

ЭВОЛЮЦИЯ ГИРОСКОПА

В.В.Карасев; Н.В. Вовченко, Дальрыбвтуз, Владивосток

Рассматриваются существующие и разрабатываемые типы гироскопических чувствительных элементов и история их создания. Обсуждается применение гироскопов в различных областях техники. Анализируются тенденции развития современной гироскопии.

Термин гироскоп, который можно перевести как «наблюдатель вращений» (от греч. *gyros* – круг, *gyroui* – кружусь, вращаюсь и *scopoeo* – смотрю, наблюдаю), был предложен в 1852 г. французским ученым Леоном Фуко для изобретенного им прибора, предназначенного для демонстрации вращения Земли вокруг своей оси. Фуко поместил вращающийся маховик в некоторое устройство, называемое кардановым подвесом, поэтому долгое время слово гироскоп использовалось для обозначения быстро закрученного вращающегося симметричного твердого тела. Согласно законам классической ньютоновской механики, скорость поворота оси гироскопа в пространстве обратно пропорциональна его собственной угловой скорости и, следовательно, ось очень быстро закрученного гироскопа поворачивается столь медленно, что на некотором интервале времени ее можно использовать в качестве указателя неизменного направления в пространстве. И хотя опыт с первым гироскопом Фуко оказался не совсем удачным, морские и военные применения гироскопов потребовали совершенствования гироскопических приборов быстро нарастающими темпами.

Простейшим гироскопом, с необыкновенными свойствами которого мы знакомимся еще в детстве, является волчок. Парадоксальность поведения волчка заключается в его сопротивлении изменить направление оси вращения. При действии внешней силы ось волчка (гироскопа) начинает двигаться (прецессировать) в направлении, перпендикулярном вектору силы. Именно в силу этого свойства вращающийся волчок не падает, а его ось описывает конус вокруг вертикали; это движение называется регулярной прецессией тяжелого твердого тела. Погрешность гироскопа измеряется скоростью ухода его оси от первоначального положения. При этом ось собственного вращения будет в точности совпадать с требуемым направлением инерциального пространства – направлением на неподвижную звезду. Как иногда говорят моряки, хороший гироскоп – это «звезда в бутылке». Не беда, что небо заволочло туманом или его скрывает многометровая толща воды, гироскоп, раскрученный в начале плавания, подобно путеводной звезде, будет указывать верный курс. Однако из-за трения о воздух гироскоп Фуко быстро тормозился, да и возмущающие

моменты в осях карданового подвеса были очень велики. Скорость дрейфа гироскопа Фуко превышала скорость вращения Земли, и при демонстрациях в учебных кабинетах он, к большой радости студентов, мог показать, что Земля вращается в противоположную сторону.

Область применения гироскопа

Впервые уравновешенный гироскоп нашел практическое (к сожалению, негуманное) применение в устройстве для стабилизации курса торпеды, изобретенном в 80-х гг. прошлого столетия инженером Обри. Гироскоп Обри устанавливался в кардановом подвесе так, чтобы его ось вращения была параллельна продольной оси торпеды. Ротор гироскопа приводился во вращение за несколько секунд до выстрела, когда ось торпеды была уже направлена на цель. При движении торпеды гироскоп продолжал сохранять исходное направление и при возникновении отклонений торпеды поворачивал ее рули таким образом, чтобы обеспечить неизменность курса. Аналогичные приборы в различных вариантах исполнения и под разными наименованиями в 20-х гг. нашего столетия стали использовать также на самолетах для указания курса (гироскопы направления, гирополукомпасы), а позднее для управления движением ракет. Гироскопы нашли применение при прокладке туннелей для метро и железнодорожного транспорта (наземные маркшейдерские гирокомпасы), при выяснении формы буровых скважин (инклинометры), а также в качестве компасов сухопутной артиллерии. Они используются при стабилизации стволов танковых орудий и в орудийных прицелах зенитной артиллерии.

В настоящее время гироскопические приборы и системы нашли широкое применение. Несмотря на различия в их принципах работы, конструкции и правилах использования, все гироскопические приборы можно подразделить на три группы: указатели, измерители и регуляторы.

К первой группе относятся приборы, в которых гироскоп используется для отыскания или только фиксирования определенного направления: истинного меридиана, истинной вертикали, произвольного направления (гирокомпасы, гировертикали, гироазимуты).

Ко второй группе относятся приборы, в которых гироскоп служит для измерения определенных величин, например угловой скорости или ускорения движущегося объекта (гиротаксометры, гироакселерометры и т.п.)

К третьей группе относятся приборы, в которых гироскопы управляют вспомогательными электродвигателями для стабилизации различных устройств по заданному направлению, например для стабилизации гироскопических платформ, приемных антенн различных устройств и т.п.

В кораблеводении широкое применение нашли указатели направлений, основным элементом которых является гироскоп, так называемые гироскопические указатели направлений.

Гироскопические указатели направлений делятся на два класса:

- гироскопы и гироскопы;
- гироскопы (гироскопы).

Гироскоп (гироскоп) называется гироскопический прибор, предназначенный для определения положения плоскости истинного горизонта (направления истинной вертикали) в точке наблюдателя на подвижном корабле.

Под истинной вертикалью понимается направление отвесной линии (силы тяжести) в неподвижной относительно Земли точке. Под истинным горизонтом понимается плоскость, перпендикулярная истинной вертикали.

При решении многих задач кораблевождения необходимо знать положение плоскости горизонта (вертикали места) в точке нахождения корабля в любое время суток, в любых условиях плавания.

Истинная вертикаль легко определяется с помощью простого отвеса (маятника, уровня). Однако на подвижном основании и, тем более, на качающемся корабле маятник не обладает необходимой устойчивостью и точностью. Под воздействием сил инерции он будет отклоняться от отвесной линии, а потребители нуждаются в высокоточной информации. Поэтому было предложено использовать для стабилизации показаний маятника гироскоп, создав такой чувствительный элемент, который реализует положительные свойства и маятника, и гироскопа, т.е. ЧЗ, способный определять положение вертикали места в любой точке земной поверхности и быть нечувствительным или малочувствительным к внешним воздействиям – силам инерции, возникающим при маневре корабля или на качке. Такой прибор получил название гироскоп или гироскоп.

Подобный прибор впервые был создан в 1888 г. в России. Это была гироскоп Лурье. Она представляла собой «тяжелый» гироскоп – гироскоп с тремя степенями свободы, центр тяжести которого смещен относительно точки подвеса по главной оси. Эта гироскоп была несовершенной, т.к. на нее оказывали большое влияние силы инерции, возникающие при маневрировании корабля и на качке.

В 1940 г. академик А.Ю. Ишлинский провел значительные исследования в теории построения и работы гироскопов и обосновал принципы работы гироскопов с косвенной коррекцией. Им была разработана теория гироскопов на шаровых вертикальных гироскопах.

Существенный вклад в дальнейшее развитие теории гироскопов также внесли советские ученые М.М. Богданович, П.Л. Ильин и др.

Гироскопы на корабле используются для выработки и трансляции в приборы и системы корабля углов бортовой и килевой качки для стабилизации этих устройств в плоскости истинного горизонта.

Гироазимутом называется гироскопический прибор, предназначенный для хранения заданного ему азимутального направления.

Это направление может быть любым. В навигации необходимо знать направления относительно плоскости меридиана.

Гироазимут не обладает направляющим моментом, поэтому гироскоп гироазимута не имеет устойчивого равновесного положения относительно горизонтной системы координат в азимуте, т.е. не может сам ориентироваться относительно плоскости меридиана. Это недостаток гироазимута.

Достоинством гироазимутов является то, что на него практически не действуют силы инерции, возникающие при маневре корабля. Это объясняется тем, что в нем применяется уравновешенный (астатический) трехстепенной гироскоп.

Это качество и способность длительное время удерживать заданное азимутальное направление обусловило использование гироазимутов в качестве курса указателей практически на всех судах.

Гирокомпас – это гироскопический прибор, предназначенный для определения направления истинного меридиана, выработки и трансляции курса корабля. Главная ось ЧЭ гирокомпаса указывает направление гироскопического или истинного меридиана и, будучи выведенной из этого направления, вновь возвращается в него под действием направляющего момента.

Практическому освоению гирокомпасов предшествовала разработка теории гироскопа. Наибольший вклад в науку в этом направлении внесли русские ученые Л. Эйлер, Д.И. Сомов, Д.К. Бобылев, С.В. Ковалевская, Н.Е. Жуковский, А.С. Домогаров, работы которых признаны классическими.

Первый гирокомпас сконструировал и построил в 1905 г. офицер русского флота лейтенант Коноконин. Он назвал его одногироскопным механическим компас-гироскопом. Схема этого гирокомпаса была далека от совершенства: прибор имел ряд существенных недостатков, затрудняющих его применение в навигации. Главным недостатком являлось то, что на качке в показаниях гирокомпаса присутствовала погрешность до 30° .

В 1908-1911 гг. в Германии доктор Аншюц и в США инженер Сперри предложили свои схемы гирокомпасов, которые также имели большую погрешность при качке.

В 1911 г. инженеры завода «Русское акционерное общество Муккерт и К» для устранения влияния качки корабля предложили применить в чувствительном элементе гирокомпаса два гироскопа. Они же предложили использовать жидкостный успокоитель для обеспечения прихода главной оси чувствительного элемента в плоскость гироскопического меридиана.

В 1913 г. фирма Аншюц пошла по этому пути и в 1920 г. в Германии был создан первый прототип семейства двухгироскопных

гироскопосов с непосредственным управлением – гироскопас «Аншюц».

В русском флоте гироскопасы впервые были установлены в 1915-1916 гг. на новых линейных кораблях и крейсерах.

В дальнейшем началось бурное развитие отечественного гироскопического приборостроения. Уже в 1929-1931 гг. на ленинградском заводе мореходных инструментов был создан первый советский гироскопас. Это был одногироскопный гироскопас с ртутными сосудами и торсионным (струнным) подвесом чувствительного элемента типа «ГУМ-1».

В 1937 г. на Московском заводе под руководством академика А.Н. Крылова и при участии профессора Б.И. Кудревича был создан более точный двухгироскопный гироскопас на жидкостном подвесе ЧЭ с твердотельным маятником – типа «Курс». В дальнейшем семейство гироскопасов типа «Курс» совершенствовалось и развивалось. Появились гироскопасы «Курс-2», «Курс-3», «Курс-4», «Курс-5», «Курс-7», «Курс-10».

Одновременно с гироскопасами типа «Курс» разрабатывались малогабаритные гироскопасы для катеров и малых кораблей типа «Гиря»: «Гиря», «Гиря-М», «Гиря-МК», а также гироскопасы с косвенным управлением, способные работать как в режиме гироскопаса, так и в режиме гироскопаса, типа ГКУ: «ГКУ», «ГКУ-1», «ГКУ-2», «ГКУ-1Т», «ГКУ-1М», «Вега» и др.

Сейчас нельзя представить ни одного корабля или судна, в состав штурманского вооружения которого не входил бы гироскопас.

Постоянно возрастающие требования к точностным и эксплуатационным характеристикам гироскопических приборов стимулировали ученых и инженеров многих стран мира не только к дальнейшим усовершенствованиям классических гироскопов с вращающимся ротором, но и к поискам принципиально новых идей, позволяющих решить проблему создания чувствительных датчиков для индикации и измерения угловых движений объекта в пространстве.

В настоящее время известно более ста различных явлений и физических принципов, которые позволяют решать гироскопические задачи. Выданы многие тысячи патентов и авторских свидетельств на соответствующие открытия и изобретения.

Гироскопы с воздушной опорой

В этих гироскопах разработчики заменили шариковые подшипники, используемые в традиционном кардановом подвесе, газовой подушкой, что полностью устранило влияние износа материала опор во время работы и позволило почти неограниченно увеличить время службы прибора. Жесткость аэродинамического подвеса не меньше, чем обычных шарикоподшипников. К недостаткам газовых опор следует отнести довольно большие потери энергии и возможность внезапного отказа при случайном контакте поверхностей опоры между собой.

Поплавковые гироскопы

Поплавковый гироскоп (ПГ) представляет собой классический роторный гироскоп, в котором для разгрузки подшипников подвеса все подвижные элементы взвешены в жидкости с большим удельным весом так, чтобы вес ротора вместе с кожухом уравновешивался гидростатическими силами. Благодаря этому снижается сухое трение в осях подвеса и увеличивается ударная и вибрационная стойкость прибора. Герметичный кожух, выполняющий роль внутренней рамки карданового подвеса, называется поплавком. Конструкция поплавка должна быть максимально симметричной. Ротор гироскопа внутри поплавка вращается на воздушной подушке в аэродинамических подшипниках со скоростью порядка 30-60 тыс. об/мин. ПГ с большим вязким трением жидкости называется также интегрирующим гироскопом.

ПГ до настоящего времени остается одним из наиболее распространенных типов гироскопов и, безусловно, будет широко применяться в ближайшие годы, так как основывается на хорошо отработанных технологиях, мощной производственной базе.

Динамически настраиваемые гироскопы

Динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ) принадлежат к классу гироскопов с упругим подвесом ротора, в которых свобода угловых движений оси собственного вращения обеспечивается за счет упругой податливости конструктивных элементов (например, торсионов). В ДНГ в отличие от классического гироскопа используется так называемый внутренний карданов подвес, образованный внутренним кольцом, которое изнутри крепится торсионами к валу электродвигателя, а снаружи – торсионами к ротору. Момент трения в подвесе проявляется только в результате внутреннего трения в материале упругих торсионов. В динамически настраиваемых гироскопах за счет подбора моментов инерции рамок подвеса и угловой скорости вращения ротора осуществляется компенсация упругих моментов подвеса, приложенных к ротору.

К достоинствам ДНГ следует отнести их миниатюрность, высокую стабильность показаний, относительно невысокую стоимость.

Кольцевые лазерные гироскопы

Кольцевой лазерный гироскоп (КЛГ), называемый также квантовым гироскопом, создан на основе лазера с кольцевым резонатором, в котором по замкнутому оптическому контуру одновременно распространяются встречные электромагнитные волны. Длины этих волн определяются условиями генерации, согласно которым на длине периметра резонатора должно уложиться целое число волн, поэтому на неподвижном основании частоты этих волн совпадают. При вращении резонатора лазерного гироскопа путь, проходимый лучами по контуру, становится разным и частоты встречных волн становятся неодинаковыми. Волновые фронты лучей интерферируют друг с другом, создавая интерференционные полосы. Вращение резонатора лазерного гироскопа приводит к тому, что интерференционные полосы

начинают перемещаться со скоростью, пропорциональной скорости вращения гироскопа. Интегрирование по времени выходного сигнала лазерного гироскопа, пропорционального угловой скорости, позволяет определить угол поворота объекта, на котором установлен гироскоп.

К достоинствам лазерных гироскопов следует отнести прежде всего отсутствие вращающегося ротора, подшипников, подверженных действию сил трения. В настоящее время серийно выпускаются лазерные гироскопы, имеющие точность на уровне $2 \cdot 10^{-3}$ - $5 \cdot 10^{-1}$ °/ч.

Волоконно-оптические гироскопы

Значительные достижения в области разработки и промышленного выпуска световодов с минимальным значением погонного затухания и интегральных оптических компонентов привели к началу работ над волоконно-оптическим гироскопом (ВОГ), представляющим собой волоконно-оптический интерферометр, в котором распространяются встречные электромагнитные волны. Наиболее распространенный вариант ВОГ – многовитковая катушка оптического волокна. Достигнутые в лабораторных образцах точности ВОГ приближаются к точности КЛГ. ВОГ из-за простоты конструкции является одним из наиболее дешевых среднеточных гироскопов, и можно ожидать, что он вытеснит КЛГ в диапазоне точностей 10^{-2} °/ч и ниже.

Волновые твердотельные гироскопы (ВТГ)

В основе функционирования волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) лежит физический принцип, заключающийся в инертных свойствах упругих волн в твердом теле. Упругая волна может распространяться в сплошной среде как жесткое тело, не изменяя своей конфигурации. Такая частицеподобная волна называется солитоном и рассматривается как модельное воплощение корпускулярно-волнового дуализма: с одной стороны, это волна, с другой – неизменность конфигурации приводит к аналогии с частицей. Однако эта аналогия в некоторых явлениях простирается и дальше. Так, если возбудить стоячие волны упругих колебаний в ассиметричном резонаторе, то вращение основания, на котором установлен резонатор, вызывает поворот стоячей волны на меньший, но известный угол. Соответствующее движение волны как целого называется прецессией. Скорости прецессии стоячей волны пропорциональна проекция угловой скорости вращения основания на ось симметрии резонатора.

Резонатор ВТГ представляет собой тонкую упругую оболочку вращения, сделанную из плавленного кварца, сапфира или другого материала, обладающего малым коэффициентом потерь при колебаниях. Обычно форма оболочки – полусфера с отверстием в полюсе, поэтому ВТГ называется в литературе полусферическим резонаторным гироскопом. Один край резонатора (у полюса) жестко прикреплен к основанию (ножке). Другой край, называемый рабочим, свободен. На внешнюю и внутреннюю поверхности резонатора, около рабочего края, напыляются металлические электроды, которые образуют вместе с такими же электродами, нанесенными на

окружающий резонатор кожух, конденсаторы. Часть конденсаторов служит для силового воздействия на резонатор. Вместе с соответствующими электронными схемами они образуют систему возбуждения колебаний и поддержания их постоянной амплитуды. С ее помощью в резонаторе устанавливают так называемую вторую форму колебаний, у которой стоячая волна имеет четыре пучности через каждые 90° . Вторая группа конденсаторов служит датчиками положения пучностей на резонаторе. Соответствующая (весьма сложная) обработка сигналов этих датчиков позволяет получать информацию о вращательном движении основания резонатора.

К достоинствам ВТГ относятся высокое отношение точность и цена, способность переносить большие перегрузки, компактность и небольшой вес, низкая энергоемкость, малое время готовности, слабая зависимость от температуры окружающей среды.

Вибрационные гироскопы

Вибрационные гироскопы основаны на свойстве камертона, заключающегося в стремлении сохранить плоскость колебаний своих ножек. Теория и эксперимент показывают, что в ножке колеблющегося камертона, установленного на платформе, вращающейся вокруг оси симметрии камертона, возникает периодический момент сил, частота которого равна частоте колебания ножек, а амплитуда пропорциональна угловой скорости вращения платформы. Поэтому, измеряя амплитуду угла закрутки ножки камертона, можно судить об угловой скорости платформы. Патент на вибрационный гироскоп принадлежит некоторым видам двукрылых насекомых, обладающих парой стержнеобразных придатков, называемых жужжальцами, которые вибрируют в полете с размахом до 75° и частотой около 500 Гц. При повороте туловища возникают колебания жужжалец в другой плоскости. Эти колебания воспринимаются особыми чувствительными клетками, расположенными в основании жужжалец и подающими команду на выравнивание корпуса насекомого. Система похожа на автопилот, в датчиках которого вращательное движение заменено на колебательное как на более естественное и экономичное для биологических систем.

Первые разработчики вибрационных гироскопов предрекали близкую смерть классическим гироскопам с вращающимся ротором. Однако более глубокий анализ показал, что вибрационные гироскопы отказываются работать в условиях вибрации, которая практически всегда сопровождает места установки приборов на движущихся объектах. Непреодолимой оказалась и проблема нестабильности показаний из-за сложностей высокоточного измерения амплитуды колебаний ножек. Поэтому идея чистого камертонного гироскопа так и не была доведена до прецизионного прибора, однако она стимулировала целое направление поисков новых типов гироскопов, использующих либо пьезоэлектрический эффект, либо вибрацию жидкостей или газов в хитро изогнутых трубках и т.п.

Микромеханические гироскопы

Микромеханические гироскопы (ММГ) – это одноосные гироскопы вибрационного типа, изготавливаемые на базе современных кремниевых технологий. ММГ представляет собой своеобразный электронный чип с кварцевой подложкой площадью в несколько квадратных миллиметров, на которую методом фотолитографии наносится плоский вибратор типа описанного выше камертона.

Точность полученных к настоящему времени ММГ находится на уровне 10^{-2} °/ч, но ожидается, что ее можно будет повысить на порядок и приблизить к точности гироскопа Фуко. Решающее значение имеет исключительно низкая стоимость микромеханических чувствительных элементов. Это открывает возможность их использования в совершенно новых областях: автомобили и бинокли, телескопы и видеокамеры, «мыши» и «джойстики» персональных компьютеров, мобильные робототехнические устройства и даже детские игрушки. Конечно, ММГ можно использовать и при совершенствовании военной техники (прицелы, «думающие» бомбы, тактическое оружие), но не эти приложения являются определяющими в экономическом плане. Имеются прогнозы, по которым производство ММГ может достигнуть ста миллионов в год при общей стоимости 4,5 млрд долл.

В настоящее время разработка первого поколения ММГ уже завершена, решаются задачи их интеграции в инерциальные измерительные модули совместно с электроникой и вычислительной техникой. Первые инерциальные модули уже появились в лабораториях.

Неконтактные гироскопы

В отличие от ММГ неконтактные гироскопы находятся на другом полюсе среди гироскопических чувствительных элементов, так как с их помощью удалось достичь сверхвысоких точностей 10^{-6} - 10^{-4} °/ч и имеют большие резервы дальнейшего повышения точности.

Разработка гироскопов с неконтактными подвесами началась с середины XX в. В неконтактных подвесах реализуется состояние левитации, т.е. состояние, при котором ротор гироскопа парит в силовом поле подвеса без какого-либо механического контакта с окружающими телами. Среди гироскопов с неконтактными подвесами можно выделить гироскопы с электростатическим и магнитным подвесами ротора.

В электростатическом гироскопе (ЭСГ) проводящий сферический ротор подвешен в вакуумированной полости в регулируемом электрическом поле, создаваемой системой электродов. Если поверхность ротора – идеальная сфера, то силы электрического поля, действующие по нормали к проводящей поверхности ротора, не могут создать момента относительно его центра и возникает возможность создания идеального гироскопа. Ротором электростатического гироскопа может служить бериллиевый шар диаметром 1 см, раскрученный до скорости порядка 180 тыс. об/мин. Для такого подвеса характерно практически полное отсутствие

трения (при вакууме в подвесе 10^{-8} мм рт.ст. постоянная времени выбега ротора за счет остатков газа имеет величину порядка 100 лет). Ничтожно малые величины возмущающих моментов сил, действующих на левитирующий в вакууме ротор, обеспечивают неограниченно долгое и надежное сохранение направления оси вращения гироскопа в пространстве.

Гироскопы с магниторезонансным подвесом ротора (МСГ) являются в определенной степени аналогами гироскопов с электростатическим подвесом ротора, в которых электрическое поле заменено магнитным, а бериллиевый ротор – ферритовым. Несмотря на более чем тридцатилетнюю историю разработок МСГ, он так и не стал объектом серийного производства. Причина заключается в том, что в конкуренции за достижение сверхвысоких точностей выявилось решающее преимущество ЭСГ из-за существенно меньших возмущающих моментов, возникающих при взаимодействии бериллиевого ротора с электрическим полем, чем ферритового с магнитным. Разумеется, достижение точности гироскопа в 10^{-4} - 10^{-5} $^{\circ}/ч$ – задача чрезвычайной сложности.

Современные гироскопы с неконтактными подвесами – это сложнейшие приборы, которые вобрали в себя новейшие достижения техники. Только три страны в мире в настоящее время способны производить электростатические гироскопы. Кроме США и Франции в их число входит и Россия. Опыт эксплуатации на морских объектах электростатических гироскопов, созданных в Санкт-Петербурге в ЦНИИ «Электроприбор», подтвердил высокую точность и достаточную надежность корабельных инерциальных навигационных систем на электростатических гироскопах. Кроме перечисленных выше типов гироскопов проводились и проводятся работы над экзотическими типами гироскопов, такими, как ионные, ядерные и т.п. Однако изложенного материала достаточно для формулирования выводов о тенденциях развития гироскопов в настоящее время.

Сегодня созданы настолько точные гироскопические системы, что дальнейшего повышения точностей многим потребителям уже не требуется, а сокращение средств, выделяемых для военно-промышленного комплекса в бюджетах ведущих мировых стран, резко повысило интерес к массовым гражданским применениям гироскопической техники, которые были ранее на периферии внимания разработчиков. Наконец, выдающийся прогресс в области высокоточной спутниковой навигации GPS сделал проблематичным автономные средства навигации в тех случаях, когда сигнал со спутника может приниматься непрерывно. Не случайно на одном из симпозиумов крупнейших ученых-гироскопистов был затронут вопрос о «драматическом развитии гироскопической техники». Дело в том, что разрабатываемая сейчас система навигационных спутников третьего поколения позволит определять координаты объектов на поверхности Земли с точностью до единиц сантиметров. При этом отпадает

необходимость в использовании даже курсовых гироскопов, ибо сравнение показаний двух приемников спутниковых сигналов, установленных на расстоянии в несколько метров, например на крыльях самолета, позволяет получить информацию о повороте самолета вокруг вертикальной оси. Такая система может оставить не у дел десятки тысяч работников предприятий, выпускающих гироскопы для самолетов и морских кораблей.

В силу перечисленных обстоятельств эволюционное развитие гироскопической техники последних десятилетий подошло к рубежу крупных изменений, и именно поэтому внимание специалистов в области гироскопии сейчас сосредоточилось на поиске нетрадиционных областей применения приборов. Неожиданно открылись совершенно новые интересные задачи. Это и разведка полезных ископаемых, и предсказание землетрясений, и сверхточное измерение положений железнодорожных путей и нефтепроводов, медицинская техника и многое другое, где нас ждут новые результаты и, быть может, новые открытия.

Библиографический список

1. *Мартыненко Ю.Г.* Тенденции развития современной гироскопии // Соросовский образовательный журнал. 1997.
2. *Мартыненко Ю.Г.* О проблемах левитации тел в силовых полях // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 3. С. 82-86.
3. *Ишлинский А.Ю., Борзов В.И., Степаненко Н.П.* Лекции по теории гироскопов. М.: Изд-во МГУ, 1983. 248 с.