

В. И. ВЕТРЕНКО, Т. И. РОМАНОВА, А. С. РОМАНОВ

## ГИРОСКОПИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВУХКОЛЕСНОГО ПОДВИЖНОГО УСТРОЙСТВА

Описан принцип стабилизации двухколесного подвижного объекта с использованием одноступенного гироскопа на базе мотоцикла с передним самоустанавливающимся колесом. Определены условия стабилизированного движения конструкции. Предложена кинематическая схема двухколесного мотоцикла и создан его действующий макет.

**Ключевые слова:** гироскоп, стабилизация, гироскопический момент, двухколесный подвижный объект, самоустанавливающееся колесо.

Как известно, гироскопический эффект, обусловленный свойством быстровращающихся масс сохранять положение неизменным в пространстве, находит широкое применение в современной технике. Многообразие возможностей использования гироскопа привлекает к нему внимание специалистов из различных сфер деятельности. Особый интерес представляет использование гироскопа на транспортных средствах для стабилизации их положения при движении без непосредственного участия человека. Разработанная конструкция должна обладать минимальными кинематическими связями.

Теоретическое обоснование стабилизации объектов при движении дано в работах [1, 2], где приведены условия устойчивого передвижения двухколесного велосипеда и мотоцикла по плоской поверхности без проскальзывания при непосредственном управлении седока. Задачи стабилизации подвижного объекта с помощью гироскопа описаны, в частности, в работе [3]. В результате был сконструирован двухколесный мотоцикл [4] на основе двухступенного гироскопа с шарнирной связью наружной рамки маховика с подвижной передней вилкой. Недостатком этой модели являлось то, что при движении задним ходом модель опрокидывалась под воздействием внешних моментов и сил, т.е. становилась неустойчивой при движении по плоской поверхности, а также могла двигаться только по дуге окружности. В работе [5] этот недостаток конструкции устранен.

В работе [6] описывается модель двухколесного автомобиля П. П. Шиловского с двухступенным гироскопом, снабженным стабилизирующим моментным двигателем, но уже без шарнирных связей с вилкой колеса. Компанией „Lit Motors“ опубликованы [7] изображения двухколесного мотоцикла, стабилизация которого осуществляется двумя двухступенными гироскопами, их главные оси расположены под углом в  $45^\circ$  к друг другу.

С целью уменьшения числа кинематических связей и упрощения конструкции была разработана иная схема стабилизации двухколесного подвижного устройства (рис. 1). В настоящей статье приводятся описание и принцип работы двухколесного мотоцикла, снабженного одноступенным инерционным пружинным гироскопом [8], но без механических связей с передней вилкой мотоцикла (рис. 1). Гироскоп 1 установлен в корпусе мотоцикла 2 таким образом, что его главная ось находится в горизонтальной плоскости  $AOB$ , перпендикулярна направлению движения мотоцикла, а вектор кинетического момента  $\mathbf{H}$  гироскопа направлен влево вдоль оси  $A$  относительно направления движения мотоцикла вперед. При этом мотоцикл имеет самоустанавливающееся переднее колесо 3 и заднее опорное колесо 4, движение которого обеспечивает привод 5.

Стабилизация в вертикальной плоскости независимо от направления движения производится гироскопическим моментом, возникающим вследствие отклонения корпуса мотоцикла от вертикали. На рис. 2 приведена принципиальная устойчивая схема стабилизации мотоцикла

(обозначения 1—3 — то же, что и на рис. 1). Так как центр масс мотоцикла находится выше точки опоры, то при его отклонении в плоскости  $AOC$  под действием веса  $P$ , например, влево возникает внешний опрокидывающий момент  $M_B = P_1 L$ , где  $L$  — расстояние от центра масс до точки опоры колеса, вектор которого будет направлен в противоположную сторону движения по оси  $B$ . Этот момент вызовет прецессию гироскопа относительно оси  $C$  с угловой скоростью прецессии  $W_{п.}$ . В результате вектор  $H$  будет стремиться по кратчайшему расстоянию совместиться с вектором внешнего момента  $M_B$  таким образом, что если смотреть с конца вектора угловой скорости прецессии  $W_{п.}$ , этот поворот будет происходить против часовой стрелки, т.е. мотоцикл будет поворачивать влево (самоустанавливающееся колесо повернется влево, и мотоцикл начнет двигаться влево).

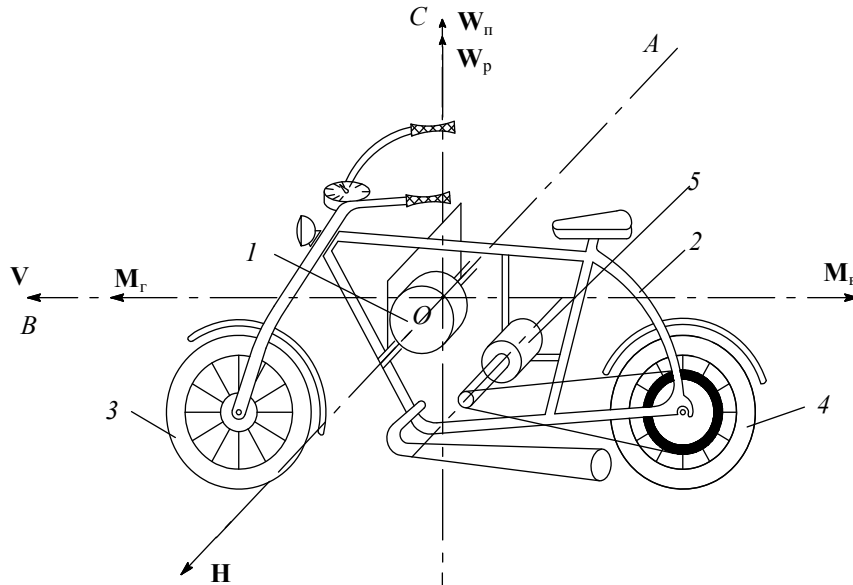


Рис. 1

В свою очередь, угловая скорость  $W_{п.}$ , направленная по оси  $C$ , вызовет появление действующего относительно оси  $B$  гироскопического момента  $M_r = HW_{п.}$ , стремящегося совместить направленный в противоположную сторону от внешнего момента  $M_B$  вектор кинетического момента  $H$  с вектором скорости  $W_{п.}$ . С этого мгновения прекратится отклонение мотоцикла от вертикали в плоскости  $AOC$ . Как выше сказано, мотоцикл приводится в движение с помощью привода заднего колеса, поэтому он продолжает двигаться по дуге окружности с дополнительной угловой скоростью разворота  $W_p$ , направленной в ту же сторону, что и  $W_{п.}$  по оси  $C$ . Поэтому гироскопический момент  $M_r = H(W_{п.} + W_p)$  будет увеличиваться и начнет превышать внешний опрокидывающий момент. Угол отклонения  $Q$  будет уменьшаться, самоустанавливающееся колесо расположится в плоскости  $BOC$ , и мотоцикл вернется в вертикальное положение. В этом случае критерий устойчивости мотоцикла запишется в виде

$$W_p = P_1 L / H - W_{п.} \quad (1)$$

Но в силу инерции конструкции вращение относительно оси  $B$  будет продолжаться. Мотоцикл отклонится вправо от вертикали в плоскости  $AOC$ . Повторится процесс, описанный выше: самоустанавливающееся колесо уже повернется вправо, и начнется движение по дуге окружности в этом направлении. В свою очередь, возникнет стабилизирующий гироскопический момент, и мотоцикл вернется в вер-

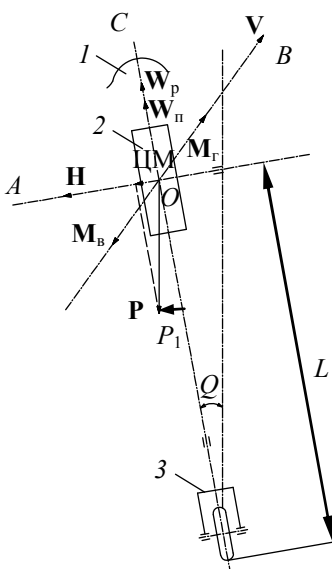


Рис. 2

тикальное положение. Таким образом, мотоцикл будет двигаться практически по прямой траектории. Для разворота влево или вправо к корпусу мотоцикла необходимо приложить дополнительный внешний опрокидывающий момент.

Рассмотрим вариант компоновки мотоцикла для случая, когда вектор кинетического момента  $\mathbf{H}$  гироскопа направлен вправо относительно направления движения мотоцикла вперед. На рис. 3 приведена принципиальная неустойчивая схема мотоцикла. Так, при отклонении мотоцикла от вертикали под действием веса  $P$  вправо возникнет внешний опрокидывающий момент  $\mathbf{M}_B$ . Этот момент вызовет прецессию гироскопа с угловой скоростью  $\mathbf{W}_n$ , под действием которой мотоцикл будет стремиться повернуться влево. Возникнет гироскопический момент  $\mathbf{M}_r = \mathbf{H}\mathbf{W}_n$ , который стабилизирует отклонение мотоцикла от вертикали. Но кинематика мотоцикла такова, что самоустанавливающееся колесо повернется вправо, и он начнет двигаться по дуге окружности вправо с угловой скоростью разворота  $\mathbf{W}_p$ , направленной в противоположную сторону скорости прецессии  $\mathbf{W}_n$  по оси  $C$ . Вследствие этого гироскопический момент  $\mathbf{M}_r = \mathbf{H}(\mathbf{W}_n - \mathbf{W}_p)$  будет уменьшаться, что позволит внешнему моменту  $\mathbf{M}_B$  опрокинуть конструкцию на правую сторону. При отклонении мотоцикла влево повторится такой же процесс с опрокидыванием влево.

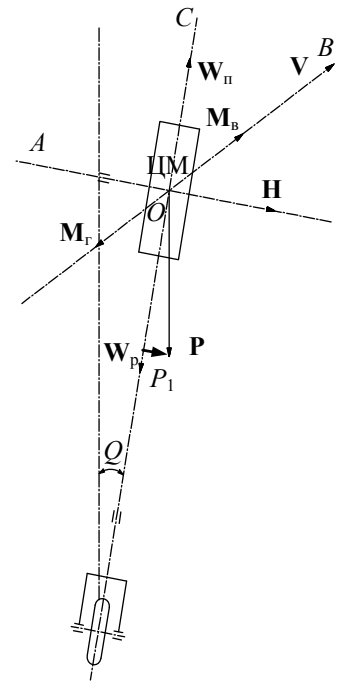


Рис. 3

Таким образом, в настоящей статье описан принцип стабилизации двухколесного мотоцикла с использованием одностепенного гироскопа, определены основные условия стабилизированного движения мотоцикла. Основным фактором такого движения является направление кинетического момента гироскопа относительно вектора линейной скорости мотоцикла. Он должен направляться влево от вектора скорости мотоцикла  $\mathbf{V}$ , а переднее колесо должно быть самоустанавливающимся. Тогда конструкция мотоцикла становится устойчивой к воздействию внешних опрокидывающих моментов и сил, а условие устойчивости записывается в виде равенства (1). На основании проведенных исследований была разработана и реализована модель гироскопического двухколесного мотоцикла, полностью подтвердившая представленные положения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неймарк Ю. А., Фуфаев Н. А. Динамика неголономных систем. М.: Наука, 1967. 519 с.
2. Лурье А. И. Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961. 371 с.
3. Ишинский А. Ю. О неголономном движении гироскопических систем. Прикладные задачи механики. Кн. 2. Механика упругих и абсолютно твердых тел. М.: Наука, 1986. 350 с.
4. Патент Франции № 522726, МКИ А 63 Н 11/14. 1924.
5. Патент SU №1760972, МКИ А63 Н 13/14 / В. И. Ветренко, О. В. Глазкин, В. И. Копытов, В. А. Петрухин, С. Н. Самойлов. 1992. БИ № 33.
6. Павлов В. А. Гироскопический эффект, его проявления и использование. Л.: Судостроение, 1978. 123 с.
7. [Электронный ресурс]: <<http://icarbio.ru/news/2012/janeuary/rolling-smartphon.html>>.
8. Патент SU №1806292, МКИ F03 G 1/02/ 3/08 / В. И. Ветренко, О. В. Глазкин, В. И. Копытов, В. А. Петрухин, С. Н. Самойлов. 1993. БИ № 12.

*Сведения об авторах*

- Владимир Ильич Ветренко** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра производственного менеджмента; E-mail: vladim.vetrenko@yandex.ru
- Татьяна Ильинична Романова** — Томский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра производственного менеджмента; старший преподаватель; E-mail: e2e4@vtomske.ru
- Александр Сергеевич Романов** — студент; Томский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра производственного менеджмента; E-mail: rmnw@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
производственного менеджмента

Поступила в редакцию  
08.01.14 г.

УДК 527.6

Л. П. БАРАБАНОВА

## АЛГОРИТМ ДЛЯ ПРИЕМНИКА ГЛОБАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Представлен новый алгоритм для навигационного приемника системы глобального спутникового позиционирования, разработанный на основе лучевой теории в предположении, что известна зависимость скорости света от расстояния до поверхности Земли.

**Ключевые слова:** навигационный приемник, скорость света, алгоритм, навигация, боковой параметр, задержка прибытия сигнала.

За последние годы написано много статей о влиянии неоднородности атмосферы на показания глобальных навигационных спутниковых систем. Оптимизировать данные навигационных измерений, выполненных с помощью специальной аппаратуры, возможно благодаря тому, что в документах систем GPS и ГЛОНАСС [1] полностью приводятся протоколы приема-передачи навигационных спутниковых сообщений. Настоящая статья посвящена исследованию алгоритмов вторичной обработки сигналов с целью повышения точности позиционирования в неоднородной атмосфере Земли.

Если бы атмосфера была однородной, то задача навигации в ней могла быть решена как разностно-дальномерная. Термин „разностно-дальномерная задача“ (РДЗ) впервые был предложен в работе [2], спустя несколько лет в англоязычной литературе этот метод навигации получил название TDOA (Time Difference of Arrival). Отечественные специалисты называют этот метод беззапросным, поскольку подразумевается, что приемник только принимает сигналы синхронных излучателей (маяков), не отвечая на них. Этот принцип использован в методах спутниковой навигации, в которых основным параметром является неизвестный при привязке к спутниковой шкале времени [3, 4] момент времени синхронного излучения.

Введем исходную базовую систему уравнений РДЗ для однородной атмосферы

$$|x - a_j| = c(t_j - \tau); \quad j = 0, \dots, N - 1, \quad (1)$$

здесь  $|x - a_j|$  — расстояние от известного навигационного спутника (маяка)  $a_j$  до неизвестного приемника  $x$ ,  $c$  — известная постоянная скорость света,  $\tau$  — неизвестный момент синхронного излучения радиосигналов маяками (по часам приемника),  $t_j$  — измеренный момент