



Обоснование принципа построения высокоширотной гиростанции

А.П. Каверин¹✉

¹ АО «106 экспериментальный оптико-механический завод», Москва, Россия
✉ alexkaverin1998@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ Каверин А.П. Обоснование принципа построения высокоширотной гиростанции // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 179–188. DOI:10.30533/GiA-2025-063.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА гиростанция, геодезические подземные изыскания, истинный азимут, истинный меридиан, лазерный гироскоп, высокоширотная геодезия

АННОТАЦИЯ В настоящее время для решения широкого круга топогеодезических задач, связанных с ориентацией по истинному меридиану, чаще всего используют гиротеодолиты или гиростанции. Они зарекомендовали себя как универсальные и практичные приборы, считающиеся незаменимыми при выполнении ряда геодезических и маркшейдерских задач ввиду возможности определять направление истинного меридиана вне зависимости от космической погоды, наличия либо отсутствия сигнала ГЛОНАСС или GPS. Однако у них есть и существенный недостаток — невозможность работы в широтах свыше 75–80°. Данная проблема актуальна для двух наиболее распространенных сегодня типов приборов — основанных на действии лазерных и роторных гироскопов. В открытом доступе были найдены характеристики импортных и отечественных гиростанций. Результаты их сравнения, а также анализа с точки зрения требований, приведенных в действующих нормативных документах, позволили выявить возможность спроектировать гиротеодолит, в основу которого положен новый принцип действия. В статье предложен принцип действия гиростанций, обеспечивающий измерение направлений относительно истинного меридиана с погрешностями в пределах единиц секунд, что особенно важно для маркшейдерии и работы в арктических условиях. Рассмотрены способы применения, физические основы функционирования таких гиростанций, требования к данному классу приборов и основные погрешности, влияющие на работу устройства. Полученные результаты могут помочь при проведении изысканий в крайних северных широтах, ранее недоступных для применения подобной аппаратуры, при этом будут обеспечены не только высокие точностные, но и приемлемые эксплуатационные характеристики.

1 Введение

На Земле существуют места, где проведение геодезических и маркшейдерских изысканий осложняется внешними факторами. К таким факторам, помимо прочих, можно отнести работы без привязки к постоянным опорным пунктам и работы на местности, где отсутствуют ГЛОНАСС- и GPS-сигналы [1]. Зачастую с описанными проблемами пользователи геодезической аппаратуры сталкиваются при проведении работ в подземных выборках и на арктических территориях [2].

Территории, находящиеся в широтах выше $75-80^\circ$, справедливо считаются одними из самых непростых для геодезических изысканий [3]. Несмотря на то, что эти территории, включающие в себя арктические острова Норвегии, России, Канады и Гренландии, почти не заселены, топографо-геодезическое и картографическое обеспечение играет немаловажную роль в их развитии [4]. Упростить задачу геодезистам и маркшейдерам, работающим в данных регионах, могла бы аппаратура, позволяющая проводить привязку к истинному азимуту, но большая ее часть имеет ограничения при работе в широтах выше $75-80^\circ$.

Проведение подземных работ требует постоянной привязки к системе координат, принятой на поверхности. Эту привязку возможно осуществить, проводя измерения с поправкой на истинный меридиан [5]. Он не меняется в зависимости от глубины и всегда соответствует величине, определенной на поверхности. При этом для маркшейдерских изысканий требуется малогабаритный и легкий прибор, позволяющий проводить измерения в условиях труднодоступных и тесных шахт и тоннелей.

К подобным приборам чаще всего относят приборы с гирокомпасами — гиroteодолиты и гиروстанции. Принцип их действия выстроен вокруг работы гироскопа, что позволяет определять истинный меридиан и проводить измерения углов относительно него.

2 Материалы и методы

Для формулирования требований к рассматриваемому классу приборов были проанализированы принятые нормативные документы в исследуемой области, а также проведено сравнение отечественных и зарубежных устройств.

Подробное сравнение характеристик образцов приведено в работе [6]. Оно показывает, что гиروстанции различных производителей, таких как Sokkia, DMT, ГК «Ориентир», АО «106 ЭОМЗ», имеют схожие характеристики. Говоря о гиroteодолитах (ГИ-БЗ) как о технологических предшественниках гиروстанций, стоит отметить и их неспособность проводить измерения истинных азимутов в широтах выше $75-80^\circ$ с заданной точностью.

Основные требования к рассматриваемому классу приборов изложены в следующих нормативных документах:

- 1) ГОСТ Р 50997-96¹ (согласно этому стандарту, все маркшейдерские гирокомпасы можно разделить в зависимости от продолжительности пуска, среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности определения гироскопического азимута на три типа: I, II и III; из-за постоянного совершенствования угломерных приборов при оценке характеристик предложенного прибора следует ориентироваться на маркшейдерские гирокомпасы I типа, т. к. он включает наиболее высокоточные, практичные и современные изделия);

¹ ГОСТ Р 50997-96. Гирокомпасы маркшейдерские. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 1997. 13 с.

- 2) ГОСТ Р 53340-2009² (данный стандарт устанавливает технические требования на широкий круг геодезических приборов; наибольший интерес представляют требования к геодезическим приборам с программным обеспечением — возможность передачи информации на внешние носители для хранения и последующей обработки данных, автоматическое вычисление функций полученных величин, а также решение отдельных геодезических задач);
- 3) приказ Ростехнадзора от 19 мая 2023 года № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности»³ (в этом документе приводятся требования к точности маркшейдерских изысканий, величине невязок и расхождений, а также к гироскопическому способу ориентирования).

Исходя из перечисленных в приведенных документах требований и сравнения характеристик аналогов, можно сделать вывод об основных конструктивных и точностных требованиях к современным угломерным приборам с гирокомпасом. В частности, данный класс приборов должен обладать высокими эргономическими параметрами и работать в различных климатических условиях.

Сравнение приборов с гирокомпасом в рамках рассмотренных документов показывает, что большинство современных гироскопических устройств удовлетворяет данным требованиям. Кроме того, ведется работа по совершенствованию точностных характеристик такой аппаратуры [7–9]. Общий ее недостаток — невозможность измерения истинного азимута на широтах свыше 75–80° с заданной точностью. Возможность проведения измерений в указанных широтах могла бы стать серьезным преимуществом перед существующими приборами рассматриваемого класса.

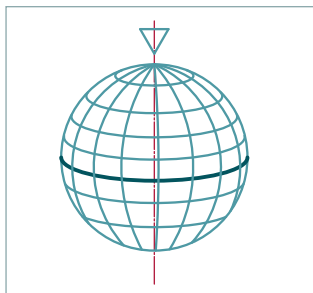
Рис. 1 ✓

Пояснение к принципу действия прибора

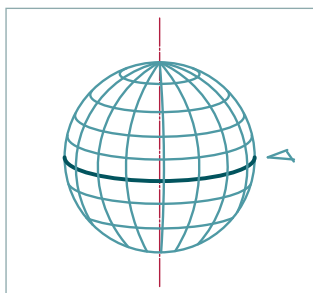
Fig. 1

Explanation of the principle of operation of the device

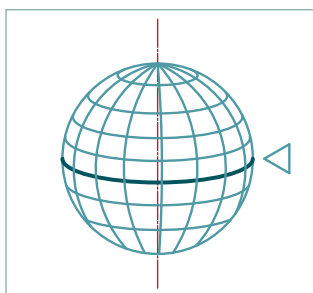
Резонатор лазерного гироскопа на полюсе / The resonator of the laser gyroscope at the pole



Резонатор лазерного гироскопа в плоскости экватора / The resonator of the laser gyroscope in the plane of the equator



Резонатор лазерного гироскопа перпендикулярен плоскости экватора / The resonator of the laser gyroscope is perpendicular to the plane of the equator



3 Результаты

3.1 Конструкция и принцип действия прибора

В результате исследования современных приборов с гирокомпасом была предложена гироскопическая станция, чей принцип действия был рассмотрен еще в 1970-х годах⁴. В связи с развитием технической базы в настоящее время он получил возможность реализации. Данный принцип основан на согласованном действии лазерного гироскопа и угломерной системы. Истинный азимут искомого объекта определяется на основе знания направления истинного меридиана, который первоначально определяется грубо, например при помощи буссоли. Зная приблизительное направление истинного меридиана, возможно произвести точное определение истинного меридиана при помощи лазерного гироскопа: поворотная платформа вращает его до получения нулевой разности частот противоположно направленных волн в резонаторе. В данном случае нулевая разность частот будет свидетельствовать о том, что вращение планеты не влияет на лазерный гироскоп и плоскость его резонатора совпадает с плоскостью истинного меридиана. Описанный принцип проиллюстрирован на рис. 1.

После нахождения плоскости истинного меридиана поворотная платформа фиксирует лазерный гироскоп в данном положении. Нуль лимба лежит в плоскости резонатора лазерного гироскопа. При совмещении нулей лимба и алидады ось зрительной трубы направлена на истинный север. Данное положение

2 ГОСТ Р 53340-2009. Приборы геодезические. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.


3 Приказ Ростехнадзора от 19 мая 2023 г. № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1301713025> (дата обращения: 09.04.2025).

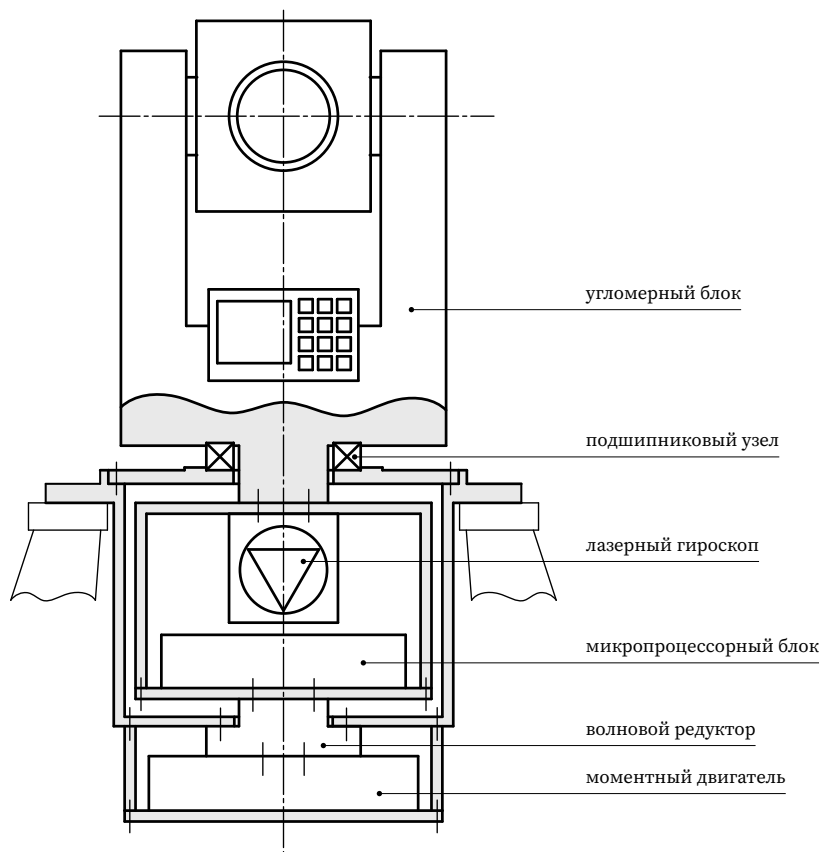
4 Воронков Н.Н., Ашимов Н.М. Гироскопическое ориентирование. М.: Недра, 1973. 224 с.

можно принимать за исходное и проводить измерения истинного азимута, наводясь на объект от данного направления.

Преимуществом данного способа работы является возможность проведения измерений в крайних широтах, в то время как у большинства приборов с лазерным гирокомпасом, предназначенных для измерения истинного азимута, имеется ограничение для работы до $75-80^\circ$. Это отличие обусловлено тем, что приборы, чей принцип действия основан на измерении проекции вектора угловой скорости вращения Земли гироскопом [10], не позволяют проводить измерения там, где эта проекция становится меньше определенного уровня. Последний обусловлен в первую очередь точностными характеристиками гироскопа.

Конструктивная схема описываемого прибора представлена на рис. 2.

Рис. 2  Конструктивная схема прибора
Fig. 2
Design diagram of the device




Основными конструктивными элементами описываемого прибора служат гироскопический и угломерный блоки, связанные через подшипниковый узел. Для обработки полученной информации применяется микропроцессорный блок, а для ввода данных и вывода результатов оператору — блок управления. Прибор устанавливается на штатив, питается от встроенных аккумуляторов и имеет встроенный интерфейс для оперативного обмена информацией с подключаемыми устройствами.

Гироскопический блок состоит из лазерного гирокомпаса, размещенного на высокоточной поворотной платформе, которая образована волновым редуктором и моментным двигателем. Резонатор лазерного гироскопа лежит в плоскости, совпадающей с осью вращения поворотной платформы. Угломерный блок включает в себя вертикальный и горизонтальный отсчетные круги, зрительную трубу и дальномерный модуль. Для грубого определения магнитного меридиана и направления на север используется буссоль. На корпусе также размещены разъемы внешних подключений, съемный аккумуляторный блок. Для повышения точности измерений в конструкции применен электронный уровень.

Функциональная схема описываемого прибора представлена на рис. 3. Как уже было обозначено ранее, прибор должен быть выполнен в едином корпусе.



Рис. 3 
 Функциональная схема прибора
Fig. 3
 Functional diagram of the device

Порядок измерения истинного азимута можно описать следующим образом:

- 1) начало;
- 2) запуск гироскопического блока;
- 3) выбор объекта, определяющего направление стороны измеряемого угла;
- 4) пространственная ориентация угломерного прибора, грубое ориентирование при помощи буссоли;
- 5) получение результата определения направления на истинный север;
- 6) контроль пространственного ориентирования геометрической схемы;
- 7) наведение на объект;
- 8) проведение отсчета;
- 9) фиксация результата измерения направления;
- 10) вычисление определяемого угла по результатам пунктов 5 и 9;
- 11) контроль достоверности полученного результата.

3.2 Погрешности прибора

Для того чтобы определить точность предложенного прибора, сначала необходимо вычислить все погрешности, влияющие на его составные части. Одна из наиболее сильно влияющих погрешностей — уменьшение точности измерений по мере приближения к полюсам Земли. Следовательно, требуется определить, на какой максимально северной широте гироскопический блок будет определять направление на истинный север с заданной точностью. Как сказано выше, по данному параметру предложенный прибор имеет преимущество перед аналогами, принцип работы которых основан на определении проекции угловой скорости Земли на плоскость местного горизонта. Математическое обоснование этого утверждения представлено ниже.

Согласно исследованию [6], современные гиротеодолиты и гиристанции позволяют добиваться определения истинного азимута с погрешностью, достигающей 3". Однако стоит отметить, что столь высокой точностью данные приборы обязаны сложной конструкции, программной части и математическому аппарату.

При анализе погрешности предложенного прибора необходимо представлять его устройство, чтобы использовать в расчетах погрешности отдельных его звеньев. Его система будет включать в себя гироскопический блок и угломерную систему.

Как отмечалось ранее, гироскопический блок состоит из лазерного гироскопа с треугольным резонатором, закрепленным на высокоточной поворотной платформе. Погрешность поворотной платформы имеет принципиальное значение: от данного блока требуется повернуть гироскоп, чтобы его резонатор лег точно в плоскость меридиана, а затем удерживать его в данной позиции. О нахождении резонатора лазерного гироскопа в плоскости истинного меридиана будет свидетельствовать нулевая разность частот противоположно направленных волн.

Погрешности высокоточных угломерных систем, а также способы суммирования погрешностей отдельных звеньев хорошо изучены⁵.

Влияние на систему погрешности поворотного устройства будет минимальным, если оно будет находиться точно на истинном полюсе, поскольку его ось будет совпадать с осью вращения Земли. В то же время, если оно будет располагаться на линии экватора, его погрешность будет оказывать максимальное влияние на измерения лазерного гироскопа. Исходя из этого, можно сделать вывод, что погрешность $\Delta_{\text{ПВ}}$, вносимая поворотным устройством в систему, будет изменяться в зависимости от широты расположения λ согласно формуле

$$1 \quad \Delta'_{\text{ПВ}} = \Delta_{\text{ПВ}} \cos \lambda.$$

Поскольку, находясь точно на экваторе, лазерный гироскоп, развернутый строго по направлению истинного азимута, не подвержен влиянию наклона, электронный уровень не участвует в работе системы в данном положении. Напротив, при установке предложенного прибора на истинный полюс отклонение расположения лазерного гироскопа от строго вертикального положения приведет к фиксации системой углового вращения и, следовательно, возникновению погрешностей. Исходя из этого, можно сделать вывод, что погрешность $\Delta_{\text{ЭУ}}$, вносимая в систему электронным уровнем, будет изменяться в зависимости от широты расположения λ согласно формуле

$$2 \quad \Delta'_{\text{ЭУ}} = \Delta_{\text{ЭУ}} \sin \lambda.$$

Таким образом, формула, позволяющая определить максимально высокую широту, ниже которой предложенный прибор будет работать с определенной заранее погрешностью, будет выглядеть следующим образом:

$$3 \quad \lambda_{\text{max}} = 90^\circ - (\varphi + \Delta'_{\text{ПВ}} + \Delta'_{\text{ЭУ}}),$$

где φ — погрешность лазерного гироскопа.

Подставив численные значения, можно убедиться: полученная величина практически означает, что предложенный прибор позволяет проводить измерения по всему земному шару без ограничений по широте. Это подтверждает основную из предложенных в работе гипотез.

4 Обсуждение

Итогом многолетнего развития геодезического приборостроения стало появление широкого круга приборов и комплексов, предназначенных для решения самых разных топогеодезических задач. В настоящее время привычные нам задачи геодезии, касающиеся высокоточного измерения углов, осложнены необходимостью проведения работ под землей, в арктических широтах, а также развития геоинформационных систем и геодезической метрологии. Важным инструментом в этих процессах становятся угломерные приборы, включающие в себя гирокомпасы: они позволяют проводить измерения в недоступных для действия глобальных навигационных спутниковых систем местах, в частности в шахтах и тоннелях, а наличие в составе вычислительных устройств позволяет оперативно передавать и обрабатывать информацию, формировать базы данных.

Рассмотренная конструкция дает возможность создать прибор для измерений не только под землей, но и в северных широтах. Он может найти применение

5 Аникст Д.А., Константинович К.М., Меськин И.В. и др. Высокоточные угловые измерения / под ред. Ю.Г. Якушенкова. М.: Машиностроение, 1987. 479 с.

в таких проектах, как развитие геодезических сетей и проведение подземных работ на территориях Крайнего Севера.

Дальнейшими направлениями в развитии описываемого класса приборов могут стать:

- автоматизация процессов измерения;
- повышение эксплуатационных характеристик;
- расширение функционала.

5 Выводы

Несмотря на планомерное и многолетнее развитие геодезических приборов, еще остаются задачи, которые не способны решать даже самые передовые устройства. Современные угломерные приборы с гирокомпасами, к которым сегодня относят гиристанции и гиротахеометры, зарекомендовали себя как надежные и практичные изделия, но не могут использоваться для проведения измерений в крайних северных широтах.

Описанный в статье прибор демонстрирует принципиально новую конструкцию, не встречавшуюся ранее в серийно выпускаемых образцах. Принцип определения истинного азимута, предложенный ранее, получил возможность быть реализованным на современной материально-технической базе. Гиристанция, в основе которой лежит описанный принцип, не только будет иметь приемлемые массогабаритные характеристики, работать с высокой точностью, но самое главное — позволит проводить измерения на широтах свыше 80° . Эта возможность станет существенным преимуществом прибора перед аналогичными гиротеодолитами и гиристанциями.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Корецкий Д.С., Корецкая Г.А., Кузнецов Е.В. Определение погрешностей координат опознаков с применением спутниковых GPS-технологий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 3(139). С. 58–64. DOI:10.26730/1999-4125-2020-3-58-64.
2. Пластинин Л.А., Ступин В.П., Олзоев Б.Н. и др. Проблемы и программы их решения при создании цифровых специализированных топографических карт Сибирской Арктики // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 4. С. 142–161. DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-4-142-161.
3. Падерина Т.В., Соколов Д.А. Варианты конструктивной реализации диаметральной схемы гироинклинометра для высокоширотных систем подземной навигации // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2013. Т. 56, № 7. С. 21–25.
4. Мустафин М.Г., Баландин В.Н., Брынь М.Я. и др. Топографо-геодезическое и картографическое обеспечение Арктической зоны Российской Федерации // Записки Горного института. 2018. Т. 232. С. 375–381. DOI:10.31897/PMI.2018.4.375.
5. Чернов И.В. Исследование возможности определения азимута с использованием аппаратуры потребителя космических навигационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. № 3. С. 14–19.
6. Каверин А.П., Парвулюсов Ю.Б., Савиных В.П. и др. О применении комплекса САГ-1 в гражданском секторе экономики // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68, № 5. С. 133–142. DOI:10.30533/GiA-2024-041.
7. Гусев В.Н., Пупоревич А.А. Повышение точности гироскопического ориентирования за счет учета дрейфа гироазимутов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 10. С. 134–145. DOI:10.25018/0236-1493-2021-10-0-134.
8. Завьялов В.В., Саранчин А.И., Перечёсов В.С. Необходимость и возможные пути улучшения некоторых динамических характеристик корректируемых гироазимуткомпасов // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 240–244.

9. Завьялов В.В., Саранчин А.И., Перечёсов В.С. Повышение эффективности системы коррекции гироазимуткомпаса // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 247-251.
10. Голяев Ю.Д., Дронов И.В., Колбас Ю.Ю. и др. Малогабаритный гирокомпас на квазичетырехчастотном лазерном гироскопе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2012. № 3. С. 112-125.

АВТОР Каверин Алексей Павлович

Акционерное общество «106 экспериментальный оптико-механический завод»,
Москва, Россия

 0009-0003-7963-7441

Поступила 12.04.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



Justification of the Principle for Constructing a High-Latitude Gyro Station

Alexey P. Kaverin¹✉

¹ JSC “106 Experimental Optical and Mechanical Plant”, Moscow, Russia
✉ alexkaverin1998@gmail.com

CITATION Kaverin AP. Justification of the Principle for Constructing a High-Latitude Gyro Station. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 179–188. DOI:10.30533/GiA-2025-063.

KEYWORDS gyro station, geodetic underground surveys, true azimuth, true meridian, laser gyroscope, high-latitude geodesy

ABSTRACT Today, gyrotheodolites or gyrostances are most often used to solve a wide range of topogeodetic problems related to orientation along the true meridian. They have managed to establish themselves as versatile and practical devices that are considered indispensable for performing a number of geodetic and surveying tasks due to the ability to determine the direction of the true meridian regardless of the presence or absence of a GLONASS or GPS signal, or space weather. However, they also have a significant drawback – the inability to operate at latitudes above 75–80°. This problem is relevant for the two most common types of devices today – those based on the action of laser and rotary gyroscopes. The characteristics of imported and domestic gyro stations were found in the public domain. Their comparison, as well as an analysis of the requirements given in the current regulatory documents, revealed the possibility of designing a gyrotheodolite based on a new principle of operation. The article proposes the principle of operation of gyro stations, which provides measurement of directions relative to the true meridian with errors within units of seconds, which is especially important for surveying and work in Arctic conditions. The physical foundations of operation, the requirements for this class of devices, the main errors affecting the operation of the device, and the methods of application are considered. The results obtained can help in conducting surveys in extremely northern latitudes, previously inaccessible for the use of such equipment, providing not only high accuracy, but also acceptable operational characteristics.

REFERENCES 1. Koretskii DS, Koretskaya GA, Kuznetsov YeV. Opredelenie pogreshnostei koordinat opoznakov s primeneniem sputnikovikh GPS-tekhnologii [Definition of the Errors of the Control Point Coordinates Using GPS Satellite Technologies].

- Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020;3(139): 58–64. (In Russian). DOI:10.26730/1999-4125-2020-3-58-64.
2. Plastinin LA, Stupin VP, Olzoev BN, et al. Problemi i programmi ikh resheniya pri sozdanii tsifrovikh spetsializirovannikh topograficheskikh kart Sibirskoi Arktiki [Problems and Programs of Their Solution when Creating Digital Specialized Topographic Maps of the Siberian Arctic]. *Vestnik SSUGT*. 2019;24(4): 142–161. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-4-142-161.
 3. Paderina TV, Sokolov DA. Varianti konstruktivnoi realizatsii diametralnoi skhemi giroinklinometra dlya visokoshirotnikh sistem podzemnoi navigatsii [Design Options of Diametric Schematic of Gyro-Inclinometer for High-Latitude Underground Navigation Systems]. *Journal of Instrument Engineering*. 2013;56(7): 21–25. (In Russian).
 4. Mustafin MG, Balandin VN, Brin MYa, et al. Topografo-geodezicheskoe i kartograficheskoe obespechenie Arkticheskoi zoni Rossiiskoi Federatsii [Topographic-Geodetic and Cartographic Support of the Arctic Zone of the Russian Federation]. *Journal of Mining Institute*. 2018;232: 375–381. (In Russian). DOI:10.31897/PMI.2018.4.375.
 5. Chernov IV. Issledovanie vozmozhnosti opredeleniya azimuta s ispolzovaniem apparatury potrebitelya kosmicheskikh navigatsionnikh sistem [A Study of the Ability to Determine Azimuth by Using the User Equipment of Space Navigation Systems]. *H&ES Research*. 2016;3: 14–19. (In Russian).
 6. Kaverin AP, Parvulyusov YuB, Savinikh VP, et al. O primenenii kompleksa SAG-1 v grazhdanskom sektore ekonomiki [On the Application of the SAG-1 Complex in the Civil Sector of the Economy]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(5): 133–142. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2024-041.
 7. Gusev VN, Puporevich AA. Povishenie tochnosti giroskopicheskogo orientirovaniya za schet ucheta dreifa giroazimutov [Improving Accuracy of Navigation Using Gyroscopes with Regard to Gyro Drift and Azimuth Error]. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;10: 134–145. (In Russian). DOI:10.25018/0236-1493-2021-10-0-134.
 8. Zavyalov VV, Saranchin AI, Perechyosov VS. Neobkhodimost i vozmozhnie puti uluchsheniya nekotorykh dinamicheskikh kharakteristik korrektruemikh giroazimutkompasov [Necessity and Possible Ways of Improvement of Some Dynamic Characteristics Corrected by Gyrocompass]. *Transport Business of Russia*. 2015;6: 240–244. (In Russian).
 9. Zavyalov VV, Saranchin AI, Perechyosov VS. Povishenie effektivnosti sistemi korrektsii giroazimutkompasa [Improving the Efficiency System Correction Gyroazimuthcompass]. *Transport Business of Russia*. 2015;6: 247–251. (In Russian).
 10. Golyaev YuD, Dronov IV, Kolbas YuYu, et al. Malogabaritnii girokompas na kvazichetirekhchastotnom lazernom giroskope [Small-Size Gyrocompass on Quasi-Four-Frequency Laser Gyroscope]. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Instrument Engineering*. 2012;3: 112–125. (In Russian).

AUTHOR Alexey P. Kaverin

Joint-Stock Company “106 Experimental Optical and Mechanical Plant”, Moscow, Russia
 0009-0003-7963-7441

Submitted: April 12, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.