

◆ СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ◆

УДК 629.12.053.13
DOI 10.17285/0869-7035.2018.26.3.136-142

М. В. ЧИЧИНАДЗЕ

МОРСКИЕ ГИРОКОМПАСЫ, РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассматривается история развития морских гирокомпасов в СССР и в России. Отмечается, что, несмотря на развитие и внедрение гирогоризонткомпасов (ГГК), бескарданных инерциальных систем, спутниковых компасов (СНС-компас), классический гирокомпас (маятниковый и корректируемый), в силу его простоты в эксплуатации и низкой стоимости при достаточной для безопасности плавания точности, остается и останется востребованным навигационным прибором, что требует его развития и совершенствования.

Ключевые слова: гироскоп, гирокомпас, гирогоризонткомпас, СНС-компас, бескарданная инерциальная система.

Французскому физику Л. Фуко принадлежат идея и первый опыт реализации (1852 г.) приборов, способных определять направление, т.е. гирокомпаса и гиросирота. Он также впервые ввел понятие «гироскоп» и стал основателем нового направления динамики твердого тела – гироскопии.

Прошло более 50 лет, прежде чем усилиями многих ученых (Н. Е. Жуковского, А. Я. Ляпунова, А. Феппля, О. Мартинсена и др.) и инженеров-изобретателей (Ж. Труве, Е. Дюбуа, М. Г. Ван-ден-Бос и др.) удалось решить проблемы обеспечения высокой скорости вращения ротора для увеличения гироскопического момента (направляющей силы) к северу, сведения к минимуму трения в опорах подвеса, снижения влияния качки, вибрации и скорости движения основания по поверхности Земли, а также удержания оси гироскопа в плоскости горизонта и демпфирования движения оси в плоскость меридиана.

Затем, опираясь на эти результаты, Г. Аншютц-Кемпфе в Германии в 1909 г. и Э. Сперри в США в 1911 г. создали работоспособные в морских условиях образцы гирокомпасов «Аншютц» и Sperry Mk1 соответственно.

Чичинадзе Михаил Валентинович. Доктор технических наук, помощник генерального директора по взаимодействию с органами государственного управления, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Петербург). Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

С этого момента начинается быстрое развитие морских гирокомпасов в Германии, США, Англии и России. Идея гирокомпаса, предложенная Л. Фуко, осталась реализованной в авторской форме для наземных гирокомпасов неподвижных объектов, так как для движущихся объектов у гирокомпаса Фуко остаются нерешенными проблемы влияния вибраций и качки, несмотря на привлекательность их короткопериодности, т.е. сокращения времени готовности (приведения в меридиан) [7].

В России интерес к гирокомпасам стал приоритетом для Главного Гидрографического управления с 1895 г., а в 1905 г. была испытана конструкция гирокомпаса, предложенная лейтенантом БФ М. Конокотиным. Испытания закончились с отрицательным результатом, и поэтому был закуплен и в 1910 г. установлен на крейсере «Паллада» гирокомпас «Аншютц» [1, 4].

Однако ухудшающиеся отношения с Германией в преддверии мировой войны заставили Морское Министерство начать закупки гирокомпасов Sperry Mk1, которыми в период 1914–1916 гг. были оснащены все линкоры, крейсера и подводные лодки ВМФ России.

Годы революции и гражданской войны затормозили, но не прервали развитие гирокомпасов, во главе которого с 1916 г. становятся А. Н. Крылов и Б. И. Кудревич. Последний в 1921 г. публикует фундаментальную работу «Теория и практика гироскопического компаса», а в 1925 г. при Гидрографическом управлении создается конструкторское бюро для разработки гирокомпасов во главе с В. И. Орловским и М. С. Алексеевым. Результатом их деятельности стало создание первого отечественного гирокомпаса «ГУМК 1», повторяющего в основном технические решения и уже выявленные недостатки гирокомпаса Sperry.

Программы развития военного кораблестроения, принятые в 1926 и 1932 гг., требовали наращивания выпуска гирокомпасов с высокими техническими характеристиками. Технические возможности конструкторского бюро и фактически ремонтного производства Гидрографического управления не позволяли этого достичь. Поэтому в 1934 г. было принято решение об организации разработки и производства гирокомпасов для ВМФ на базе нынешнего АО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор».

Для выбора наиболее перспективной конструкции будущего отечественного массового гирокомпаса была создана комиссия во главе с академиком А. Н. Крыловым. Она должна была рассмотреть документацию и испытать наиболее совершенные к тому времени гирокомпасы «Новый Аншютц» (Германия) и Sperry Mk4 (США), которые при близких ТТХ существенно отличались по конструкции: жидкостной подвес чувствительного элемента (ЧЭ) – «Аншютц» и сухой (торсионный) – Sperry. Испытания были завершены в 1936 г., и по их результатам комиссия А. Н. Крылова признала гирокомпас «Аншютц» более перспективным по конструкции, удобству эксплуатации и требованиям ВМФ к обеспечению безопасности плавания.

Кроме того, не дожидаясь окончания испытаний, руководство ВМФ приняло решение начать разработку отечественного гирокомпаса. Работа была поручена специалистам ЦНИИ «Электроприбор» Н. Н. Острякову, М. А. Шифу, Б. И. Кудревичу и др., и они успешно с ней справились, создав к маю 1937 г. первый отечественный гирокомпас «Курс-1». Он в значительной степени повторял технологические решения гирокомпаса «Аншютц» (жидкостной подвес сферического ЧЭ с двумя гироскопами и нижней маятниковостью), но имел и существенно более совершенные технические решения по организации центрирования гиросферы и демпфирования собственных колебаний при движении к меридиану.

В период 1937–1939 гг. по результатам испытаний гирокомпаса «Курс-1» его конструкция была доработана, и с 1940 г. начался выпуск гирокомпаса «Курс-3», ставшего основным ГК ВМФ на весь период Великой Отечественной войны.

«Курс» стал первенцем направления так называемых «маятниковых гирокомпасов», которое успешно развивалось вплоть до начала 70-х гг. XX века. Были созданы гирокомпасы «Гиря» (1945 г.), «Амур» (1952 г.), «Маяк» (1969 г.), руководителями разработок которых были М. А. Шиф, В. Г. Железнов, Г. Д. Блюмин [1, 10] соответственно.

Высшим этапом развития и совершенствования маятниковых гирокомпасов стало создание в 1968 г. ГГК «Ирбит», обеспечивающего выработку курса и углов качек корабля. Теоретическую основу такого прибора составили работы А. Ю. Ишлинского, Н. Геккелера, В. Н. Кошлякова и др. ученых [6, 11].

Однако к середине 60-х гг. на авансцену навигационной техники выходят, с одной стороны, малогабаритные, устойчивые на маневрировании «корректируемые» гирокомпасы (гиросуказатели, ГКУ), а с другой – инерциальные навигационные системы (ИНС), вырабатывающие навигационные и динамические параметры корабля в большем объеме, чем ГГК «Ирбит».

Следует заметить, что в 1942 г., когда часть сотрудников ЦНИИ «Электроприбор» была переведена в Москву на завод №706, развитие и производство гирокомпасов было сосредоточено именно там. При этом названия организаций менялись (МНИИ-1, НИИ-944, МЭМИ, НИИ ПМ, ЦНИИ «Дельфин»), но основной коллектив разработчиков сохранялся.

Рассмотрение эволюции ИНС не является предметом рассмотрения настоящей статьи, но проблемы поиска наиболее перспективных путей дальнейшего развития морского навигационного приборостроения, возникшие перед прикладной наукой и промышленностью, требовали своевременного решения. Проблемы состояли в выборе не только между ИНС и ГГК, но и между маятниковыми и корректируемыми гирокомпасами.

Последние, а именно ГКУ-1, ГКУ-2, «Вега», были созданы в середине 60-х гг. в ЦНИИ «Дельфин», их основными разработчиками были Н. В. Герасимов, В. М. Вечтомов, М. В. Чичинадзе, Ю. Б. Люсин и др.

В этих гирокомпасах непосредственная механическая связь гироскопа с маятником заменяется более гибкой электрической связью с датчиком горизонта, а управление гироскопом корректируется с учетом внешней информации о широте и скорости судна, что позволяет повысить точность прибора, особенно при больших скоростях движения и в высоких широтах. Хотя сегодня преимущества корректируемых гирокомпасов общепризнаны, в свое время лишь немногие ученые старшего поколения поддерживали это направление. Ситуация действительно была непростой: к этому времени была проработана теория и налажено серийное производство маятниковых приборов, в том числе аperiodических типа «Маяк» и пространственного ГГК «Ирбит». В этих условиях отстаивать необходимость развития нового направления, требующего переориентации и серьезной технологической перестройки промышленного производства, было сложным и ответственным делом.

Со временем стало очевидным, что решение Минсудпрома СССР о развертывании серийного производства ГКУ на заводах Свердловска (СЗТМ) и Арсеньева (завод «Аскольд») было правильным. При меньших габаритах и меньшем времени готовности они обладают более высокой точностью и устойчивостью на маневре, а также могут работать в режиме гироазимута, что было и есть особенно важно для быстроходных маневренных кораблей ВМФ и для эксплуатации в широтах более 85°.

В результате к середине 80-х гг. корректируемые гирокомпасы прочно заняли свое место в промышленности и на флоте. В то же время сохранился выпуск маятниковых приборов для малотоннажных судов гражданского флота ВМФ. Всего выпускалось три модели маятниковых («Курс-4», «Курс-10», «Амур-3М») и четыре – корректируемых изделий (ГКУ-1, ГКУ-2, ГКУ-4, «Вега»). Следует особо отметить, что высокие ТТХ корректируемых гирокомпасов обусловлены созданными специально для них гироскопическими ЧЭ – трехстепенными поплавковыми гироскопами (ТПГ), высокочувствительными акселерометрами (индикаторами горизонта), датчиками угла и момента [3].

К концу 80-х гг. вследствие ужесточения требований к сокращению времени готовности гирокомпасов ВМФ и снижению трудоемкости изготовления ЧЭ сформировалась задача разработки для ГКУ нового ЧЭ, отвечающего этим требованиям.

Решение было найдено в ЦНИИ «Дельфин»: был разработан ЧЭ на основе динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ) и, соответственно, гирокомпас «Яхта» с этим ЧЭ. По результатам испытаний и эксплуатации их серийное производство было передано Киевскому заводу автоматики им. Г. И. Петровского (КЗА) и Пермскому приборостроительному заводу (ныне НПО «ППК»). Гирокомпас поставлялся на экспорт в США фирме Sperry Marine, которая продавала его под маркой «МК-37» в период 1989–1995 гг., а затем организовала собственное производство.

Распад СССР привел к исчезновению единого научно-технологического пространства и существенным изменениям в составе разработчиков и производителей гирокомпасов.

СЗТМ прекратил свое существование, ЦНИИ «Дельфин» прервал разработку гирокомпасов. Изготовление маятниковых изделий (главным образом ЧЭ) сохранилось на заводе «Аскольд». Основным производителем и разработчиком гирокомпасов стала Пермская приборостроительная компания, наладившая на основе документации гирокомпаса «Яхта» разработку и поставки изделий ГКУ-5, «Меридиан» и их модификаций.

Между тем, если внедрением ДНГ время готовности ГКУ удалось в значительной мере снизить, их трудоемкость оказалась весьма высокой в связи с необходимостью высокоточной механообработки и операций динамической настройки резонанса.

Вследствие этих трудностей, а также быстрого развития в конце 90-х – начале 2000-х гг. волновых гироскопов, вибрационных микромеханических гироскопов (ММГ) и космических навигационных систем типа GPS и ГЛОНАСС внимание разработчиков ряда фирм (ЦНИИ «Электроприбор», НПО «ППК», ЦНИИ «Дельфин» и пр.) сосредоточилось на создании систем курсоуказания и стабилизации на основе этих технологий.

Следует отметить, что, поскольку использование волновых или микромеханических гироскопов подразумевает их жесткую связь с объектом, то есть конструкцию бескарданной системы, для ее функционирования требуется измерение всех трех углов ориентации (курса, крена и дифферента), то есть требуется применение трех гироскопов и двух (трех – при необходимости обработки вертикальных перемещений) акселерометров. При этом потребитель, кроме курса, получает информацию об углах качки, ее угловых скоростях и иную «бесплатную» информацию о навигационных и динамических параметрах движения объекта. Фактически на основе волновых гироскопов создаются ГГК, которые имеют большую цену на рынке в сравнении с классическими и корректируемыми гирокомпасами.

Сегодня ГГК выпускаются как в России – ЦНИИ «Электроприбор» («МТКУ», «Бекар», «Бемоль»), НПО ППК («Кама-НС»), ЦНИИ «Дельфин» («Пастильщик»), так и за рубежом – во Франции (iXSEA: Octans, Fenics), США (Sperry – Northrop Grumman: МК-XXI) [5].

Для большинства кораблей, подводных лодок и других объектов ВМФ набор вырабатываемых ГГК параметров является оптимальным, а погрешности этих параметров определяются в основном погрешностью применяемых гироскопов, которая сегодня находится в пределах от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-2}$ °/час, и цена ГГК зависит от класса (погрешности) применяемых гироскопов и акселерометров.

Однако для судов гражданского флота необходимая для обеспечения безопасности плавания информация строго определена нормами ИМО, регламентирующими только бесперебойную, непрерывную информацию о курсе судна, то есть требуется гирокомпас либо гирокурсоуказатель. Это означает, что ценовые показатели являются для судовладельца определяющими, так как прочие эксплуатационные и точностные характеристики жестко определены нормами ИМО А.424.11 и стандартом ISO8728-87. Эта ситуация на рынке, усугубленная тем, что достигнутые погрешности ММГ (не лучше $0,5 \div 5$ °/час) не позволяют создать удовлетворяющий требованиям ИМО гирокомпас, привела к тому, что разработчики гирокомпасов вновь обратились к классическим маятниковым гирокомпасам («Аншютц» – Standart-XXII) [12] или, стремясь к снижению себестоимости, к созданию так называемых GPS-компасов, или СНС-компасов [2].

За время, прошедшее с момента выпуска первого GPS-компаса фирмой Furuno (Япония), его научно-технологическая база была достаточно отработана [11]. В отличие от классического гирокомпаса эти приборы определяют, кроме курса, углы качки (параметры ориентации объекта), линейную скорость и координаты места. Однако они не обеспечивают непрерывности (бесперебойности) выработки навигационных параметров без дополнительных гироскопов, так как зависят от доступности сигналов космических аппаратов и точности знания антенной базы, причем последняя определяет и погрешность выработки, например, курса ($\Delta K \approx 0,6^\circ$ (3σ) на 1 м базы).

Для того чтобы обеспечить надежность, требуемую ИМО и стандартом ISO, в состав GPS-компаса вводят инерциальный измерительный модуль (ИИМ) на ММГ или волоконно-оптическом гироскопе. Естественно, что такое наращивание системы влечет ее существенное удорожание и ее применение становится целесообразным только в высоких широтах, так как погрешность GPS-компаса не зависит от широты места.

Таким образом, на пороге 20-х гг. XXI века мы вновь (правда, на новом уровне) возвращаемся к дискуссии о том, каким должен быть гирокомпас. При этом следует учитывать, что фактически утрачено производство позиционных гироскопов, составляющих основу ЧЭ классического гирокомпаса (за исключением немецких фирм «Аншютц», «Навигат») [12]. Современная промышленность производит из техники навигационного класса только гироскопы-датчики угловой скорости и ГГК на их основе. Последние в силу их стоимости малопривлекательны для российских гражданских судовладельцев. Между тем в условиях сокращения ГОЗ и наращивания объемов строительства отечественных морского, речного транспортного, танкерного, пассажирского, рыболовного и научного флотов необходимо снабдить их гирокомпасами, приемлемыми по цене и соответствующими нормам Регистра РФ, стандарта ISO 8728-87, ИМО А.424(11), а также обеспечить оперативное техобслуживание на морских и речных пароходствах (портах).

Поскольку такие гирокомпасы Standart-XXII и Navigat XMk2 для завоевания российского потребителя предлагают бывшие немецкие фирмы Anschutz и Navigat, а ныне дочерние компании концернов США Raytheon и Northrop Grumman, необходимо в ближайшее время приложить усилия для создания классического отечественного гирокомпаса или для существенного (в 2-3 раза) снижения стоимости ГГК.

В заключение отметим, что морской гирокомпас за прошедшие 100 лет с момента создания не потерял и не потеряет своего значения как наиболее массовый навигационный прибор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюмин Г.Д., Жбанов Ю.К., Кошляков В.Н. Гирскопические компасы // Развитие механики гирскопических и инерциальных систем. М.: «Наука», 1973.
2. Емельянцева Г.И., Блажнов Б.А., Степанов А.П. Особенности построения двухрежимного СНС-гирокомпаса как сильносвязанной интегрированной системы // Гирскопия и навигация. 2017. №4. С. 3–17.
3. Коган В.М., Чичинадзе М.В. Судовой гироазимуткомпас «Вега». М.: «Транспорт», 1983.
4. Корякин В.М., Хребтов А.А. От астрологии к навигационным комплексам. СПб.: Судостроение, 1994.
5. Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Прилуцкий В.Е., Пономарев В.Г., Морев И.В., и др. Бесплатформенная инерциальная система ориентации и навигации на основе волоконно-оптических гироскопов // Гирскопия и навигация. 2014. №1. С. 14–25.
6. Кошляков В.Н. Теория гирскопических компасов. М.: «Наука», 1972.
7. Магнус К. Гирскоп. Теория и применение. М.: «Мир», 1974.
8. Чичинадзе М.В., Коган В.М. Морские гирокомпасы. Что же дальше? // Гирскопия и навигация. 1998. №3. С. 54–58.
9. Чичинадзе М.В., Коган В.М. Гирскопические компасы, настоящее и будущее // Труды Симпозиума «Гиротехнологии». ФРГ, Штутгарт, 2005.
10. Чичинадзе М.В. От магнитного и гирскопического компаса к бесплатформенному и безгирскопному: тенденции развития // Материалы IX конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб, 2007. С. 13–25.
11. Лукьянов Д.П., Лесковец Ю.А. К истории создания и совершенствования гирокомпаса // Материалы VIII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб., 2007. С. 9–22.
12. Schell, B., 100 Years of Anschutz Gyro Compasses – 100 Years of Innovations, *Symposium Gyro Technology*, Stuttgart Universitat, 2005.

Chichinadze, M.V. (Concern CSRI Elektropribor, JSC, Saint Petersburg)

Marine Gyrocompasses: Development and Prospects, *Giroskopiya i Navigatsiya*, 2018, vol. 26, no. 3 (103), pp. 136–142.

Abstract. The paper addresses the history of marine gyrocompasses development in the USSR and Russia. It is noted that despite the development and implementation of attitude and heading reference systems (AHRS), strapdown inertial navigation systems, and satellite compasses (SNS-compasses), the classical gyrocompass of both pendulum and adjustable types is and will be still in demand due to its simple operation and low cost along with the accuracy sufficient for safe navigation; therefore, it will require further development and improvement.

Key words: gyroscope, gyrocompass, AHRS, SNS-compass, strapdown inertial system.

REFERENCES

1. **Blyumin, G.D., Zhbanov, Yu.K., and Koshlyakov, V.N.**, *Giroskopicheskie kompasy* (Gyroscopic Compasses) in *Razvitie mekhaniki giroskopicheskikh i inertsial'nykh system* (Gyroscopic and Inertial System Mechanics Development), Moscow: Nauka, 1973.
2. **Emel'yantsev, G.I., Blazhnov, B.A., and Stepanov, A.P.**, Specific features of constructing a double-mode gyrocompass as a tightly-coupled integrated system, *Gyroscopy and Navigation*, 2018, vol. 9, no. 2, pp. 97–105.
3. **Kogan, V.M., and Chichinadze, M.V.**, *Sudovoi girokompas "Vega"* (Vega Shipborne Gyrocompass), Moscow: Transport, 1983.
4. **Koryakin, V.M., and Khrebtov, A.A.**, *Ot astrologii k navigatsionnym kompleksam* (From Astrology towards Integrated Navigation Systems), St. Petersburg: Sudostroenie, 1994.
5. **Korkishko, Yu.N., Plotnikov, P.K. et al.**, Strapdown inertial navigation systems based on fiber-optic gyros, *Giroskopiya i navigatsiya*, 2014, no.1, pp. 14–26.
6. **Koshlyakov, V.N.**, *Teoriya giroskopicheskikh kompasov* (Theory of Gyroscopic Compasses), Moscow: Nauka, 1972.
7. **Magnus, K.**, *Gyroscopes, Theory and Applications* [Russian translation], Moscow: Mir, 1974.
8. **Chichinadze, M.V., and Kogan, V.M.**, Marine gyrocompasses: what is further? *Giroskopiya i navigatsiya*, 1998, no. 3, pp. 54–58.
9. **Chichinadze, M.V., and Kogan, V.M.**, Gyroscopic compasses: present and future, *Proc. Symposium Gyro Technology*, Stuttgart, 2005.
10. **Chichinadze, M.V.**, From magnetic and gyroscopic compasses to strapdown and non-gyro systems: development trends, *Trudy 9-oi Konferentsii molodykh uchenykh "Navigatsiya i upravlenie dvizheniem"* (Proc. 9th Conference of Young Scientists "Navigation and Motion Control"), St. Petersburg, 2007, pp. 9–22.
11. **Luk'yanov, D.P., and Leskovets, Yu.A.**, On the history of gyrocompass creation and improvements, *Trudy 8-oi Konferentsii molodykh uchenykh "Navigatsiya i upravlenie dvizheniem"* (Proc. 8th Conference of Young Scientists "Navigation and Motion Control"), St. Petersburg, 2006, pp. 13–25.
12. **Schell, B.**, 100 Years of Anschütz Gyro Compasses - 100 Years of Innovations, *Symposium Gyro Technology 2005*, Stuttgart: Stuttgart Universitaet, 2005.

Материал поступил 15.03.2018