительной техники, наличием средств коррекции от спутниковых навигационных систем (СНС) или других радиосредств, а также особенностями эксплуатации. Это требует от специалистов, занимающихся разработкой данной аппаратуры, постоянного совершенствования знаний по отдельным входящим комплектующим системам и по всему комплексу ПНО ЛА. Указанные выше требования в полной мере распространяются и на летательные аппараты военного

назначения, и на беспилотные летательные аппараты (БПЛА), получившие в настоящее время широкое применение. В статье рассмотрены особенности структурного и функционального построения и технические характеристики современной отечественной курсовой системы, предназначенной для пилотируемой и беспилотной транспортной авиации. Показано влияние магнитного поля Земли на работу курсовой системы по каналу магнитного курса на основе использования индукционного датчика.

Курсовые системы, назначение, параметры навигации

В настоящее время на многих самолетах, вертолетах и других летательных аппаратах используются курсовые системы (КС), которые предназначены для автономного определения курса с целью решения задач навигации и пилотирования.

Курсовые системы обеспечивают начальную выставку стояночного курса ЛА от магнитного датчика, формируют истинный курс помощью задатчика магнитного склонения – ЗМС, принимают широтную поправку от пульта широтной коррекции – ПШК. В полете курсовые системы формируют гиромагнитный и гирополукомпасный курс. Гиромагнитный курс – ГМК – формируется путем коррекции гироскопа направления гироагрегата по каналу магнитного курса – КМК от индукционного датчика – ИД. Такой режим работы курсовой системы носит название режима магнитной коррекции. В режиме гирополукомпасного курса (ГПК) магнитная коррекция от КМК отключена, а его работа обеспечивается стабильностью работы гироскопа направления гироагрегата с учетом широтной поправки. Выдаваемое значение курса от КС приводится к условному значению курса – магнитному, истинному или какому-то другому значению курса. Такой режим ГПК носит название режима приведенного курса [1, 2].

Высокая точность определения курса ЛА достигается за счет совместной работы канала магнитного курса и канала стабилизации по курсовой и горизонтальной осям гироскопа направления, являющегося хранителем курса ЛА [3...5].

Необходимым условием для обеспечения навигации является определение в точке старта с высокой точностью начального стояночного курса и текущих значений курса ЛА в полете. Это позволяет выполнять полет по расчетной траектории с учетом фактора сноса ЛА. Ниже приводится наименование и назначение параметров, используемых для навигации ЛА от курсовых систем.

Курс – это угол, отсчитываемый по часовой стрелке в горизонтальной плоскости от направления на север до продольной оси летательного аппарата, измеряется в диапазоне от 0 до 360 градусов.

Навигация – это вождение летательного аппарата от одного (начального) пункта маршрута (НПМ) до другого (конечного) пункта маршрута (КПМ).

Пилотирование – это выдерживание углового положения летательного аппарата в полете для выполнения задачи навигации.

Важным условием для выполнения навигации летательного аппарата является определение и выдерживание в полете заданного курса от начального до конечного пункта маршрута. История навигации знает много случаев нежелательных последствий и катастроф, связанных с ошибками определения и выдерживания курса в полете.

Основным датчиком определения курса курсовых систем является индукционный датчик, предназначенный для измерения двух горизонтальных проекций вектора магнитного поля Земли. Курс, измеренный индукционным датчиком, является магнитным курсом летательного аппарата.

Магнитный курс в быту определяется обычным магнитным компасом. Но на летательном аппарате для измерения магнитного курса (МК) используется индукционный датчик (ИД), конструкция которого позволяет измерять магнитный курс в условиях внешних воздействий, действующих на летательном аппарате (вибрация, перегрузки, температура, электро-магнитное влияние и др.). Электрический сигнал с датчика магнитного курса передается в канал магнитного курса, где он сглаживается при суммировании с гироскопическим курсом и выдается на выход

потребителям курсовой системы – как гиромагнитный курс.

Вращение Земли происходит вокруг оси, которая имеет направление север-юг (N–S). Направление вектора линейной скорости вращения – на восток.

Северная и южная точки оси вращения Земли называются истинными (географическими) полюсами Земли – $N_{и}$, $S_{и}$. Магнитные полюса – $N_{м}$, $S_{м}$ смещены на Земле относительно истинных полюсов $N_{и}$, $S_{и}$ на величину магнитного склонения – M .

Гиромагнитный курс, выдаваемый курсовой системой с учетом магнитного склонения M , называется истинным курсом – ИК.

На географических картах проведены линии – меридианы, направленные с севера на юг и параллели, направленные параллельно экватору (перпендикулярному оси вращения Земли). Координаты летательного аппарата на картах, определяющие местоположение ЛА, указываются в градусах как долгота (0 ± 180 град.) и широта (0 ± 90 град.).

Для удобства навигации по географическим картам, в курсовых системах к сигналу магнитного или гиромагнитного курса с помощью

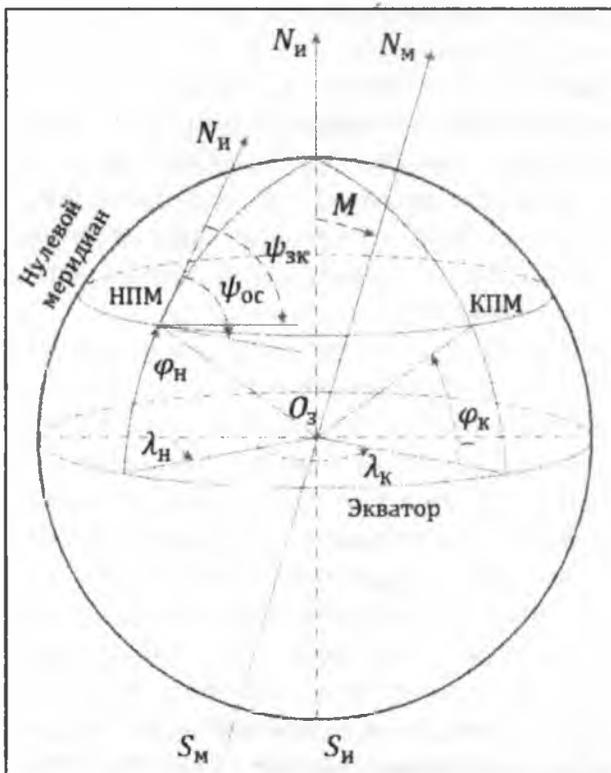


Рис. 1. Параметры летательного аппарата, используемые для навигации на Земной сфере

пульта – задатчика магнитного склонения (ЗМС) вводят величину магнитного склонения M , в результате на выходе курсовой системы потребителям выдается истинный курс летательного аппарата. Величина магнитного склонения в районе Москвы составляет 9 градусов, в связи с чем истинный курс будет равен $ИК = МК + M = МК + 9^\circ$.

Для повышения точности определения гирополукомпасного курса в курсовой используется сигнал от пульта широтной коррекции ПШК.

На рисунках 1, 2 приведены параметры ЛА, используемые для навигации на Земной сфере (рис. 1) и в точке старта (рис. 2) и даны их сокращенные обозначения: $\psi_{МК}$ – магнитный курс; $\psi_{ГМК}$ – гиромагнитный курс; $\psi_{ИК}$ – истинный курс; $\psi_{ЗК}$ – заданный курс; $\varphi_{н}$, $\lambda_{н}$ – широта и долгота НПМ – начального пункта маршрута; $\varphi_{к}$, $\lambda_{к}$ – широта и долгота КПМ – конечного пункта маршрута; $\psi_{ОС} = \psi_{ИК}$ – начальный стояночный курс; $M(\psi_{М})$ – магнитное склонение. НПМ–КПМ – участок маршрута по линии кратчайшего расстояния (ортодромия).

Общая характеристика магнитного поля Земли

Земля представляет собой громадных размеров магнит. Условно принято считать, что северный магнитный полюс Земли находится вблизи

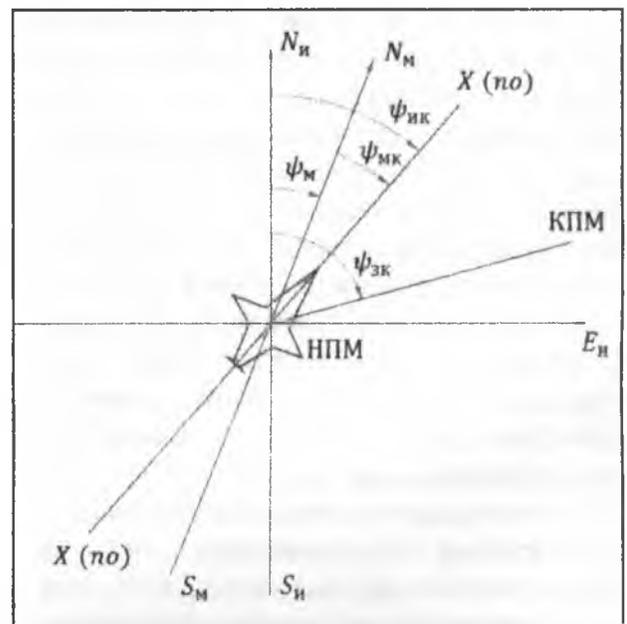


Рис. 2. Параметры летательного аппарата, используемые для навигации в точке старта. (XX – продольная ось ЛА)

северного географического полюса [2]. Магнитное поле такого магнита называют Магнитным Полем Земли (МПЗ). В каждой точке МПЗ действует напряженность, которая характеризуется вектором напряженности МПЗ (рис. 3).

Вектор напряженности T лежит в плоскости магнитного меридиана, в котором действуют магнитные силовые линии МПЗ и, естественно, имеет направленность в сторону магнитных полюсов Земли. Этим свойством жесткой направленности магнитных силовых линий на полюса Север-Юг (N_m-S_m), находящимся в плоскости магнитного меридиана и пользуются для определения курса летательного аппарата.

Вектор T определяется тремя ортогональными составляющими: X, Y, Z Земной системы координат $Oxyz$, ориентированной по сторонам света: ось Ox лежит на пересечении плоскости горизонта и плоскости географического меридиана и направлена к северу. Ось Oy горизонтальна, направлена к востоку. Ось Oz вертикальна, направлена вниз. Оси $Oxyz$ образуют правую прямоугольную систему координат. H – проекция вектора T на горизонтальную плоскость.

Угол $J = \arctg \frac{H}{Z}$ называют углом магнитного наклона. Этот угол определяет наклон вектора T к плоскости горизонта.

Угол $M = \arctg \frac{X}{Y}$ называют углом магнитного склонения, используемым в навигации ЛА. Знать угол M необходимо при переходе от магнитного

курса МК к истинному ИК, отсчитываемому от географического меридиана, поскольку (рис. 2): $ИК = МК + M$ или $\psi_{ИК} = \psi_{МК} + \psi_M$.

Три составляющие вектора напряженности МПЗ, а также углы магнитного наклона и склонения являются элементами МПЗ. Они полностью и однозначно характеризуют МПЗ в данной точке пространства и в данный момент времени. Следует отметить, что МПЗ неоднородно в пространстве и не совсем стабильно во времени. Магнитная ось МПЗ не совпадает с осью вращения Земли, но близка к ней. Угол между ними составляет около 11,5 градусов. Знание величины магнитного склонения и наличие высокоточного гироскопа направления, используемого в курсовой системе, обеспечивает высокую точность навигации при длительных полетах на значительные расстояния, в том числе и в полярных широтах.

Гиромагнитный компас ГМК-Стриж – описание и работа

Гиромагнитный компас ГМК-Стриж предназначен для автономного определения, формирования и выдачи потребителям гиромагнитного курса $\psi_{гmk}$. Гиромагнитный компас ГМК-Стриж выдает потребителям гирополукомпасный курс $\psi_{гmk}$ при наличии на борту ПШК и текущий истинный курс $\psi_{ик}$ при наличии ЗМС. В состав гиромагнитного компаса ГМК-Стриж входят: блок гиромагнитного курса БГМК-7, индукционный датчик ИД-7. В комплект поставки

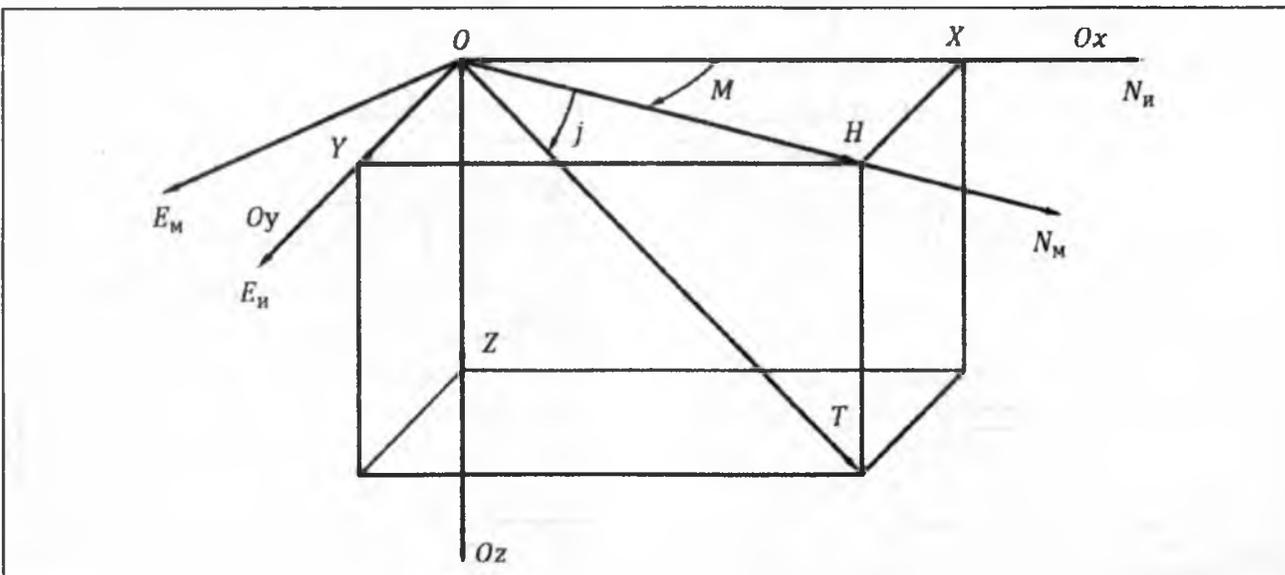


Рис. 3. Элементы магнитного поля Земли

может входить пульт широтной коррекции – ПШК, задатчик магнитного склонения ЗМС и рама монтажная РМ. Гиромагнитный компас ГМК-Стриж представляет собой устройство, формирующее сигналы гирополукомпасного, гиромагнитного и истинного курса. В системе используется принцип совместной работы гироскопа направления с магнитным датчиком курса (корректором) [6].

Принцип действия системы основан на свойстве свободного гироскопа, установленного в БГМК-7, сохранять положение оси собственного вращения неизменным относительно мирового пространства. В гироскопе, предназначенном для определения отклонения от выбранного направления, ось вращения ротора (главная ось) должна быть расположена горизонтально. Канал магнитного курса КМК, состоящий из индукционного датчика ИД и магнитного корректора МК-7, определяет курс объекта относительно магнитного меридиана и выдает его для коррекции сигнала курса, снимаемого с гироскопа. Структурная схема ГМК-Стриж приведена на рисунке 4.

Гироскоп блока БГМК-7 определяет гироскопический курс объекта ψ_r .

С КМК сигнал магнитного курса ψ_{mk} поступает на БГМК-7 для коррекции гироскопического курса. При этом гироскопический курс,

выдаваемый гироскопом, суммируется с поправкой по сигналу широтной коррекции, вводимой вручную с ПШК, получается гирополукомпасный курс $\psi_{гпк}$. Гиромагнитный курс $\psi_{гmk}$ формируется в БГМК-7 по сигналу $\psi_{гпк}$ и сигналу ψ_{mk} , поступающему с КМК.

ГМК-Стриж постоянно выдает значения гиромагнитного курса. Осреднение гиромагнитного курса по сигналам КМК в полете осуществляется непрерывно. КМК определяет курс объекта относительно магнитного меридиана и выдает его для коррекции сигналов курса, снимаемых с гироскопа. Гиромагнитный курс $\psi_{гmk}$ выдается с БГМК-7 потребителям курса. При разворотах объекта отключение магнитной коррекции гироскопического курса происходит автоматически по сигналам крена от авиагоризонта АГ. В этом случае с блока БГМК-7 выдается гирополукомпасный курс $\psi_{гпк}$. При полетах в высоких широтах (выше 70°) магнитная коррекция не используется. Для получения с блока БГМК-7 гирополукомпасного курса необходимо переключатель объекта ГМК-ГПК поставить в положение ГПК. При вводе магнитного склонения на ЗМС гиромагнитный курс будет откорректирован относительно истинного меридиана, при этом потребителям выдается истинный курс ψ_{mk} .

Для контроля нормальной работы ГМК-Стриж на объекте установлена кнопка

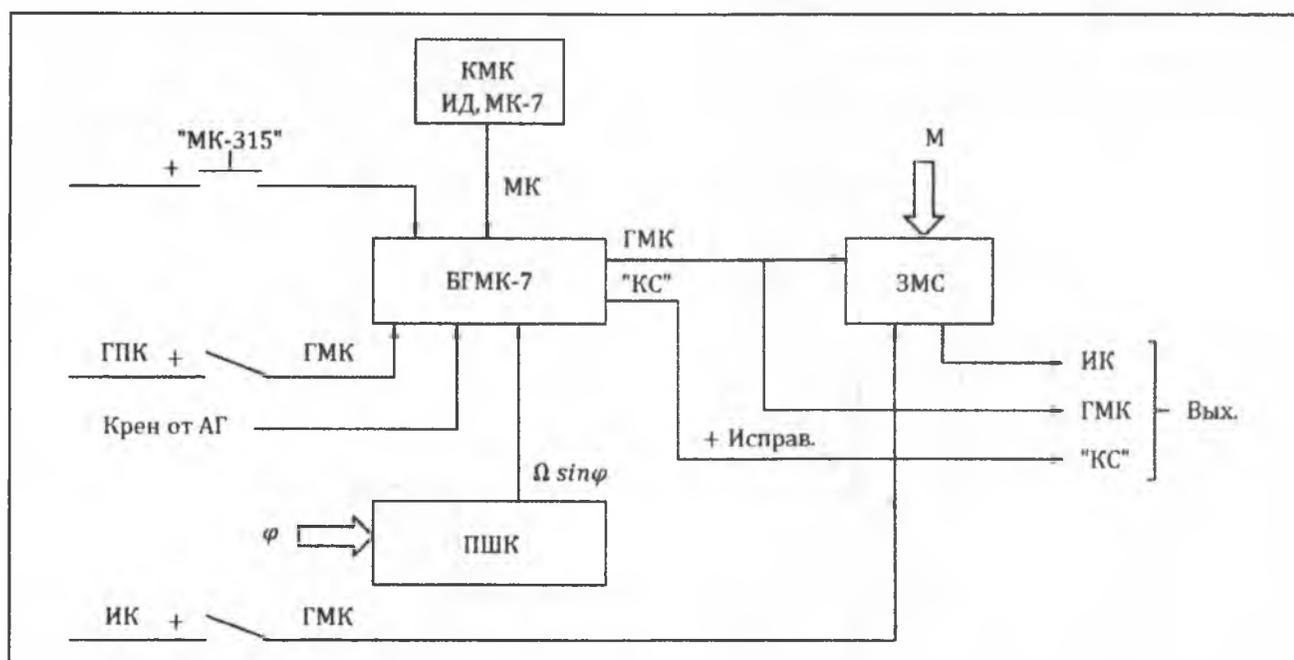


Рис. 4. Структурная схема ГМК – Стриж с ПШК и ЗМС

«МК-315», при нажатии которой потребителям выдается курс 315° .

При нормальной работе ГМК-Стриж с блока БГМК-7 выдается потребителям курса сигнал «Исправность».

Контроль и обслуживание. В ГМК-Стриж предусмотрены устройства, обеспечивающие его контроль и обслуживание. Устройства включают схему встроенного контроля БГМК-7 и индикатор технического состояния ГМК-Стриж на блоке БГМК-7. К оперативным органам контроля относится кнопка «МК-315» на приборной доске объекта.

К индикатору технического состояния относится световой сигнализатор исправности на БГМК-7.

Встроенный контроль. Схема встроенного контроля снимает сигнал исправности блока БГМК-7 при нарушении работоспособности гиромагнитного канала или при отсутствии питания. Следует помнить, что при резких разворотах объекта схема контроля может кратковременно снять сигнал исправности, что не является признаком нарушения работоспособности следящей системы ГМК-Стриж.

Оперативный контроль. При нажатии кнопки «МК-315» в магнитный канал в цепь индукционного датчика ИД-7 подается подмагничивающий сигнал, соответствующий положению объекта на курсе 315° . При этом курс, выдаваемый БГМК-7, равен $315^\circ \pm 10^\circ$, потребители гиромагнитного курса должны показывать указанную величину. При этом сигнал исправности не пропадает. При отпускании кнопки восстанавливаются текущие показания курса ЛА.

Работа. Функциональная схема ГМК-Стриж представлена на рисунке 5.

Формирование гирополукомпасного курса

Режим гирополукомпаса является основным режимом работы системы. Начальная выставка гироскопического курса перед взлетом осуществляется по магнитному курсу от магнитного корректора. Принцип действия гирополукомпаса основан на свойстве свободного вращения неизменным относительно мирового пространства. В гироскопе, предназначенном для определения отклонения от выбранного направления, ось вращения ротора

(главная ось) должна быть расположена горизонтально.

Работа горизонтальной коррекции

Удержание главной оси в горизонтальном положении осуществляется с помощью жидкостного маятникового корректирующего устройства горизонтальной коррекции.

Система горизонтальной коррекции состоит из чувствительного и исполнительного элементов коррекции. Чувствительным элементом горизонтальной коррекции служит датчик жидкостной маятниковый, укрепленный на кронштейне, жестко связанном с малогабаритным гироскопом МГ.

Исполнительным элементом является датчик момента гироскопа ДМ-2.

При отклонении главной оси гироскопа от горизонтального положения ДЖМ подает сигнал через устройство горизонтальной коррекции УГК, расположенное в блоке УМК, на датчик момента горизонтальной оси ДМ-2. Таким образом, создается момент, необходимый для возвращения главной оси гироскопа в горизонтальное положение.

Работа широтной коррекции

Компенсация «ухода» гироскопа, вызываемого суточным вращением Земли, осуществляется при помощи широтного компенсатора. На географических полюсах Земли свободный гироскоп с горизонтальной осью собственного вращения «уходит» по курсу с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли: $\Omega_3 = 1 \text{ оборот}/1 \text{ сутки} = 360^\circ/24 \text{ ч} = 15^\circ/\text{ч}$.

На любой другой широте угловая скорость «ухода» оси гироскопа в горизонтальной плоскости равна вертикальной составляющей вектора угловой скорости вращения Земли на данной широте: $\Omega = \Omega_3 \sin \varphi$.

В северном полушарии главная ось гироскопа «уходит» по направлению вращения часовой стрелки, а в южном полушарии – против направления вращения часовой стрелки. Широтный компенсатор состоит из задатчика сигналов широты места ПШК, усилителя и азимутального датчика момента.

При подаче на вход усилителя УМК напряжения, пропорционального задаваемой широте φ , с выхода усилителя снимается сигнал на обмотку статора датчика момента ДМ-1.

Формирование гироманнитного курса.

Сигнал магнитного курса поступает с ИД через магнитный корректор на статор СКТ-232Б, с ротора которого снимается сигнал рассогласования между гирополукомпасным и магнитным курсом. Данный сигнал поступает на усилитель магнитной коррекции УМК, в котором суммируется с сигналами с потенциометра регулировки дрейфа гироскопа и с сигналом широтной коррекции. Суммарный сигнал поступает на датчик моментов ДМ-1, который отрабатывает ротор СКТ-260-1 до согласованного по магнитному курсу положения.

Блок УМК.

Блок УМК состоит из трех функционально независимых устройств: усилитель магнитной коррекции курса, устройство горизонтальной коррекции, выключатель коррекции.

Усилитель магнитной коррекции курса.

На вход усилителя с СКТ-232Б, установленного на курсовой оси датчика гироскопического курса ДГК-4, поступает переменное напряжение амплитудой, пропорциональной синусу разности магнитного и гироманнитного курсов.

Фильтр усилителя обеспечивает сглаживание низкочастотных колебаний сигнала магнитного датчика.

Усилитель выполняет следующие функции:

- суммирование сигналов с выхода фильтра, с потенциометра регулировки дрейфа гироскопа, с потенциометра широтной коррекции;
- отключение коррекции от магнитного курса при поступлении сигнала «ВК» от выключателя коррекции;
- увеличение коэффициента усиления усилителя в 80 раз при углах рассогласования $> 1,6^\circ$ для обеспечения быстрого согласования гироскопического курса с магнитным при выставке;
- увеличение коэффициента усиления усилителя в 10 раз при девиационных работах для уменьшения времени переходного процесса согласования при подаче сигнала +15 В с тумблера «МК», установленного на корпусе БГМК-7;
- обеспечение необходимого тока датчика момента ДМ-2.

Устройство горизонтальной коррекции.

При отклонении платформы с установленными на ней гироскопом МГ и датчиком жидкостным маятниковым ДЖМ-10 от горизонтальной плоскости замыкаются контакты в зависимости от знака отклонения.

Напряжение, знак которого зависит от того, какие контакты замкнуты, поступает на датчик момента горизонтальной коррекции гироскопа МГ, что приводит к возвращению платформы в горизонтальное положение.

Выключатель коррекции.

Выключатель коррекции формирует сигнал выключения магнитной коррекции и горизонтальной коррекции при крене более $\pm(7\pm 3)^\circ$ и при наличии внешнего сигнала +27 В выключения магнитной коррекции.

Канал магнитного курса КМК.

Канал магнитного курса КМК предназначен для определения проекций вектора индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли и выдачу их в БГМК-7 в аналоговом виде для формирования магнитного курса.

Канал магнитного курса КМК содержит:

- индукционный датчик ИД;
- магнитный корректор МК-7.

МК-7 имеет встроенный компенсатор магнитной девиации (КМД), регулировочные резисторы которого расположены под крышкой на лицевой стороне МК-7.

Канал магнитного курса КМК представляет собой двухканальный феррозондовый магнитометр компенсационного типа, измеряющий проекции вектора индукции горизонтальной составляющей магнитного поля на две взаимно перпендикулярные (условные) оси датчика ИД, при этом ось X совпадает со стрелкой «Направление полета».

Внешнее магнитное поле действует на чувствительные элементы (феррозонды) датчика ИД. В результате чего при подаче сигнала возбуждения в обмотку возбуждения (ОВ) датчика ИД на выходе каждого феррозонда (обмотка измерения) появляется ЭДС, величина которой на частотах кратных второй гармонике частоты возбуждения пропорциональна величине проекции магнитного поля, действующего на соответствующую ось.

Сигналы с измерительных обмоток соответствующих феррозондов поступают в МК-7,

где преобразуются в значения напряжений, пропорциональных проекциям вектора магнитной индукции.

Датчик индукционный ИД. Описание и принцип работы.

Индукционный датчик ИД предназначен для измерения проекций вектора горизонтальной составляющей магнитного поля Земли по двум взаимно-перпендикулярным осям чувствительности, которые совпадают по направлениям с продольной и поперечной осями объекта. ИД должен устанавливаться на объекте в местах, где отсутствует влияние на ИД магнитного поля, которое создается питанием электрическим током установок и агрегатов объекта.

Индукционный датчик должен устанавливаться таким образом, чтобы плоскость посадочного фланца была горизонтальна с точностью $\pm 2^\circ$ при положении объекта в плоскости горизонтального полета. Индукционный датчик должен устанавливаться без амортизации и быть закреплен тремя винтами. Детали крепления должны изготавливаться из немагнитного материала. Для обеспечения необходимой точности привязки условной оси чувствительности ИД к продольной оси объекта и возможности снятия и установки ИД без повторения девиационных работ в месте установки ИД соответственно габаритному чертежу, на объекте устанавливаются два штифта.

Индукционный датчик состоит из магнитного подвеса с двумя идентичными чувствительными элементами феррозондами, устанавливается в корпусе с помощью двухосного карданового подвеса, который выполнен на немагнитных подшипниках. Каждый феррозонд выполнен из двух сердечников, установленных в корпус из антимагнитной латуни, и завернут в пленку из фторопласта для исключения возникновения короткозамкнутых витков вокруг пластин. На каждый из сердечников намотана первичная обмотка. Первичные обмотки связаны между собой таким образом, чтобы во вторичной обмотке, которая намотана на оба сердечника одновременно, переменные токи возбуждения не наводили ЕДС.

Для ограничения угла поворота подвески в пределах $\pm 20^\circ$ на корпусе установлен упор. Демпфирование колебаний проводится

жидкостью типа ПМС-10, которой заполнено устройство. Воздушная компенсационная камера заполнена азотом. Герметичность ИД обеспечивается резиновыми прокладками между крышкой и кожухом, а также заливкой колодки герметиком. Крепление ИД на объекте проводится через фланец с тремя отверстиями, которые разрешают разворачивать ИД на объекте в пределах $\pm 10^\circ$.

Технические особенности конструкции курсовой системы ГМК-Стриж

При разработке ГМК-Стриж реализованы технические решения, новизна и полезность которых защищена патентами РФ на изобретения. Данные технические решения направлены на повышение точности и надежности, снижение массы и габаритов системы, повышение эксплуатационно-технических характеристик. Благодаря чему ГМК-Стриж может использоваться на любых типах ЛА – пассажирских, транспортных, высокоманевренных и беспилотных. В составе системы применены только отечественные комплектующие изделия – это в настоящее время значимый фактор.

ГМК-Стриж представляет собой моноблочную конструкцию на основе блока гироманитного курса БГМК-7, в состав которого входит датчик гироскопического курса ДГК-4 с малогабаритным гироскопом МГ-4, а также блок питания, электроника, обеспечивающая работу системы [7] и канал магнитного курса КМК, на основе индукционного датчика и магнитного корректора МК-7.

Благодаря применению гироскопа МГ-4, являющегося датчиком угловой скорости (ДУС), карданового подвеса, стабилизирующего гироскоп в горизонтальной плоскости, с помощью жидкостного датчика ДЖМ-10, система ГМК-Стриж работоспособна (не выбиваема) в условиях угловых маневров ЛА [8].

Конструкция магнитного корректора МК-7 канала магнитного курса обеспечивает работу системы с датчиком ИД-7 (новая разработка) и с серийным, широко используемым в эксплуатации датчиком ИД-6 серия 1. При этом, МК-7, благодаря простоте конструкции и ЭРИ на основе резисторов, позволяет повысить точность определения магнитного курса и снизить массу канала КМК [9].

Конструкция каркаса моноблока БГМК-7 обеспечивает требуемую жесткость и устойчивость к вибрационным и ударным нагрузкам без применения несущей конструкции рамы блока [10].

Применение в блоке ПШК механизма привода шкалы позволяет повысить надежность работы привода и уменьшить его габариты [11]. Устройство задания углового положения блока ЗМС позволяет упростить конструкцию и уменьшить габариты прибора [12]. Применение для крепления блока БГМК-7 к монтажной раме зажима позволяет повысить виброустойчивость крепления и исключает возможность ослабления крепления блока на раме [13].

Технические характеристики ГМК-Стриж приведены ниже в приложении.

Приложение. Технические характеристики курсовой системы «Гиромагнитный компас – ГМК – СТРИЖ»

Назначение: Автономный датчик гиромагнитного курса (ГМК), гирополукомпасного курса (ГПК) и истинного курса (ИК).

Технические характеристики:

Состав, масса, количество:

| | | |
|--|---|-----|
| БГМК-7 (блок гиромагнитного курса), 3,7 кг | – | – 1 |
| ИД-7, 0,3 кг или ИД-6 серия 1, 0,6 кг | | – 1 |

В комплект поставки может входить:

| | | |
|--|--|-----|
| ПШК-7-2Р (пульт широтной коррекции), 0,4 кг | | – 1 |
| ЗМС-3 серия 2Р (задатчик магнитного склонения), 0,5 кг | | – 1 |
| РМ-50 (РМ-50А) рама монтажная для БГМК-7, 0,3 (0,8) кг | | – 1 |

Электропитание, потребление:

| | | |
|--|--|-------|
| = 27 В постоянного тока, А | | – 1,0 |
| = 27 В постоянного тока, А, питание обогрева | | – 2,0 |

| | | |
|--|--|-------|
| Время готовности в режиме ГМК/ГПК, мин | | – 3/5 |
|--|--|-------|

Погрешности (2σ):

| | | |
|---|--|-------|
| ГМК, до широт 70 град, град | | – 0,7 |
| ГПК, ИК (с ПШК-7-2Р и ЗМС-3 серия 2Р), град/ч | | – 0,5 |

| | | |
|----------------------------------|-------------------|---------|
| Надежность, ч/на отказ, не менее | | – 10000 |
| Вид выходной информации: – | аналоговый (СКТ); | |

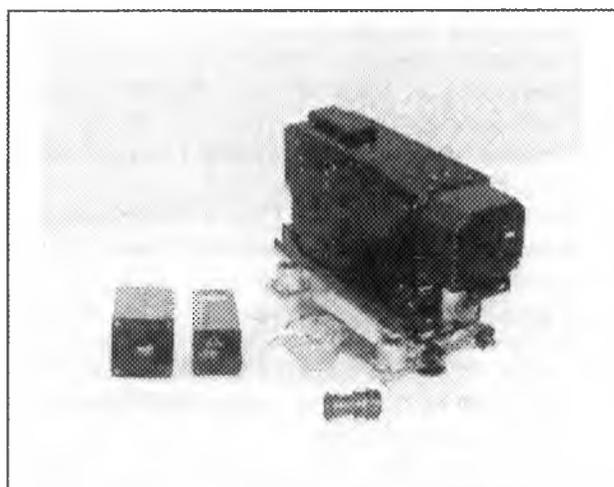


Рис. 6. Курсовая система ГМК-Стриж цифровой код по ГОСТ 18977–79 и РТМ 1495–75, по ДТЗ.

Внешние воздействия по ЕНЛГ-С, М-5.

Контроль: на борту – ВК (встроенный контроль), тест-контроль «МК-315»; на стенде – КПАП БСКВ и жгут Ж-62-11.

Отключение магнитной коррекции производится от авиагоризонта при крене (СКТ) более ± 5...10 град или от выключателя коррекции при угловой скорости более ± 0,2 град/с.

Курсовая система ГМК-Стриж работоспособна (невыбиваема) при любых углах маневра объекта.

Межведомственные испытания изделия ГМК – Стриж подтверждают соответствие опытных образцов изделия требованиям Технического задания (Акт № 9Е7/17-09).

Для размещения и использования изделия ГМК – Стриж на самолете (вертолете) необходимо согласование протокола разрешения применения.

Изделие ГМК – Стриж серийно выпускает ОАО «РПЗ» г. Раменское. На рисунке 6 показан внешний вид курсовой системы ГМК-Стриж.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акиндей Ю.А. и др. *Аппаратура измерения курса и вертикали на воздушных судах гражданской авиации*. Москва: «Машиностроение», «Воздушный транспорт». 1989.
2. Одинцов А.А., Мелешко В.В., Шаров С.А. *Ориентация объектов в магнитном поле Земли*. Киев: изд. Корнийчук, 2007, 152 с.
3. Мелешко В.В., Скуднева О.В. *Гироскоп направления с интегральной горизонтальной*

- коррекцией на выраже // *Вестник НТУУ КПИ Приборостроение*. 2009. № 38. С. 5...12.
4. Мелешко В.В., Скуднева О.В., Корнейчук В.В. Самоориентирующийся указатель курса // *Вестник НТУУ КПИ, Приборостроение*. 2008. № 36. С. 5...12.
 5. Мелешко В.В., Скуднева О.В., Корнейчук В.В., Янчевский А.Ю. *Гироскоп*. Патент UA на полезную модель № 54313 от 10.11.2010.
 6. *Гиromагнитный компас ГМК-Стриж. Руководство по технической эксплуатации, КМИВ*. 462513.001 РЭ, АО РПЗ г. Раменское.
 7. Патент РФ № 2279636 на изобретение «Курсовая система» от 10.07.2006.
 8. Патент РФ № 2381452 на изобретение «Курсовая система» от 10.02.2010.
 9. Патент РФ № 2350906 на изобретение «Датчик магнитного курса» от 27.03.2009.
 10. Патент РФ № 2340962 на изобретение «Каркас для монтажа приборного оборудования» от 10.12.2008.
 11. Патент РФ №2442110 на изобретение «Механизм для привода шкалы» от 10.02.2012.
 12. Патент РФ №2484525 на изобретение «Устройство для задания углового положения» от 10.06.2013.
 13. Патент РФ №2304528 на изобретение «Зажим» от 20.08.2007.
3. Meleshko V.V., Skudneva O.V. Girokompas napravlenia s integralnoi gorizontanoi korrekciei na virazhe [Direction gyro with integral horizontal bending correction]. *Vestnik NTUU KPI Priborooborudovanie* [Bulletin of NTUU KPI Instrumentation]. 2009. № 38. Pp. 5...12.
 4. Meleshko V.V., Skudneva O.V., Korneichuk V.V. Samoorientiruushisya ukazatel kursa [Self-guided course pointer]. *Vestnik NTUU KPI Priborooborudovanie* [Bulletin of NTUU KPI Instrumentation]. 2008. № 36. Pp. 5...12.
 5. Meleshko V.V., Skudneva O.V., Korneichuk V.V. et al. *Giropolukompas*. Patent UA. № 54313 10.10.2010.
 6. *Giromagnitnyi kompas GМК-Strizh. Rukovodstvo po tehnicheckoi expluatacii, КМIV* [Gyromagnetic compass GМК-Strizh. Technical operation manual, CMIV]. 462513.001 RE AO RPZ, Ramenskoye.
 7. Patent RF na izobretenie [Patent for invention] № 2279636. *Kurosovaya sistema* [Course system]. 10.07.2006.
 8. Patent RF na izobretenie [The patent for invention] № 2340962. *Kurosovaya sistema* [Course system]. 10.02.2010.
 9. Patent RF na izobretenie [The patent for invention] №2350906. *Datchik magnitnogo kursa* [Magnetic heading sensor]. 27.03.2009.
 10. Patent RF na izobretenie [The patent for invention] № 2340962. *Karkas dlya montazha pribornogo oborudovania* [Framework for mounting instrumentation]. 10.12.2008.
 11. Patent RF na izobretenie [The patent for invention] № 2340962. *Mehanizm dlya privoda shkaly* [Scale Drive Mechanism]. 10.06.2013.
 12. Patent RF na izobretenie [The patent for invention] № 2484525. *Ustroistvo dlya zadania uglovogo polozhenia* [Device for setting the angular position]. 10.12.2008.
 13. Patent RF na izobretenie [The patent for invention] № 2304528. *Zazhim* [Clamp]. 20.08.2007.

REFERENCES

1. Akindeev U.A. et al. *Apparatura izmerenia kursa i vertikali na vozdushnykh sudah grazhdanskoi aviatsii* [Instrumentation for measuring the course and vertical on civil aircraft]. Moscow: Publishing House «Mashinostroenie», «Vozdushnyi transport», 1989.
2. Odincov A.A., Meleshko V.V., Sharov S.A. *Orientacia ob'ektov v magnitnom pole Zemli* [The orientation of objects in the magnetic field of the Earth]. Kiev: Publishing House «Korniichuk», 2007.

Сведения об авторе

Скуднева Оксана Валентиновна, старший преподаватель кафедры «Вычислительная математика и математическая физика»

E-mail: chykchuk@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, НУК ФН

105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

Information about author

Skudneva Oksana V., senior teacher the Faculty of Fundamental Sciences

E-mail: chykchuk@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University

105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya str., 5, building 1