

ИСТОРИЯ ГИРОСКОПА И ЕГО ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

THE HISTORY OF THE GYROSCOPE AND ITS MAIN PROPERTIES

Kh. Yagafarova
A. Ziyatdinov

Summary. In this article, the author presents an examination of the history of the gyroscope and its basic properties. The author notes that, having made a long way from the usual toys to complex devices, called gyro, the gyroscope has deservedly become one of the outstanding achievements of modern technology. Through such devices are made blind flight and kept for the specified direction of the ships in the open sea. The use of the gyroscopic effect of the rotating rotor makes it possible to reduce pitching of the vessel in the waves and vibrations of the car when driving over a rough road. The same gyroscopic effect provides a stable motion of bicycles and motorcycles. The application of the properties of the spinning-top is allowed to create a monorail railroad, a two-wheeled vehicle and many other interesting machines. According to the results of the conducted research the author notes that the gyro, in spite of its apparent simplicity and clarity is still much to be learned the object of study of physics and theoretical mechanics. But despite all this, one area of knowledge which we already possess, adequately satisfies human needs in everyday life and in many sectors of the economy. The uncertainty of knowledge and information about gyroscopic phenomena and processes gives optimistic expectations and strong confidence in further development and solving the many problems of our immense world.

Keywords: gyroscope, gyro, rotor, properties, device.

Ягафарова Хафиза Нургалиевна

К.ф.н., доцент, филиал ФГБОУ ВО в г. Октябрьском
ziyatdinovam@mail.ru

Зиятдинов Артур Мажитович

К.э.н., старший преподаватель, Филиал ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный
нефтяной технический университет» в г. Октябрьском;
ziyatdinovam@mail.ru

Аннотация: В данной статье автором представлено рассмотрение истории гироскопа и его основных свойств. Автор отмечает, что, проделав длительный путь от обычной игрушки до сложнейших приборов, носящих название гироскопических, волчок заслуженно стал одним из выдающихся достижений современной техники. Благодаря таким устройствам совершаются слепые полёты самолётов и выдерживаются заданные направления движения судов в открытом море. Использование гироскопического эффекта вращающихся роторов даёт возможность снизить качку судна при волнении на море и колебания автомобиля при движении по неровной дороге. Так же гироскопический эффект обеспечивает устойчивое движение велосипедов и мотоциклов. Применение свойств быстро вращающегося волчка позволило создать однорельсовую железную дорогу, двухколёсный автомобиль и много других интереснейших машин. По итогам проведенного исследования автор отмечает, что гироскоп, несмотря на свою кажущуюся простоту и наглядность, является ещё далеко не изученным объектом исследования физики и теоретической механики. Но, несмотря на всё это, та область знаний, которой мы уже обладаем, достаточным образом удовлетворяет человеческие потребности, как в повседневной жизни, так и во многих отраслях народного хозяйства. Неопределённость знаний и сведений о гироскопических явлениях и процессах даёт оптимистические ожидания и твёрдую уверенность в дальнейшем освоении и решении многочисленных проблем нашего необъятного мира.

Ключевые слова: волчок, гироскоп, ротор, свойства, устройство.

В настоящее время развитие автоматки во всех отраслях промышленности оказало значительное влияние на широкомасштабное применение в технике уникальных свойств быстро вращающегося волчка.

Проделав длительный путь от обычной игрушки до сложнейших приборов, носящих название гироскопических, волчок заслуженно стал одним из выдающихся достижений современной техники. Благодаря таким устройствам совершаются слепые полёты самолётов и выдерживаются заданные направления движения судов в открытом море. Использование гироскопического эффекта вращающихся роторов даёт возможность снизить качку судна при волнении на море и колебания автомобиля при движении по неровной дороге. Так же гироскопический эффект обеспечивает устойчивое движение велосипедов и мотоциклов. Применение свойств

быстро вращающегося волчка позволило создать однорельсовую железную дорогу, двухколёсный автомобиль и много других интереснейших машин.

Однако, в современных условиях, когда человечеству необходима высокая точность работы оборудования, уже недостаточно исследование законов движения идеализированного гироскопа без учёта конструктивных и технологических погрешностей, порождающих отклонение его главной оси от заданного направления в пространстве. Новейшие методы анализа, основанные на использовании математических вычислительных и моделирующих машин, позволяют глубоко изучить динамические процессы, протекающие в гироскопических системах, и выявить влияние возмущающих факторов на поведение гироскопа.

Перечисленное многообразие выполняемых функций впечатляет, но в данной работе мы остановимся на при-

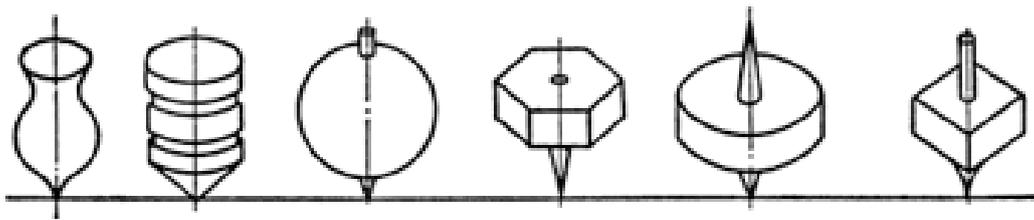


Рис. 1. Различные формы волчков

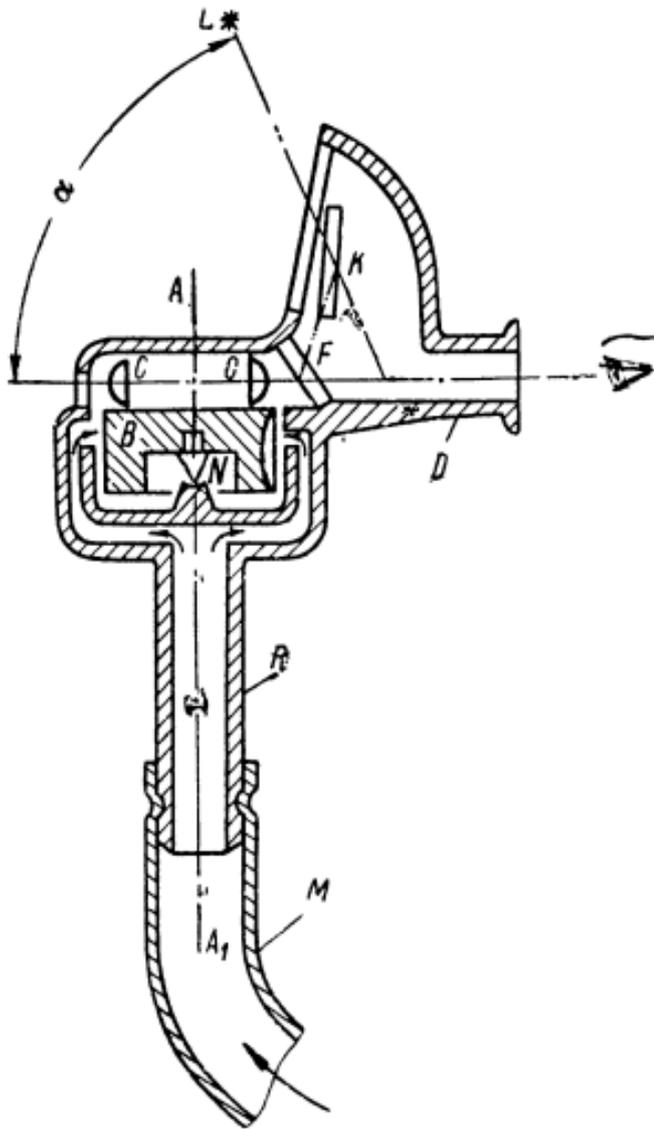


Рис. 2. Схема секстана Флорие

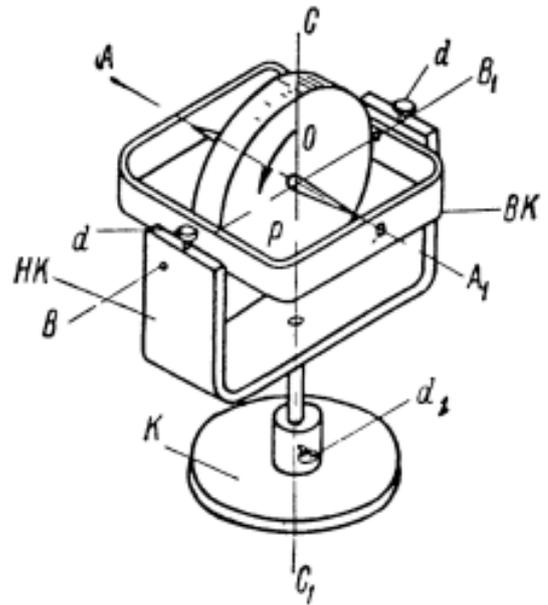


Рис. 3. Схема гироскопа в кардановом подвесе

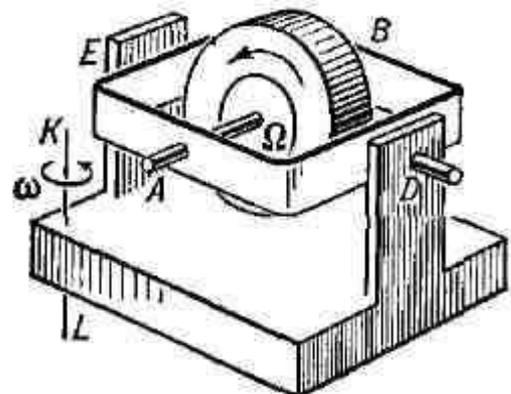


Рис. 4. Гироскоп с двумя степенями свободы

менении гироскопа в горном деле, где подробно изучим его характерные особенности в приборах и устройствах, используемых для поиска полезных ископаемых, проведения оценки запасов природных залежей, бурения газовых и нефтяных скважин, прокладывания шахт и т.д.

С древнейших времён волчок использовался в качестве игрушки и отличался многообразием форм (рис. 1). Однако, внимательно присмотревшись к этой игрушке, многие учёные и конструкторы заметили её уникальные свойства. В основном вращение волчка происходило за счёт тонкой бечевки, которая предварительно наматывалась на его вал. При резком сдёрги-

вании бечевки с вала волчок начинал вращение вокруг вертикальной оси, которое вскоре прекращалось из-за действия сил трения в точке опоры волчка. Попытки быстро свалить волчок на бок не увенчались успехом. Он лишь смещался от своего первоначального положения, но неизменно продолжал вращаться вокруг вертикальной оси.

Уникальное свойство волчка по сохранению постоянного направления оси своего вращения открывало большие перспективы для его практического применения.

Активным изучением движения волчка занялись многие учёные планеты. Среди них можно выделить выдающегося английского учёного И. Ньютона и члена Российской академии наук Л. Эйлера. Последний из них опубликовал в 1765 году теорию движения твёрдого тела около неподвижной точки его опоры. Он основал теоретический фундамент для дальнейшего более глубокого изучения движения волчка. Теоретический фундамент дополнили работы известных французских учёных Ж. Лагранжа и Л. Пуансо. [6, с. 196]

Вскоре на свет появился новый прибор — секстан, разработанный французским адмиралом Флерие (рис. 2), служащий для измерения географической широты местоположения корабля во время шторма. Основу данного изобретения составлял быстро вращающийся волчок.

С целью избавления от смещения волчка на площадке под действием собственного веса был изготовлен подвес с помощью двух карданных колец (рис. 3), который обеспечивал постоянство положения его точки опоры относительно основания. Данное изобретение впервые было продемонстрировано во Французской академии наук в 1852 году знаменитым учёным Л. Фуко, [2, с. 19].

Слово «гироскоп» в переводе с древнегреческого языка в буквальном смысле означает прибор для обнаружения вращения. Данный термин впервые был введён французским физиком и механиком Ж. Фуко в его докладе в 1852 году во Французской Академии Наук. В широком смысле гироскопом является быстро вращающееся твёрдое тело, ось вращения которого способна изменять своё направление в пространстве. [7, с. 50]

Гироскопы могут классифицироваться в зависимости от количества степеней свободы (двухстепенные, трёхстепенные) (рис. 4,5), принципа действия (механические, оптические). Однако, в качестве примера мы рассмотрим механический роторный гироскоп с тремя степенями свободы.

В качестве подвеса используется установка гироскопа в карданных кольцах (рис. 5). Установленный данным

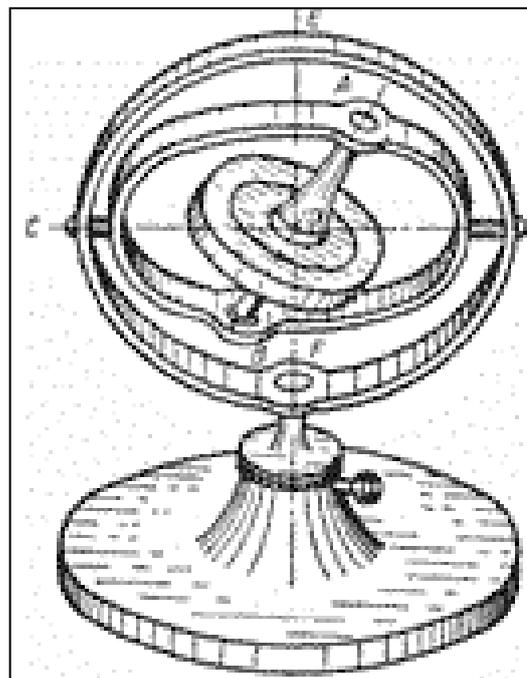


Рис. 5. Гироскоп с тремя степенями свободы

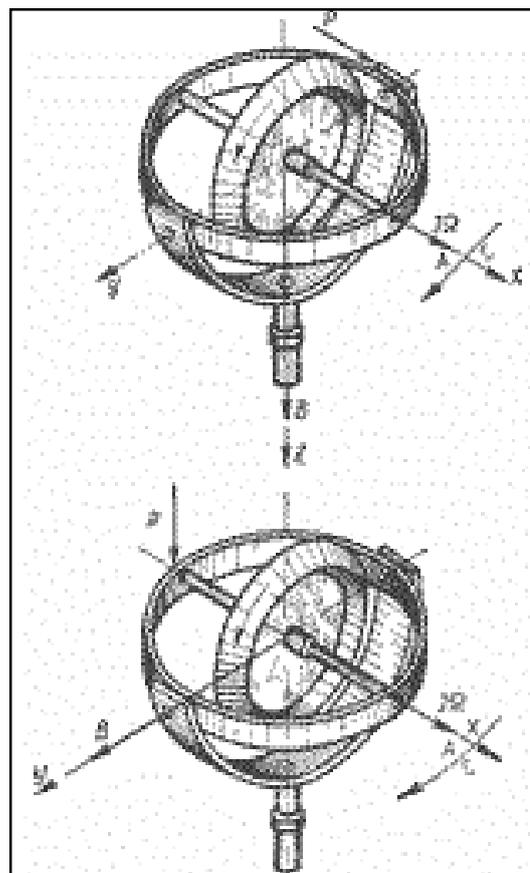


Рис. 6. Движение гироскопа под действием внешней силы: С — направление прецессии

образом гироскоп обретает способность поворачиваться вокруг следующих трех взаимно перпендикулярных осей, пересекающихся в одной точке O :

- ◆ оси AB — ось вращения самого гироскопа, называемая главной осью или осью собственного вращения;
- ◆ ось CD — ось вращения внутреннего кольца;
- ◆ ось EF — ось вращения наружного кольца подвеса.

В рассматриваемом случае мы имеем дело с гироскопом, который имеет три степени свободы. Степень свободы характеризует число возможных способов движения тела, что подтверждается на примере.

Точка O , в которой пересекаются три взаимно перпендикулярные оси вращения гироскопа, называется точкой его подвеса, которая в свою очередь является единственной неподвижной точкой, вокруг которой сосредотачивается движение гироскопа. Гироскоп с тремя степенями свободы, у которого центр тяжести всей системы, состоящей из ротора и кардановых колец, совпадает с точкой подвеса O и к которому не прикладываются внешние вращающие силы, называется уравновешенным или свободным.

Быстрое вращение свободного гироскопа открывает его удивительные свойства, которые широко используются в гироскопических приборах.

Основные свойства свободного гироскопа следующие:

а) ось вращения гироскопа способна удерживать устойчивое положение, т.е. стремится к сохранению первоначально заданного положения относительно мирового пространства.

Устойчивость оси гироскопа зависит от точности совпадения центра тяжести системы с точкой подвеса, что в свою очередь связано с балансировкой гироскопа, силами трения в осях карданова подвеса, весом гироскопа, его диаметром и скоростью вращения. Свойство устойчивости оси вращения позволяет применять свободный гироскоп в роли прибора для обнаружения суточного вращения Земли, так как по отношению к земным объектам ось способна совершать кажущееся или видимое движение;

б) ось гироскопа способна перемещаться в плоскости, перпендикулярной направлению действия внешней силы, приложенной к кардановым кольцам. Данный вид движения называется прецессионным движением или прецессией гироскопа. Прецессионное движение происходит до тех пор, пока не прекратится действие внешней силы, приложенной к кардановому подвесу.

Одним из правил, которое наиболее часто применяется для определения направления прецессии, является правило полюсов.

Полюсом гироскопа является тот конец его главной оси, со стороны которого вращение наблюдается происходящим против часовой стрелки. Полюсом силы называется тот конец оси гироскопа, со стороны которого действие приложенной к нему внешней силы кажется происходящим против часовой стрелки. Правило полюсов формулируется следующим образом: при приложении к гироскопу момента внешней силы полюс гироскопа кратчайшим путём стремится к полюсу силы.

На рис. 6 полюс гироскопа находится в точке A , а полюс силы — в точке B . Прецессионное движение полюса гироскопа указано стрелками.

Произведение момента инерции гироскопа на угловую скорость его собственного вращения $J\Omega$ называется кинетическим моментом гироскопа. Обычно кинетический момент изображается отрезком, направленным вдоль главной оси гироскопа, со стрелкой в сторону полюса гироскопа (см. рис 6).

Угловая скорость прецессии ω может быть подсчитана по формуле:

$$\omega = M / J\Omega, \tag{1}$$

где M — момент внешней силы, [5].

Ознакомившись с вышеизложенным описанием гироскопа и его основных свойств, перейдём к рассмотрению объекта с иной стороны, с нестандартной точки зрения американских физиков Т. Кармана и М. Био.

В отличие от российских физиков и механиков, которые излагают суть предмета с подробным последовательным объяснением материала, американские физики, пользуясь простотой и наглядностью, предельно коротко и ясно производят его описание, на основании которого делают очевидные выводы и примечания. В правильности вышеуказанного замечания мы убедимся на примере, приведённом в их учебном пособии, которое носит название «Математические методы в инженерном деле».

Рассмотрим пример, представляющий особый интерес в инженерном деле, именно — случай тела с осевой симметрией. Обозначим так называемые подвижные оси, т.е. оси координат, твёрдо связанные с телом, индексами 1, 2, 3; моменты инерции относительно этих осей: I_1, I_2, I_3 и произведения инерции: I_{12}, I_{23}, I_{31} остаются неизменными во времени для данного тела и зависят

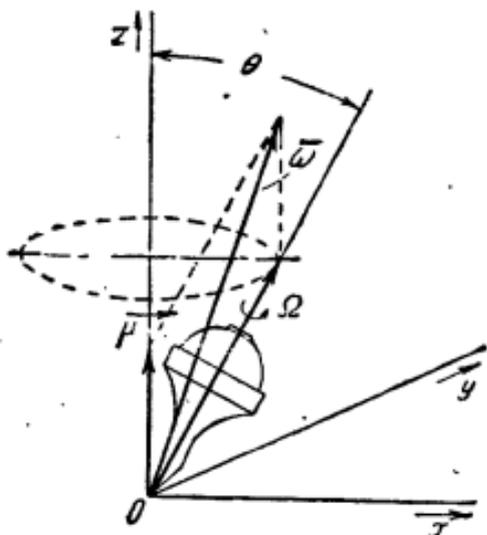


Рис. 7. Прецессия симметрического волчка.

от положения неподвижной точки, от расположения системы осей и от расположения масс в теле. Можно доказать, что при произвольном распределении масс всегда можно найти три взаимно перпендикулярные оси такие, чтобы произведения инерции были равны нулю. Такие оси мы будем называть главными осями инерции, а соответствующие моменты A, B, C — главными моментами инерции.

Допустим, что два из главных моментов инерции равны между собой, например $A=B$. Твёрдое тело с таким распределением масс, вращающееся вокруг неподвижной точки, мы будем называть симметрическим волчком или симметрическим гироскопом. В этом случае третья главная ось будет осью симметрии волчка, [1, с. 83].

Наиболее существенный тип движения симметрического волчка называется прецессией. Такое движение может быть получено, если заставить тело вращаться вокруг его оси симметрии с угловой скоростью Ω , а ось симметрии в то же время вращаться с угловой скоростью μ вокруг неподвижной оси в пространстве, например, вокруг оси z . В этом случае ось симметрии опишет некоторую коническую поверхность, угол осевого сечения которой обозначим через 2θ . Вектор ω (рис. 7) равен, очевидно, сумме векторов Ω и μ и, как это видно из фигуры, он вращается вокруг оси z .

После наглядного описания гироскопа и возможностей его движения ставятся две задачи, которые необходимо рассмотреть и изучить.

Первая поставленная задача состоит в том, чтобы изучить, возможно ли указанного типа движение без воз-

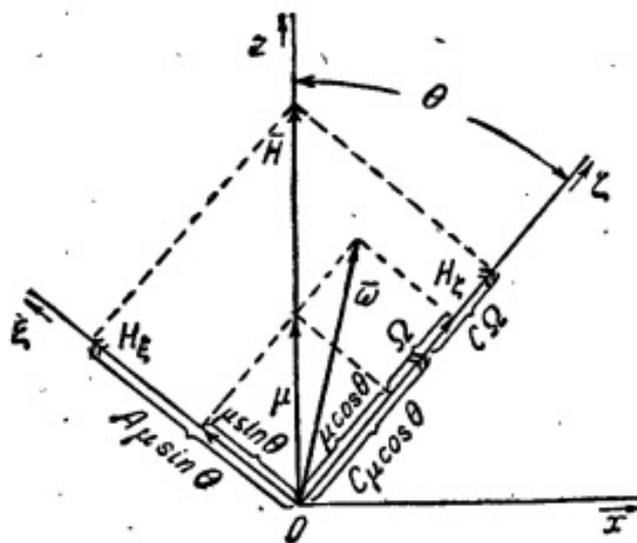


Рис. 8. Прецессия симметрического волчка. Диаграмма момента количества движения.

действия внешних сил (если, например, центр тяжести волчка совпадает с неподвижной точкой и никакие другие силы на волчок не действуют), (рис. 8). Результатом решения этой задачи служит выведение условия свободной прецессии (1), [1, с. 84].

$$\begin{vmatrix} C(\Omega + \mu \cos\theta) & A\mu \sin\theta \\ \cos\theta & \sin\theta \end{vmatrix} = 0$$

$$\mu = -\frac{\Omega}{\cos\theta} \cdot \frac{C}{C-A} \quad (2)$$

Вторая задача, которую требуется решить, это — подсчитать момент M , необходимый для того, чтобы поддерживать процессию с некоторой угловой скоростью μ , которая не удовлетворяет условию (1). Заключение, следующее из решения данной задачи, склоняется к выведению формулы гироскопического момента M (2), [1, с. 85].

$$M = C\Omega\mu \quad (3)$$

Таким образом, мы воспользовались двумя разными подходами к изучению проблемы, которые по своей сути в заключении склоняются к выведению основных формулировок и параметров, необходимых для достаточного представления ключевых моментов устройства гироскопа и его основных свойств.

Исходя из вышеизложенного материала, придём к выводу, что гироскопический эффект играет значительную роль в жизнедеятельности человека и позволяет ему намного быстрее справиться с техническими задачами.

В данном исследовании рассмотрена история создания гироскопа, и проделан путь от древнейшей народ-

ной игрушки до важного и незаменимого на сегодняшний день прибора, который служит для автоматизации производственных процессов и контроля разведывательных работ, измерения и оценки множества параметров, использующихся в горном деле.

Помимо исторического аспекта, в работе также приведены устройство и принцип действия этого уникального прибора, усвоены законы движения гироскопа и основные параметры, характеризующие выполнение данных законов.

Изучив теоретические сведения о гироскопе, мы перешли к его рассмотрению в практическом применении на примере горного дела. Обычный с виду прибор, по-

зволяет проводить самые разнообразные, но при этом предельно точные измерения, необходимые для геологических и геофизических исследований.

Таким образом, гироскоп, несмотря на свою кажущуюся простоту и наглядность, является ещё далеко не изученным объектом исследования физики и теоретической механики. Но, несмотря на всё это, та область знаний, которой мы уже обладаем, достаточным образом удовлетворяет человеческие потребности, как в повседневной жизни, так и во многих отраслях народного хозяйства. Неопределённость знаний и сведений о гироскопических явлениях и процессах даёт оптимистические ожидания и твёрдую уверенность в дальнейшем освоении и решении многочисленных проблем нашего необъятного мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карман Т., Био М. Математические методы в инженерном деле // Перевод с английского М. Г. Шестопала под редакцией А. М. Лопшица, издание второе — Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1948. — 424 с.
2. Павлов В. А. Гироскопический эффект, его проявления и использование. 5-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1985. — 176 с., ил.
3. Павлов В. А. Теория гироскопов и гироскопических приборов. 2-е изд., испр. и доп. — Л.: Судостроение, 1964. — 497 с., ил.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. I. Механика. — 4-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005. — 560 с. — ISBN5-9221-0225-7; 5-89155-078-4.
5. <http://moryak.biz/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=306>
6. Дагирманова Д. М., Ягафарова Х. Н. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ТРУДАХ ДЕКАРТА // В сборнике: Материалы 42-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов сборник научных трудов в 2 томах. 2015. С. 194–199.
7. Ашин М. С., Ягафарова Х. Н. СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА СИЛЫ ИНЕРЦИИ // В сборнике: Материалы 41-й научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2014. С. 49–52.

© Ягафарова Хафиза Нургалиевна, Зиятдинов Артур Мажитович (ziyatdinovam@mail.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

