

Гироскопическое оборудование — прошлое и настоящее

Авторы

Валентин Ковтун, ДП «Укргеодезмарк»

Вильгельм Хегер, GMT HEGER

Игорь Тревога, НУ «Львівська політехніка»

Лина Чаплинская, UKRNVP group

Гироскоп, название которого можно перевести как «наблюдатель вращений», был предложен в 1852 году французским ученым Леоном Фуко для изобретенного им прибора, предназначенного для демонстрации вращения Земли вокруг своей оси. Фуко поместил вращающийся маховик в некое устройство, называемое кардановым подвесом, поэтому долгое время слово «гироскоп» использовалось для обозначения быстро закрученного вращающегося симметричного твердого тела.

Развитие гироскопической техники привело к тому, что так стали называть очень широкий класс приборов, и сейчас термин «гироскоп» используется для обозначения устройств, содержащих материальный объект, который совершает быстрые периодические вращения.

В наше время ни одни геодезическо-маркшейдерские работы, ни один подвижный объект, будь это рыболовецкое судно или сложный космический корабль, не обходится без гироскопических приборов.

Основные области их применения — судоходство, авиация и космонавтика. Почти каждое морское судно дальнего плавания снабжено гироскопом для ручного или автоматического управления судном, некоторые оборудованы гиросtabilизаторами. В системах управления огнем корабельной артиллерии много дополнительных гироскопов, обеспечивающих стабильную систему отсчета или измеряющих угловые скорости. Без гироскопов невозможно автоматическое управление торпедами. Самолеты и вертолеты оборудуются гироскопическими приборами, которые обеспечивают получение надежной информации для систем стабилизации и навигации. К ним относятся авиагоризонт, гировертикаль, гироскопический указатель крена и поворота. Гироскопы могут быть как указывающими приборами, так и датчиками автопилота. На многих самолетах предусматриваются гиросtabilизированные магнитные компасы и другое оборудование: навигационные визиры, фотоаппараты с гироскопом, гиросекстанты. В военной авиации гироскопы применяются также в прицелах воздушной стрельбы и бомбометания.

Помимо военно-воздушных и военно-морских сил, в армии гироскопы применяются в артиллерии и ракетных войсках.

А еще гироскопы служат для определения азимута ориентируемого направления и широко используются при проведении маркшейдерских, геодезических, топографических, горных работ, для ориентирования тоннелей, шахт, топографической привязки. Основ-



Гироскоп Фуко (1852)

ной вид гироскопа в этой области — гиротеодолит, использующий принцип компаса Фуко.

Гиротеодолиты обладают высокой точностью — погрешности при измерениях составляют от единиц угловых минут до нескольких единиц угловых секунд. Даже в наши дни, когда GPS-оборудование вытесняет оптические геодезические приборы, без гиротеодолитов не обойтись. Ведь под землей глобальные навигационные системы не работают. Чтобы объяснить важность использования гироскопического ориентирования, стоит только упомянуть о том, что Евротоннель между Францией и Великобританией было бы невозможно построить без использования гироскопа.

История гироскопического ориентирования «до нашей эры»

История гироскопического метода ориентирования, который очень молод по сравнению с другими, уходит корнями в XIX век, когда у мореплавателей

все чаще и чаще возникала потребность в более точном ориентировании во время пути.

До изобретения гироскопа человечество использовало различные методы определения направления в пространстве. Издавна люди ориентировались визуально по удалённым предметам, по Солнцу, звездам. В средние века в Китае был изобретён компас, использующий магнитное поле Земли. В Европе были созданы астролыбия и другие приборы, основанные на определении местоположения относительно положения звёзд.

В 1852 г. Фуко описал новый прибор и назвал его гироскопом. Этот прибор давал возможность воспроизвести инерциальную систему координат и определить направление оси вращения Земли.

Мореплаватели не всегда могли полностью доверять корабельным компасам. Например, были известны случаи, когда в корабль попадала молния и оба компаса на судне оказывались «перемагнитченными». На показания компаса влияли магнитные аномалии и просто обычные металлические предметы, случайно оказавшиеся вблизи него.

Неожиданное решение предложил сам Фуко. Он доказал: если трехстепенный гироскоп лишить одной степени свободы, а оставшуюся свободной ось карданова кольца установить вертикально, то ось вращения маховика сама придет в плоскость меридиана. Произойдет это потому, что именно в плоскости меридиана лежит горизонтальная составляющая скорости вращения Земли.

Итак, если магнитный компас использует для своей работы магнитное поле Земли, то гироскопический компас использует эффект вращения Земли.

Но когда прибор был установлен на палубе корабля, обнаружилось странное явление: ось перестала приходить в устойчивое положение, она совершала непрерывные хаотичные колебания в горизонтальной плоскости. Это происходило из-за качки судна.

Относительно хорошо переносил качку гироскоп с тремя степенями свободы, сохраняя неизменное направление оси вращения маховика в абсолютном пространстве, — это было известно многим ученым и инженерам. Но как «привязать» ось вращения маховика к плоскости земного меридиана, было неясно.

Счастливая мысль — специально вызвать прецессию оси вращения маховика, заставив ее прийти в плоскость меридиана, а затем, оставаясь в этой плоскости, вращаться вместе с ней в абсолютном пространстве — впервые пришла в голову голландскому священнику (!) Максиму Геррарду Ван ден Босу. В 1886 г. он получил патент по заявке, озаглавленной «Новый корабельный компас»¹.

Предложение Ван ден Боса было предельно просто. В трехстепенном гироскопе Фуко центр масс совпадал с точкой пересечения осей карданова подвеса и оси собственного вращения маховика. Ван ден Бос предложил опустить центр масс гироскопа несколько

ниже оси внутреннего кольца карданова подвеса. Это и стало решением проблемы.

Постепенно усилиями многих ученых, инженеров и технологов гироскопические приборы были значительно усовершенствованы.

Во второй половине XIX века было предложено использовать электродвигатель для разгона и поддержания движения гироскопа.

Гироскоп был применён в 1880-х годах инженером Обри для стабилизации курса торпеды. В XX веке гироскопы стали использоваться в самолётах, ракетах и на подводных лодках вместо компаса или совместно с ним.

Первый этап: с корабля в шахту

Чтобы создать гироскопы современного типа, понадобилось не одно десятилетие. В XX веке потребность в точных измерениях все больше возрастала. Развивались не только армия и флот, но и угодобыча, горнорудная промышленность, транспорт, строились шахты, тоннели. Были предприняты попытки разработать гироскопический компас, который смог бы удовлетворить потребности маркшейдерского производства для обеспечения точности подземных сбоек.

Как и в любой отрасли, изобретатели потерпели множество неудач, прежде чем создали надежный и удобный прибор. Сразу же сконструировать идеальный гироскоп, конечно же, не получилось. Кроме того, проблема исторического развития гироскопического оборудования состоит в том, что изначально при создании гироскопов преследовались другие цели. Это были приборы прежде всего для флота и для армии (преимущественно артиллерии). Но благодаря морякам геодезисты получили гироскопический компас и гиросекстант, а благодаря артиллеристам — гироскопический компас.

После создания в 1919-1921 гг. немецким учёным-механиком Максимилианом Шулером, сотрудником фирмы «Аншютц» (*Anschutz*), первого наземного гироскопа и усовершенствования его в 1924-1925 гг. исследования в этой области были приостановлены, так как не дали положительных результатов.

В то же время в СССР в 30-х годах также проводились исследования по созданию гироскопов, а в 1936 году в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО) на факультете точной механики были открыты две новые кафедры: навигационных приборов и счетно-решающих приборов. Были разработаны опытные образцы гироскопического компаса и гироскопического секстанта, но они оказались абсолютно неприменимы в геодезии и маркшейдерии.

И лишь после Второй мировой войны обе страны — СССР и теперь уже ФРГ — вернулись к идее создания «наземного» гироскопа. В СССР все работы были сосредоточены во Всесоюзном научно-исследовательском маркшейдерском институте (ВНИМИ) под руководством П.Л. Ильина, а в ФРГ аналогичные работы проводились в Кляустиальской горной академии под руководством профессора О.Релленсмана.

¹<http://studentps.narod.ru/gkhistory.html>
«Компас без магнетизма»

Наконец в 1950 г. был выпущен советский маркшейдерский гироскоп М-1. Приблизительно в это же время в ФРГ независимо сконструировали похожий прибор — показатель меридиана MW1 (Meridian Weiser). Создание первых маркшейдерских гироскопов положило начало практического использования в геодезии и в маркшейдерском деле метода гироскопического ориентирования.

Это был большой прорыв не только в теории, но и в практике. Ведь с помощью М-1 было произведено более пятидесяти ориентирований шахт в Донбассе, Кривом Роге и Кузбассе. Ученые и инженеры начали работать с удвоенным энтузиазмом и на протяжении нескольких лет инженеры обеих стран разработали и усовершенствовали несколько моделей (М-3 и МУГ-2, W2B), которые в дальнейшем использовались на практике. С их помощью обнаружили отклонения в ориентировании некоторых шахт.

На этом закончился первый этап создания гироскопических приборов. И хотя они имели ряд недостатков — громоздкость, огромную массу (около 500-600 кг), большие энергозатраты, но окончательно утвердили веру в гироскопический метод как в надежный метод геодезических и маркшейдерских работ.

**Второй этап развития:
портативность и мобильность**

Новая эра в гироскопическом ориентировании ознаменовалась созданием советскими учёными в 1956 г. гироскопаса нового типа МГ (малый горный), вес которого составлял всего лишь 10 кг. Этот гироскопас как раз и послужил базисом для разработки современных малогабаритных гироскопических устройств. Промежуточная цель — разработать портативный и транспортабельный прибор — была достигнута. Такой «лёгкий» гироскопас позволял проводить измерения в недоступных ранее условиях.

В 1957 г. завершились работы по конструированию первой модели прибора во взрывобезопасном исполнении — маркшейдерского гироскопаса МВ1 (потом — МВ2). По аналогичной схеме был создан переносной маркшейдерский гироскопас во взрывобезопасном исполнении МВ2М с полупроводниковым преобразователем.

В ФРГ, в отличие от СССР, в этот период был разработан гироскопас с торсионным подвесом ЧЭ. Эта конструкция оказалась очень удачной, так как обеспечивала высокую точность и продуктивность измерения гироскопического азимута при малом весе, габаритах и затратах энергии.

В 1957 г. завершилась разработка модели маркшейдерского гироскопаса с торсионным подвесом MW4. В 1958 г. фирмой *Fennel* выпущен торсионный гиротеодолит КТ-1 (*Kreiseltheodolit*), а в дальнейшем — усовершенствованные модели КТ-2, MW10, MW7, MW50, MW77 и гиронасадки ТК-4, ТК-5.

С началом 60-х гг. в СССР тоже принялись за конструирование торсионного гироскопаса, который был выпущен в 1963 г. под маркой МТ1. А в 1967 г.



Гироскопас на корабле британских ВМС. 80-е годы

закончились работы над малогабаритным компасом МВТ2, представляющим собой первый образец взрывобезопасного маркшейдерского гироскопаса с торсионным подвесом чувствительного элемента. Обе модели способствовали достижению более высокой точности измерения гироазимуты, а МВТ2 стал самым массовым маркшейдерским гироскопасом на протяжении более двадцати лет.

МВТ2 был прибором с автоматической системой слежения за положением точек риверсии, предназначенным для автономного определения азимута направления с погрешностью 30". При этом время, необходимое для одного определения азимута при четырех точках риверсии, составляло 20-30 минут.

В дальнейшем конструкторы работали над усовершенствованием переносных гироскопасов с торсионным подвесом: в 1970 г. был создан гироскопас МТВ4, а в 1975 г. — гиробуссоль, в которых все необходимые для работы компоненты (гироблок, измерительный блок и блок питания) были объединены в один блок.

**Третий этап развития: гиротеодолиты —
значительное усовершенствование**

В Советском Союзе и странах СЭВ потребность в гироскопическом оборудовании возрастала: строились новые шахты, метро в Москве, Ленинграде,

Киеве, Минске, железнодорожные тоннели, крупные гидроузлы. В этих приборах также нуждались ракетные войска и артиллерия. Мировой рынок геодезического и маркшейдерского оборудования тоже стремительно расширялся.

В 1959 г. на базе маркшейдерского гироскопа МГ в СССР был создан первый образец действующего наземного артиллерийского гироскопа (под шифром АГ) и первая модель геодезического гироскопа (гиротеодолит ГТ-1, позже — ГТ-2).

Вскоре к разработкам гиротеодолитов приступили специалисты из Венгрии, которые в 60-х годах создали гиротеодолит Gi-B1, гироскопы Gi-C1, Gi-C2 и гироскоп Gi-B2. На базе последнего венгерские инженеры сконструировали гиротеодолит Gi-B21, имеющий автоматическую фиксацию и высвечивающий на световом табло результаты измерений, а в 1978 г. — гиротеодолит Gi-B2M, затем Gi-B3. Выпуском приборов занимался Венгерский оптико-механический комбинат (МОМ).

Прибор Gi-B2M состоял из трех основных узлов: угломерной части, гироскопа и блока электропитания. Угломерная часть — модернизированный теодолит Те-В1 со встроенной автоклиматической системой — был предназначен для измерения углов и наблюдения точек риверсии гармонических колебаний чувствительного элемента. Датчиком направления меридиана являлся маятниковый гироскоп с торсионным подвесом чувствительного элемента.

Интересно, что 1975 г. канадская фирма «Джимо» усовершенствовала приборы МОМ, автоматизировав снятие информации на Gi-B1, используя при этом временной способ определения положения колебаний чувствительного элемента.

Выпуск гиротеодолитов освоили также в ГДР, где в 1963 г. Народным предприятием точной механики совместно с Фрайбергской горной академией был сконструирован маркшейдерский гироскоп, названный Гироскопическим указателем меридиана MRK1. В дальнейшем предприятие выпустило усовершенствованную модель — указатель меридиана MRK2.

В ФРГ в это время занимались разработкой артиллерийского компаса, модель которого «Girolit II» была создана фирмой «Аншютц» (*Anschutz*) и использовалась в армиях западноевропейских стран. Фирма «Бодензееверк» (*Bodenseewerk*) сконструировала в 1973 г. быстродействующий маятниковый указатель меридиана МК-10 (*Meridiankreisel* — «меридианоуказатель»). Направление на север определялось по электрическому сигналу, вырабатываемому датчиком моментов и пропорциональному отклонению оси гироскопа от плоскости меридиана.

Фирма «Тельдикс» 1974 г. сконструировала автоматический гироскоп NSK (*North Suchen Kreisel* — «искатель севера»). Сейчас этот принцип применяется в гироскопах SOKKIA). В качестве датчика направления плоскости меридиана был использован двухстепенный гироскоп в газостатическом подвесе.



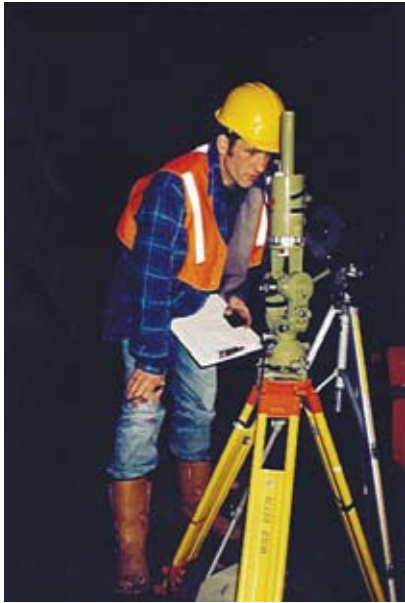
Маркшейдер производит ориентирование тоннеля в Альпах с помощью GYROMAT-2000. 90-е годы

В США созданием теодолитов занималась фирма «Лир-Сиглер». Её инженерами было сконструировано несколько моделей для армии США, из которых в серийное производство вышел лёгкий геодезический гиротеодолит «Алинэ» с точностью $\pm 25''$. Начинается разработка гиротеодолита с точностью $\pm 5''$ и прибора, объединяющего искатель меридиана и лазерный дальномер.

В Швейцарии изготовлением гироскопической насадки GAK1 и гироскопов ARK1 и ARC2 в 60-х занималась фирма *Wild (Wild Heerbrugg* — прародитель *Leica Geosystems*).



Артиллеристы армии США используют GPS, но пока не планируют полностью отказаться от гироскопов



Современная эра гироскопического оборудования

В дальнейшем возникла потребность в совершенствовании и развитии высокоточных цифровых гироскопов, не требующих регулярного определения приборной поправки, с одной стороны, и разработке гироскопов технической точности, небольших размеров, отличающихся простотой изготовления и эксплуатации, с другой.

С этого момента начинается использование современной элементной базы: синхронного гистерезисного гироскопа с торцевой зеркальной поверхностью, микропроцессора для обработки измерительной информации, цифрового угломера и др. К новым приборам предъявляются и повышенные требования: высокая точность, минимум затрат времени на измерения, простота и удобство в обслуживании.

Впрочем, с внедрением во все сферы деятельности спутниковой системы определения координат на земной поверхности (GPS) от гироскопических разработок сразу же отказались военные, оценив простоту GPS. Это повлекло за собой остановку разработок и в гражданской сфере. Популярность гироскопического ориентирования упала, гироскопы перестали использоваться для наземных работ, а соответственно — и выпускать.

Но для проведения маркшейдерских работ гироскопический метод ориентирования остался основным и надёжным способом, обеспечивающим точность в подземных условиях. Поэтому в наше время при разработке гироскопических приборов учитываются прежде всего требования маркшейдерских служб. Гироскопы технической точности со средней квадратической ошибкой (СКО) определения азимута стороны 2-3' применяются в сложных горно-геологических условиях, в том числе при ориентировании шахтных выработок. С помощью гироскопов с СКО определения азимута 3-10" была осуществлена сбойка 50-километрового Евротоннеля под проливом Ла-

Манш, соединившего Англию с Францией.

История развития гироскопического оборудования постепенно эволюционировала к своей основной цели — созданию таких гироскопических приборов, которые обеспечивали бы надёжность и точность в сложных подземных условиях при проведении маркшейдерских работ.

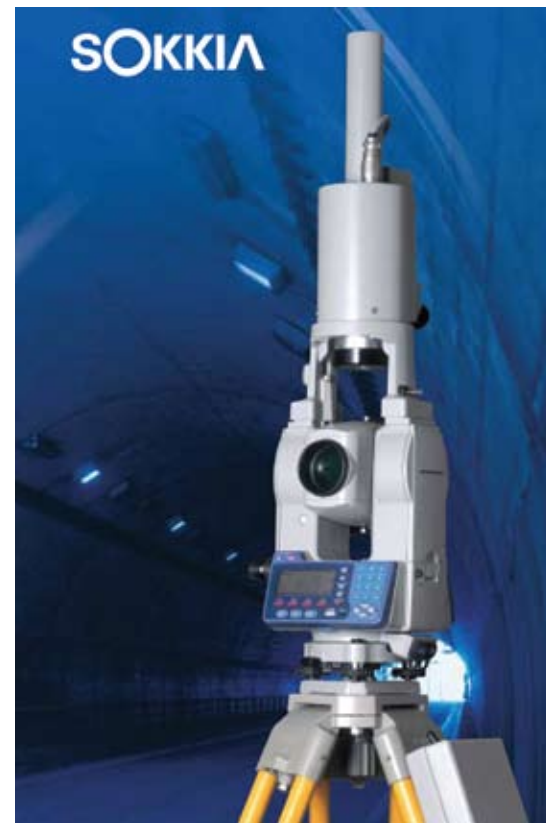
Сегодня основными производителями гироскопических приборов являются Германия и Япония. В Японии фирма SOKKIA выпускает гироскопы типа GP1, принцип действия которых основан на свойстве подвешенного гироскопа совершать колебания относительно земного меридиана («истинного направления на север»), которые вызываются вращением Земли. Этот принцип называется *North Seeking Gyroscope*. Определение направления на север производится с СКО = ±20" на широтах до 75°. Масса гироскопа, которая устанавливается сверху на электронный теодолит или тахеометр, составляет всего 3,8 кг.

Немецкая фирма DMT, занимающаяся производством ги-

В конце 80-х годов XX в. ВНИИ выполнены разработки маркшейдерских гироскопов «Меридиан-1» и МВЦ4, базировавшихся на синхронном гистерезисном гироскопе (ГМ) с перевозбуждением, который является наиболее экономичным по энергопотреблению из всех ранее применявшихся (это позволило исключить приборную поправку гироскопа и существенно повысило производительность работ по гироскопическому ориентированию).

Первым отечественным взрывобезопасным гироскопом, в котором автоматизирован процесс определения гироскопического азимута ориентируемой стороны, стал маркшейдерский гироскоп МВЦ4. Вычисление гироскопического азимута в устройстве производилось автоматически по сигналам от цифрового датчика угла в течение одного периода прецессионных колебаний, а результат выводился на цифровое табло. Но гироскопы МВЦ4 и «Меридиан-1» не выпускались серийно.

Также необходимо отметить разработки украинских ученых Киевского завода «Арсенал» — автоматизированные высокоточные гироскопы серии GT и UGT, которые применялись для определения астрономических азимутов ориентированных направлений в геодезии, строительстве, а также в вооруженных силах.





Новый GYROMAT-3000

роприборов, известна созданием GYROMAT-2000 — «золотого стандарта» для геодезическо-маркшейдерских измерений при сбойке тоннелей. С момента выхода на рынок и по сей день инженеры всего мира называют GYROMAT-2000 самым лучшим гироскопом, полностью автоматизированным и обладающим превосходными характеристиками. С помощью этой системы были выполнены уникальные проходки тоннеля под Ла-Маншем. Ни один созданный до этого гироскоп не обеспечивал такой точности и скорости измерений. Можно смело заявить, что без GYROMAT-2000 не существовало бы и Евротоннеля.

Единственный недостаток этой системы — ее цена. Стоимость такой системы в пять раз превышает стоимость GYROMAX AK-2M фирмы GMT, о которой пойдет речь ниже, и не всегда оправдывает затраты. Особенно это актуально в украинских условиях, где большинство предприятий, занимающихся геодезическими работами, не смогут приобрести столь дорогостоящее оборудование. И даже если чудо всё-таки свершится, при нынешнем объеме заказов вложения в систему будут очень долго окупаться, если окупятся вообще. Хотя во многих странах Европы, Азии и даже Африки есть по несколько приборов GYROMAT.

Недавно фирма DMT выпустила оборудование нового поколения — GYROMAT-3000 — усовершенствованный вариант системы на основе гиротеодолита, позволяющий проводить геодезические работы с наиболее высокой точностью и быстротой. GYROMAT-3000, как и GYROMAT-2000, используется для работ при строительстве крупных тоннелей. Этот прибор

уже востребован крупнейшими горными и тоннелестроительными компаниями.

Немецкая фирма GMT (*GeoMessTechnik*), руководимая профессором Вильгельмом Хегером (Wilhelm Heger), создала известную технологию GYROMAX. GYROMAX AK-2M — гироскопическая насадка, которая работает на базе электронных тахеометров



Технические характеристики GYROMAX AK-2M

Точность	20"
Длительность измерения	пуск 15 минут
Питание	24 V
Вес	гиронасадка — 3,6 кг батарея — 5,5 кг
Размеры	540x340x230 мм (в кейсе для транспортировки)



ведущих мировых производителей геодезического оборудования — *Leica, Topcon, Trimble, Zeiss* и других.

Технические характеристики, приведенные в таблице, позволяют говорить о *GYROMAX AK-2M* как о приборе с высокой точностью измерений, необходимой при работе в подземных условиях. Длительность измерения, составляющая 15 минут, позволяет быстро проводить гироскопическое ориентирование, получая при этом качественный результат. Благодаря небольшому весу и размерам гиронасадка удобна как при транспортировании, так и при перемещении

во время работы в тоннелях. Минимальные затраты энергии также способствуют использованию гиронасадки *GYROMAX AK-2M* даже в самых сложных условиях.

При этом гиронасадка *GYROMAX AK-2M* ещё и очень проста в использовании.

Тоннелестроительные работы требуют точности в измерении азимута, ведь сооружение тоннелей часто ведётся на отдельных, не связанных между собой участках. С применением насадки *GYROMAX* стало возможным выполнять работы без риска нестыковки тоннелей и остановки горнопроходческих работ.

Вывод данных на компьютер или КПК происходит через кабель или Bluetooth (IEEE 802.15.1). К существенным преимуществам гироскопа *GYROMAX AK-2M* относятся также встроенный телескоп, амортизатор, пульт дистанционного управления, а также то, что прибор адаптирован к теодолитам и тахеометрам всех известных фирм-производителей. Среди современных гироскопических технологий решение от *GYROMAX* занимает далеко не последнее место, а если судить по соотношению цены и качества, то с уверенностью можно дать и первое.

Подытоживая сказанное, нужно отметить, что современное гироскопическое оборудование отличается высокой точностью измерений и удобством в использовании, современные приборы стали во много раз компактнее и легче. На данный момент разработано несколько десятков приборов, с помощью которых можно проводить гироскопическое ориентирование в самых сложных условиях. И хотя при съёмке и навигации на поверхности сейчас в основном используются спутниковые методы (хотя переход на GPS произошел совсем недавно), в маркшейдерском деле — при строительстве тоннелей, шахт, коллекторов и других подземных объектов — без гироскопов не обойтись. Ведь под землей GPS просто не функционирует.

Кроме того, некоторые военные склонны считать, что GPS может отказать в работе в случае военных действий. Или США как оператор глобальной навигационной системы может значительно ограничить использование сигналов в период военных действий. И только с помощью гироскопических приборов инженеры способны будут осуществить сбойку тоннелей, а военные — правильно вычислить направление.

Поэтому фирмы Германии, Японии, Швейцарии и других стран продолжают создавать гироскопическое геодезическое оборудование.

В числе этих компаний — и *GeoMess Technik Heger*, которая ведет разработку новой модели гироскопической насадки *GYROMAX* с повышенной точностью определения азимута. Выпуск такой гироскопической насадки ожидается в 2011 году. Более детальную информацию можно найти на сайте www.gmt-heger.com.

Золота Фортуна

СТАБІЛІЗАЦІЯ
БІЗНЕСУ,

ПОТУЖНІ
ІНВЕСТИЦІЇ,

ВІШАНУВАННЯ
ПЕРЕМОЖЦІВ!



тел: 8 (044) 254 57 00

www.fortuna@fortuna.org.ua

факс: 8 (044) 254 57 06