

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Курганский государственный университет
Кафедра "Автомобили"

Б.М. Тверсков

ТЕОРИЯ МОТОЦИКЛА

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 150100 -
Автомобиле- и тракторостроение,
специализация Мотоциклостроение

Курган 2004

УСТОЙЧИВОСТЬ МОТОЦИКЛА

Под устойчивостью понимается способность транспортного средства двигаться без бокового скольжения и опрокидывания.

Цель работы – определить влияние на устойчивость двухколесного мотоцикла гироскопического момента его колес.

Оборудование: стенд для определения момента инерции колеса мотоцикла, секундомер, мерительный инструмент.

Пояснения к выполнению работы

При скорости 30-40 км/ч и выше значительное влияние на устойчивость мотоцикла оказывает гироскопический момент колес. За счет гироскопического момента мотоцикл уверенно движется в прямом направлении и от мотоциклиста не требуется постоянно поворачивать руль в сторону падения мотоцикла, как бывает при малой скорости. Чем тяжелее колеса и больше их диаметр, тем выше гироскопический момент и выше устойчивость мотоцикла. Для преодоления гироскопического момента при входе в поворот нужно приложить определенные усилия, для чего мотоциклист сильнее наклоняет туловище в сторону поворота, чем требуется, например, на легком мотоцикле.

Величина гироскопического момента колеса может быть найдена по выражению:

$$M_{\Gamma} = J \cdot \omega_1 \cdot \omega_2, \quad (1)$$

где J – момент инерции колеса, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

ω_1 – угловая скорость вращения колеса, рад/с ;

ω_2 – угловая скорость поворота колеса, рад/с .

Момент инерции колеса определяется известным способом с помощью "трехниточного" подвеса. Для этого колесо подвешивается в горизонтальном положении на закрепленных на ободе трех равноудаленных нитях (шнур, проволока и т.п.), как показано на рис.1. Величина момента инерции колеса находится по выражению

$$J = 8,444 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{G \cdot a^2 \cdot T^2}{L}, \quad (2)$$

где G - вес колеса, Н;

a – расстояние между нитями подвеса, см;

L – длина нитей подвеса, см;

T – период круговых колебаний колеса на подвесе, с.

Таблица 1 – Гироскопический момент колеса

Параметр	Скорость мотоцикла, км/ч						
	30	40	50	60	70	90	120
Угловая скорость колеса ω_1							
Гироскопический момент M_r							

Рассчитанную величину гироскопического момента нужно умножить на два, т.к. на устойчивость мотоцикла влияют гироскопические моменты двух колес – переднего и заднего.

Оценить влияние этих гироскопических моментов на устойчивость мотоцикла.

Отчет по работе должен содержать цель работы, описание и схему стенда, порядок выполнения работы, полученные результаты, их анализ и выводы.

Отчет составляет каждый студент отдельно.

Лабораторная работа № 2

МОМЕНТ ПРЕЦЕССИИ КОЛЕСА МОТОЦИКЛА

Цель работы – определить значение момента прецессии управляемого колеса мотоцикла "Урал".

Оборудование: стенд для проведения работы, колесо мотоцикла "Урал", весовое устройство для замера момента прецессии.

Пояснения к выполнению работы

Прецессия – поворот вращающегося тела при действии на него поперечного момента - $M_{\text{п}}$. В данном случае - поворот вращающегося колеса мотоцикла, когда он наклоняется при входе в поворот. На колесо действует момент прецессии $M_{\text{пр}}$, который стремится повернуть колесо в сторону наклона (рисунок 1).

Рисунок 1 – Моменты, действующие на колесо мотоцикла

Прецессия способствует лучшей управляемости мотоцикла, т.к. снижает усилие на руле, прикладываемое водителем при движении на повороте.

Не нужно путать прецессию с поворотом колеса из-за различных радиусов с обеих сторон шины в зоне её контакта с дорогой (рисунок 2), когда со стороны наклона радиус меньше и, следовательно, меньше проходимый путь. Поэтому катящееся колесо поворачивается в сторону наклона.

Рисунок 2 – Качение колеса на повороте

На повороте на мотоцикл действует центробежная сила, из-за чего в пятне контакта шины с дорогой появляется поперечная сила - реакция на центробежную силу. Так как середина пятна контакта находится сзади оси поворота управляемого колеса, реакция препятствует повороту (рисунок 3). Способствуют же повороту управляемого колеса сила тяжести деталей группы 1 мотоцикла, прецессия и момент из-за различных радиусов в зоне контакта колеса. Сумма моментов от всех этих сил должна быть равна нулю или близка к нему. Тогда усилие на руле мотоцикла будет минимальное.

Рисунок 3 - Силы, действующие на управляемое колесо мотоцикла

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить Методические указания к выполнению лабораторной работы и конструкцию стенда.
- 2 Установить на стенд устройства для замера прикладываемой к колесу силы, если они были сняты.
- 3 Раскрутить установленное на стенде колесо мотоцикла до оборотов, которые были определены.
- 4 Создавая момент в вертикальной поперечной плоскости колеса, повернуть вращающееся колесо вместе с рамкой, на которой оно установлено, вокруг продольной горизонтальной оси на угол 30 – 40 градусов. Обратить внимание на то, что колесо резко поворачивается вокруг его вертикальной оси. Причиной этого является действие момента **прецессии**.
- 5 Динамометром замерить гироскопический момент колеса и момент прецессии.
- 6 Рассчитать гироскопический момент колеса и сравнить его с экспериментально полученной величиной. Объяснить причину отклонений, если она оказалась.
- 7 Заполнить приведенную ниже таблицу и построить графики зависимости момента прецессии от гироскопического момента при различных частотах вращения колеса.

Техническая характеристика мотоцикла с боковым прицепом "Урал" модели ИМЗ-8.103-10

База, мм	1455
Колея, мм.....	1100
Ширина, мм.....	1700
Длина, мм.....	2200
Расстояние от оси заднего колеса мотоцикла до оси колеса бокового прицепа, мм	230
Вес мотоцикла, Н.....	3500
Вес перевозимого груза, Н	2500
Нагрузка на переднее колесо, Н.....	1500
Нагрузка на заднее колесо, Н.....	2500
Нагрузка на колесо прицепа, Н.....	1000
Максимальная скорость, км/ч.....	105
Мощность двигателя, кВт (л.с.).....	26,4 (36)

Контрольный расход топлива, л/100 км.....8 (не более)

Гироскопический момент колеса определить или взять из предыдущей лабораторной работы.

$$M_{гс} = J_k \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 ,$$

где $M_{гс}$ - гироскопический момент колеса, кг·м²/с²;

J_k - момент инерции колеса, кг·м²;

ω_1 – угловая скорость вращения колеса, 1/с;

ω_2 - угловая скорость поперечного поворота колеса, в расчетах принять 0,5; 1,0 и 1,5 рад/с.

$$\omega_1 = 2\pi \cdot n , \quad n = V / 3,6 \cdot 2\pi \cdot r,$$

где n – обороты колеса в секунду;

V - скорость мотоцикла, км / ч;

r - статический радиус колеса, м (замерить или определить расчетом по обозначениям на покрышке);

Определить момент прецессии при указанных в таблицы 1 скоростях мотоцикла-одиночки на повороте радиусом 20 м при условии, что до поворота мотоцикл двигался прямо.

Таблица 1- Моменты, действующие на мотоцикл

Момент, Н·м	Скорость мотоцикла, км/ч				
	50	70	90	120	150
Гироскопический Прецессии					

Рассчитать необходимый для прохождения поворота угол наклона мотоцикла, высота центра тяжести – 1,1 м. Полученную экспериментом величину гироскопического момента проверить расчетом. Результаты эксперимента занести в таблицу 1 и построить график зависимости момента прецессии от гироскопического момента.

Отчет по работе

Отчет по лабораторной работе должен включать: цель работы, описание стенда, полученные результаты, таблицу и график зависимости момента прецессии от гироскопического момента, выводы.

Отчет составляется отдельно каждым студентом.

УСТОЙЧИВОСТЬ МОТОЦИКЛА С БОКОВЫМ ПРИЦЕПОМ

Мотоцикл с боковым прицепом более устойчив на малых скоростях, чем "одиночка". Его устойчивость достигается за счет опоры на три колеса.

Цель лабораторной работы: 1. Определить предельную скорость движения мотоцикла "Урал" с боковым прицепом на закруглении дороги, выше которой он опрокинется. 2) Насколько более устойчива четырехколесная конструкция (мотоцикл, автомобиль) по сравнению с трехколесной.

Оборудование – мотоцикл "Урал", весы, мерительный инструмент.

Транспортная машина сохраняют устойчивость пока геометрическая сумма от вертикально расположенного вектора силы тяжести, проведенного из центра тяжести, и вектора поперечной силы, появляющейся при движении на повороте или на дороге с поперечным уклоном, не выйдет за границу опорной зоны. Опорная зона – площадка, ограниченная прямыми, проведенными через центры пятен колес (рисунок.1).

Рисунок 1 – Опорная зона мотоцикла

Порядок выполнения работы

- 1 Поставив на весы каждое из колес груженого мотоцикла, определить приходящиеся на них нагрузки.
- 2 Замерить базу и колею мотоцикла, на листе бумаги построить в масштабе чертеж опорной зоны мотоцикла.
- 3 Определить положение центра тяжести мотоцикла "Урал" с боковым прицепом.
- 4 Определить величину поперечной силы, при которой геометрическая сумма вектора силы тяжести и вектора поперечной силы, если её продолжить, не выходит за пределы опорной зоны мотоцикла.
- 5 Найти предельную скорость движения мотоцикла "Урал" на закруглении горизонтальной дороги в заданных условиях (см. табл.1) при повороте направо и налево.

- 6 В этих же условиях найти предельную скорость движения транспортной машины, аналогичной по геометрическим параметрам мотоциклу "Урал", но опирающейся на четыре колеса.
- 7 Проанализировать полученные результаты и подготовить отчет.

Для нахождения положения центра тяжести мотоцикла необходимо составить сумму моментов действующих на колеса реакций и момента от силы веса. Сначала находится положение центра тяжести по длине мотоцикла, а потом – по ширине. Соответственно суммы моментов составляются в продольной и в поперечной плоскости мотоцикла. Высоту расположения центра тяжести при расчетах брать из таблицы 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры испытаний мотоцикла

Радиус закругления дороги, м	Высота расположения центра тяжести мотоцикла, м			
	0,5	0,65	0,8	1,0
10				
20				
30				

Найденное положение центра тяжести нанести на чертеж опорной зоны и измерить расстояние от центра тяжести до её границы – линии, соединяющей центры пятен контактов переднего колеса и колеса прицепа, если мотоцикл поворачивает налево и переднего и заднего колеса – при повороте направо.

На отдельном рисунке отложить высоту расположения центра тяжести и перпендикулярно к ней из её конца в том же масштабе провести прямую длиной, равной замеренному расстоянию от центра тяжести до границы опорной зоны. Если принять изображенную высоту центра тяжести в определенном масштабе равной весу мотоцикла, то перпендикулярная к ней линия в том же масштабе изображает максимально возможную поперечную центробежную силу, превышение которой вызовет опрокидывание мотоцикла (рисунок 2).

Рисунок 2 – Способ нахождения максимальной центробежной силы

Определив таким образом центробежную силу, из выражения (1) найти предельную скорость мотоцикла на дороге с указанными в таблице 1 радиуса-

ми закругления и различной высоте расположения центра тяжести. Полученные результаты занести в таблицу 1.

$$P_j = \frac{G_m \cdot V^2}{g \cdot R} \quad \text{Н}, \quad (1)$$

где R – радиус закругления дороги, м;

V – скорость мотоцикла, м/с;

G_m – вес мотоцикла, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Этим же способом определить предельную скорость, если вместо трех установлены четыре колеса. Опорная зона в этом случае имеет четырехугольную форму. Результаты занести в такую же таблицу.

Отчет по лабораторной работе должен включать: цель работы, описание, методики выполнения работы, полученные результаты, таблицу с подробным анализом полученных результатов, выводы.

Отчет составляется отдельно каждым студентом.

Лабораторная работа № 4

СТАБИЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОГО КОЛЕСА МОТОЦИКЛА

Правильность установки управляемого колеса мотоцикла определяется величиной момента на руле, необходимого для его удержания при движении на повороте и дороге с поперечным уклоном. Желательно, чтобы момент этот был равен нулю при любом угле поворота управляемого колеса и всех возможных скоростях. В данной лабораторной работе анализируется движение мотоцикла с боковым прицепом, когда наклон мотоцикла на повороте невозможен, а также движение в этих условиях мотоцикла без бокового прицепа с наклоном.

Цель лабораторной работы – определить действующий на повороте на управляемое колесо поворачивающий момент и момент, препятствующий повороту, т.е. стабилизирующий качение колеса и момент на руле мотоцикла "Урал".

Оборудование: Мотоцикл "Урал", мерительный инструмент для определения геометрических параметров подвески переднего колеса.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ

Расстояние s (рисунок 1) от вертикальной оси переднего управляемого колеса до точки пересечения оси $o-o$ поворота деталей гр.1 (управляемое колесо, вилка, руль) с поверхностью дороги называется вылетом передней вилки мотоцикла. Обычно он равен 80... 100 мм, на спортивных мотоциклах может быть больше.

Рисунок 1 – Вылет передней вилки мотоцикла

Точка пересечения вертикальной оси колеса с дорогой есть центр пятна контакта колеса и дороги. Перпендикуляр, опущенный из центра пятна контакта на ось $o-o$, - плечо r_1 , на котором приложенная в центре пятна контакта поперечная сила P_n , появляющаяся при движении на закруглении дороги, создает момент, направленный в сторону, обратную повороту. К этому моменту добавляется еще момент от силы сопротивления качению колеса. Нейтрализуется действие этих моментов моментом от силы веса деталей группы 1, если, например, мотоцикл одиночка наклонен, а также моментом из-за различных по величине радиусов качения колеса с наружной и внутренней сторон наклоненного колеса (рисунок.2) и моментом прецессии колеса.

Рисунок 2 – Силы и моменты, действующие на управляемое колесо мотоцикла

Если мотоцикл эксплуатируется с боковым прицепом, наклон его на повороте не возможен. Необходимый для удержания руля момент в этом случае равен:

$$M_p = P_n r_1 + P_f e \cos \alpha ,$$

где M_p - момент, необходимый для удержания руля мотоциклистом, Н·м;

P_n - поперечная сила (реакция на действие центробежной силы или силы от поперечного уклона дороги, приложена в центре пятна контакта управляемого колеса и дороги), Н;

r_1 - расстояние от центра пятна контакта до оси поворота колеса, м;

P_f - сила сопротивления качению управляемого колеса, Н.

e - смещение пятна контакта управляемого колеса от продольной оси мотоцикла при повороте колеса;

Но $r_1 = c \cdot \cos \alpha$, а $e = c \cdot \sin \vartheta$,
 где c - вылет передней вилки мотоцикла, м;
 α - угол наклона оси поворота переднего колеса (обычно - $60...62^\circ$);
 ϑ - угол поворота управляемого колеса, град.

$$P_f = G_M \cdot f \quad \text{и} \quad P_{\Pi} = \frac{G_{M1} V}{g R},$$

где G_{M1} - вес, приходящийся на переднее колесо при полной загрузке мотоцикла Н;

f - коэффициент сопротивления качению колеса;
 V - скорость мотоцикла на повороте, м/с;
 g - ускорение свободного падения, м/с;
 R - средний радиус закругления траектории, по которой движется мотоцикл на повороте, м.

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \vartheta},$$

где L - база мотоцикла, м.

Чем меньше момент M_p , тем удобней управлять мотоциклом. Величину этого момента нужно рассчитать и занести в таблицу.

При эксплуатации мотоцикла "Урал" без бокового прицепа, когда наклон мотоцикла возможен, момент на руле M_p на горизонтальной дороге равен:

$$M_p = G_1 r_2 \sin \beta - P_{\Pi} \cdot c \cdot \cos \alpha - P_f \cdot e \cdot \cos \alpha,$$

где $G_1 r_2 \sin \beta$ - момент от силы веса гр.1, Н·м;
 G_1 - вес узлов и деталей гр.1 мотоцикла, т.е. расположенных до оси поворота колеса, Н;
 r_2 - расстояние от центра тяжести гр.1 до оси поворота колеса, м;
 β - угол поперечного наклона мотоцикла в вертикальной плоскости, град.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Замерить вылет передней вилки мотоцикла "Урал" - c , м;

Определить:

- положение центра тяжести мотоцикла;
- вес мотоцикла, приходящийся на переднее колесо – G_M , Н, для чего колесо поставить на весы;
- величину поперечной силы P_{Π} - реакции на действие центробежной силы в зоне пятна контакта управляемого колеса с дорогой при движении с углами его поворота $2, 5, 10$ и 20° и скорости, соответственно, $60, 30, 20, 10$

- км/ч, Н. Дорога - сухой асфальт;
- момент M_p на руле мотоцикла с боковым прицепом, необходимый для удержания колеса в повернутом положении при этих углах и скоростях;
 - момент M_p при движении прямо мотоцикла с боковым прицепом, если дорога имеет поперечный уклон 5 и 10° ;
 - величину смещения "е" пятна контакта управляемого колеса от продольной оси мотоцикла при этих углах, и стабилизирующий момент от этого смещения при указанных углах;
 - вес деталей и узлов гр.1 и положение её центра тяжести;
 - момент M_p мотоцикла без бокового прицепа, когда боковой наклон мотоцикла возможен и действует момент от силы веса гр.1;
 - расстояние до центра тяжести группы.1 от оси поворота передней вилки, при котором M_p
 - мотоцикла без бокового прицепа, движущегося на повороте с указанными скоростями и углами поворота колеса, равен нулю;
 - величину r_2 , когда момент на руле M_p равен нулю при указанных выше скоростях движения и углах поворота управляемого колеса.

Угол	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
sin	0,017	0,034	0,052	0,069	0,087	0,104	0,121	0,139	0,156	0,173	0,190	0,207
cos	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,984	0,981	0,978
tg	0,174	0,034	0,052	0,069	0,087	0,105	0,122	0,140	0,158	0,176	0,194	0,215

Угол	15°	20°
sin	0,258	0,342
cos	0,965	0,939
tg	0,267	0,363

Если мотоцикл движется по дороге с поперечным уклоном γ , управляемое колесо будет поворачиваться в сторону уклона. Для удержания руля мотоциклист прикладывает значительные усилия. Создаваемый при этом момент на руле может быть рассчитан как

$$M_p = G_{M1} \sin \gamma \cos \gamma \cdot c \cdot \cos \alpha .$$

Найденные значения занести в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Моменты на руле мотоцикла

Скорость мотоцикла	Момент от силы P_{f1} , Н·м	Момент от силы $P_{п1}$, Н·м	Момент на руле M_p , Н·м

Таблица 2 – Поперечная сила и моменты, действующие на переднее колесо мотоцикла

Угол попер. наклона мотоцикла,	Поперечная сила в контакте передн. колеса, Н	Момент, поворач. переднее колесо, Н м	Момент от сил веса гр.1, Н м

При расчетах принять:

- полный вес мотоцикла "Урал" - 5900 Н,
- вес снаряженного мотоцикла с коляской - 3300 Н,
- вес пассажиров и груза - 2600 Н,
- база мотоцикла - 1,455 м.

Отчет по лабораторной работе должен содержать цель работы, описание методов выполнения работы, полученные результаты, заполненные таблицы, выводы.

Отчет составляет каждый студент отдельный, объем отчета не менее 2 страниц.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО УГЛА СХОЖДЕНИЯ КОЛЕСА КОЛЯСКИ

Цель – измерить угол схождения колеса бокового прицепа мотоцикла "Урал" и сравнить его с теоретически необходимым в различных дорожных условиях.

Оборудование – мотоцикл "Урал" мерительный инструмент.

Пояснения к выполнению работы

Сила сопротивления качению колеса бокового прицепа создает поворачивающий момент относительно центра пятна контакта заднего колеса и прицепа. Момент этот действует на переднее колесо и создает момент на руле мотоцикла.

Чтобы управлять мотоциклом было нетрудно, поворачивающий момент на руле от влияния прицепа должен отсутствовать и мотоцикл без усилий со стороны водителя должен двигаться в прямом направлении. Это можно получить, если установить колесо прицепа со схождением, т.е. повернуть его в сторону мотоцикла на угол γ , как указано на рисунке 1. По рекомендации ИМЗ – завода-изготовителя мотоциклов "Урал" – при длине базы мотоцикла 1455 мм схождение должно быть 10...12 мм.

Повернутое колесо будет катиться с постоянным уводом. Угол схождения равен углу увода. В центре контакта этого колеса с дорогой появится поперечная сила, называемая силой сопротивления уводу. Относительно верти-

кальной оси, проведенной через центр пятна контакта заднего колеса, эта сила создаст момент, направленный в сторону, обратную моменту от силы сопротивления качению колеса прицепа и устранит его действие. Чтобы усилие на руле не появлялось, моменты от силы сопротивления качению колеса прицепа и силы сопротивления уводу должны быть равны между собой. На разных по качеству дорогах, имеющих различное сопротивление, углы схождения колеса прицепа должны быть различные. Но так как сделать это трудно, угол схождения выбирается постоянным, исходя из условий движения по асфальтированной дороге.

Порядок выполнения работы

- 1 Замерить геометрические параметры мотоцикла с боковым прицепом: базу, колею, вылет и угол наклона передней вилки, плечо стабилизации, угол схождения колеса прицепа, вес, приходящийся на колесо прицепа.
- 2 Определить силу сопротивления качению колеса прицепа, установленно-го без схождения, на асфальтированной, грунтовой и песчаной горизонтальных дорогах при полной загрузке мотоцикла.
- 3 Найти, какой должен быть коэффициент сопротивления уводу шины, чтобы на асфальтированной дороге не появлялся поворачивающий момент на руле.
- 4 По найденному коэффициенту сопротивления уводу шины определить поворачивающий момент на руле на грунтовой и песчаной горизонтальных дорогах.
- 5 Найти положение центра тяжести мотоцикла и определить поворачивающий момент на руле мотоцикла "Урал" на дорогах с поперечным уклоном 2, 4, 6°. Полученные результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Поворачивающий момент на руле мотоцикла "Урал"

Дорога	Поперечный уклон дороги, град.		
	2	4	6
Асфальтированная			
Грунтовая			
Песчаная			

Отчет по лабораторной работе должен содержать цель работы, описание методов выполнения работы, полученные результаты, заполненные таблицы, выводы.

Отчет составляет каждый студент отдельно, объем отчета не менее 2 страниц.

Тверсков Борис Михайлович

ТЕОРИЯ МОТОЦИКЛА

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 150100
Автомобиле- и тракторостроение,
специализация Мотоцикlostроение

Редактор Кокина Н.М.

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Заказ

Усл. печ. л.

Тираж 100

Бумага тип. № 1

Уч. изд. л.

Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета.

640669, г.Курган, ул. Гоголя, 25.

Курганский государственный университет, ризограф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Работа автомобильной шины. Под ред. В.И.Кнороза –М: Транспорт, 1976. 238 с. Авт.: В.И. Кнороз, В.Е. Кленников, И.П. Петров, А.С., Шелухин, Ю.М. Юрьев).
- 2 Тарновский В.Н. и др. Автомобильные шины: Устройство, работа, эксплуатация, ремонт/ В.Н. В.Н. Тарновский, В.А. Гудков, О.Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
- 3 Савельев Г.В. Автомобильные колеса. – М.: Машиностроение, 1983 – 151 с., ил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кудрич Б.И. Теория гироскопических приборов. _ Л: 1963
Ривкин С.С. Теория гироскопических устройств.
Физический энциклопедический словарь. - М.:
Большая российская энциклопедия, 1995,стр.125, Гироскоп.