

**Контрольные индивидуальные задания для заочников,
студентов гр. Z5111 и Z5112К,
по дисциплине Системы стабилизации, ориентации и
навигации.**

Индивидуальное задание состоит из задачи на знание и умение применять закон прецессии, описывающий поведение гироскопа с тремя степенями свободы в кардановом подвесе под действием постоянных внешних моментов действующих по осям подвеса и ответа на вопрос, посвященный тому или иному гироскопическому прибору. Ответ на вопрос подразумевает освещение назначения, устройства (кинематической схемы), принципа действия, математической модели, ошибок и проблем эксплуатации конкретного гироскопического прибора.

1. Задача

Закон прецессии описывает поведение гироскопа с тремя степенями свободы в кардановом подвесе при действии постоянного внешнего момента.

При действии постоянного внешнего момента по внутренней или наружной оси подвеса возникает прецессионное движение с угловой скоростью прецессии, величина которой прямо пропорциональна вектору внешнего момента и обратно пропорциональна величине кинетического момента гироскопа.

Вектор угловой скорости прецессии направлен перпендикулярно плоскости, в которой расположены векторы кинетического и внешнего моментов, и направлен в ту сторону, из которой совмещение вектора кинетического момента к в вектору внешнего момента будет казаться происходящим по кратчайшему пути и против хода часовой стрелки.

Особенностью прецессионного движения по наружной оси подвеса является то обстоятельство, что время действия внешнего момента по внутренней оси подвеса не ограничено. Это обусловлено тем, что в ходе прецессионного движения не изменяется кинематика гироскопа (взаимное положение рамок его подвеса) – рамки остаются взаимно перпендикулярны.

При действии внешнего постоянного момента по наружной оси подвеса в результате прецессионного движения внутренней рамки она с течением времени совершает поворот на 90 градусов и приходит в плоскость наружной рамки. При этом ротор гироскопа лишается возможности поворачиваться вокруг оси (теряет одну степень свободы) и при продолжении действия внешнего момента начинает вести себя как обычное твердое тело под действием постоянного внешнего момента — ускоренно поворачиваться вокруг той оси, по которой действует момент. Внутренняя рамка перестает поворачиваться вокруг оси O_B , но начинает ускоренно поворачиваться вместе с наружной рамкой вокруг оси O_C

Задания на задачу представлены в таблице. В столбцах указано:

- в первом столбце указан порядковый номер задания,
- во втором столбце – схема расположения системы координат $OABC$, связанная с гироскопом (ось OA – главная ось гироскопа, оси OB и OC – внутренняя и наружная оси гироскопа соответственно). Положительное направление,
- в третьем столбце – указан кинетический момент гироскопа H и его направление (знак «+» свидетельствует о его направлении в положительную сторону оси OA , знак «-» вектор кинетического момента направлен в отрицательную сторону оси OA),
- четвертый столбец задает вектор внешнего момента по внутренней или наружной оси подвеса гироскопа (момент по внешней оси обозначен M_c , по внутренней – M_b , направление момента относительно соответствующей оси задается знаком момента «+» или «-»);
- пятый столбец задает вектор угловой скорости прецессии ω_{pc} или ω_{pb} , а также его направление.

В ходе выполнения задания студент должен:

- изобразить гироскоп с тремя степенями свободы в соответствии с заданным расположением его системы координат $OABC$;
- обозначить стрелками на изображении гироскопа заданные в соответствии с индивидуальным заданием два вектора, которые фигурируют в законе прецессии (H , M_c , M_b , ω_{pc} или ω_{pb});
- применяя закон прецессии определить направление недостающего вектора (кинетического момента, внешнего момента или угловой скорости прецессии);
- указать стрелкой и соответствующим обозначением расположение найденного вектора на изображении гироскопа;
- проиллюстрировать поведение гироскопа при действии заданного постоянного момента путем изображения графиков зависимостей углов поворота внутренней и наружной рамки от времени – $\beta(t)$ и $\alpha(t)$ соответственно.

Пример решения задачи №36. В соответствии с заданием вектор кинетического момента направлен в отрицательную сторону главной оси OA , а вектор постоянного внешнего момента направлен в положительную сторону внутренней оси подвеса гироскопа OB . Тогда в соответствии с законом прецессии вектор угловой скорости прецессии будет направлен по наружной оси подвеса OC в отрицательную сторону. В результате гироскоп (его наружная рамка) будет с постоянной скоростью (скоростью прецессии) поворачиваться вокруг наружной оси OC относительно корпуса. Угол поворота наружной рамки будет увеличиваться в отрицательную сторону прямо пропорционально текущему времени

$$\alpha(t) = \omega_{nc} \cdot t.$$

Внутренняя рамка будет сохранять свое неизменное положение относительно наружной рамки. Однако из-за особенностей конструкции караданова подвеса она будет вращаться вместе с наружной рамкой относительно корпуса вокруг оси oC . Изображение гироскопа с заданными векторами кинетического момента и внешнего постоянного момента, а также найденного вектора угловой скорости прецессии приведено на рис. 1., а на рис.2 приведены зависимости изменения углов поворота наружной и внутренней рамок гироскопа.

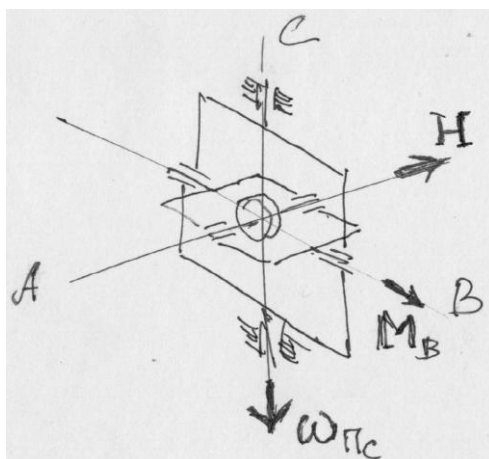


Рисунок 1 – изображение гироскопа к варианту №36 задачи с заданными векторами кинетического момента и внешнего постоянного момента, а также угловой скорости прецессии

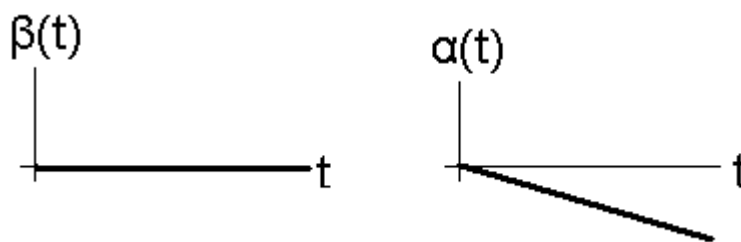
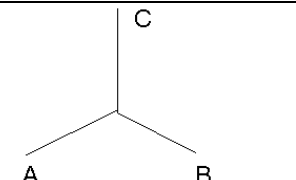
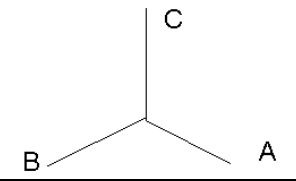
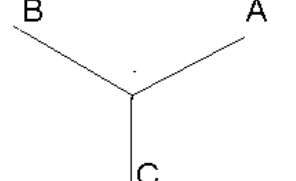
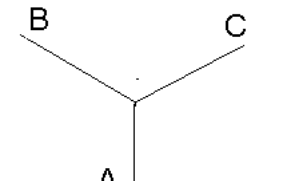
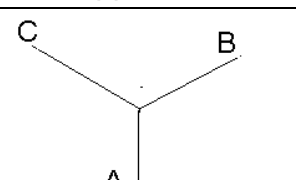
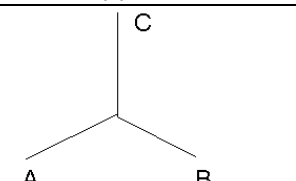
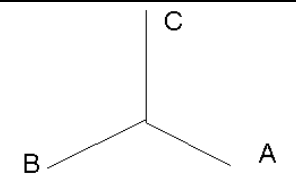
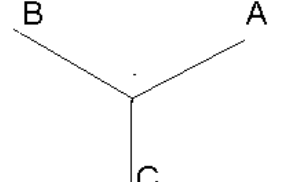
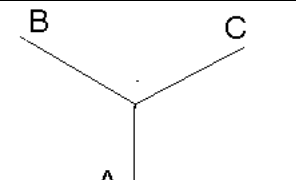
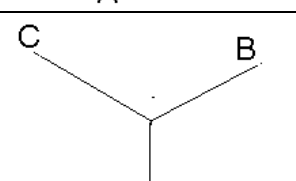
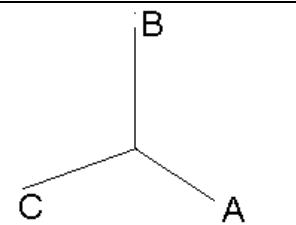
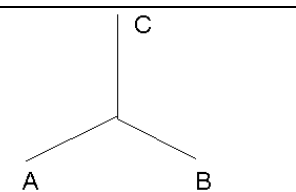
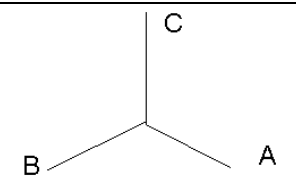
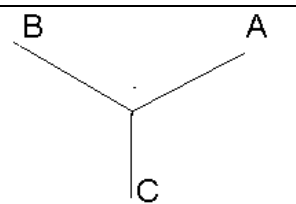
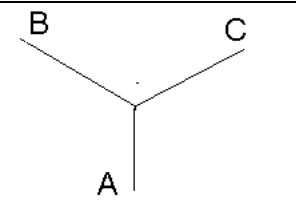
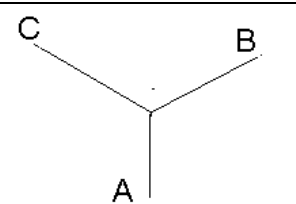
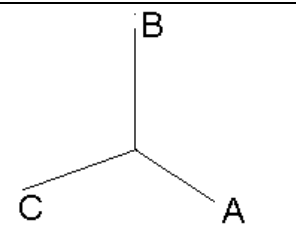
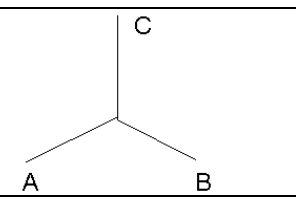
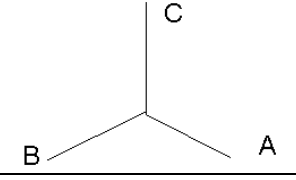
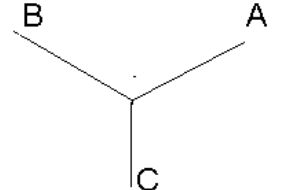


Рисунок 2 - зависимости изменения углов поворота наружной и внутренней рамок гироскопа от времени действия внешнего момента

Таблица Индивидуальные задания по задаче на закон прецессии

№ п.п.	Система координат	H	M_c , или M_B	ω_{pc} или $\omega_{пв}$
--------	-------------------	-----	-------------------	---------------------------------

1			$+ M_C$	$+ \omega_{nc}$
2		$+H$		$- \omega_{nc}$
3		$+H$	$+ M_B$	
4			$- M_B$	$- \omega_{nc}$
5		$-H$		$- \omega_{nc}$
6		$-H$	$- M_B$	
7			$+ M_C$	$+ \omega_{nc}$
8		$+H$		$- \omega_{nc}$
9		$+H$	$+ M_B$	
10			$- M_B$	$- \omega_{nc}$

11		-H		- ω_{nc}
12		+H	+ M_B	
13			+ M_C	+ ω_{nc}
14		+H		- ω_{nc}
15		+H	+ M_B	
16			- M_B	- ω_{nc}
17		-H		- ω_{nc}
18		-H	- M_B	
19			+ M_C	+ ω_{nc}
20		+H		- ω_{nc}

21		+H	+ M_B	
22			- M_B	- ω_{nc}
23		-H		- ω_{nc}
24		-H	+ M_B	
25			+ M_c	+ ω_{nc}
26		+H		- ω_{nc}
27		+H	+ M_B	
28			- M_B	- ω_{nc}
29		-H		- ω_{nc}
30		-H	+ M_B	

31			$+ M_c$	$+ \omega_{nc}$
32		$+H$		$- \omega_{nc}$
33		$+H$	$+ M_B$	
34			$- M_B$	$- \omega_{nc}$
35		$-H$		$- \omega_{nc}$
36		$+ H$	$+ M_B$	

2. Вопросы

1. ГП для измерения углов отклонения объекта от заданного направления движения
2. Причины погрешностей ГП на базе астатического гироскопа (зависящие от времени)
3. Кардановые погрешности ГП на базе астатических гироскопов
4. Гироскоп направления (ГН)
5. Причины погрешностей ГН
6. Кинематическая азимутальная коррекция ГН
7. Моментная азимутальная коррекция
8. Горизонтальная коррекция ГН – маятниковое нивелирование
9. Горизонтальная коррекция ГН – межрамочная
10. ГН с дополнительным кольцом
11. Гиромагнитный компас
12. Гироскоп Фуко
13. Гироскоп с 3 степенями свободы
14. Настройка гироскопа на период колебаний Шулера

15. Гировертикаль с маятниковой коррекцией
16. Инерциальная гировертикаль
17. Датчик угловой скорости с механической пружиной
18. Датчик угловой скорости с электрической пружиной
19. Гироскоп
20. Интегратор угловой скорости
21. Гироскоп линейных ускорений
22. Принцип гироскопической стабилизации
23. Одноосный гиростабилизатор
24. Двухосный гиростабилизатор
25. Малогабаритная гировертикаль
26. Трёхосный гиростабилизатор
27. ДУС на базе роторного вибрационного гироскопа
28. Динамически настраиваемый гироскоп
29. ДУС на базе волоконно-оптического гироскопа
30. ДУС на базе лазерного гироскопа
31. Твердотельный волновой гироскоп
32. Гироскоп с подвесом твердотельного ротора в электростатическом поле
33. Гироскоп с подвесом твердотельного ротора в магнитном поле
34. Микромеханический гироскоп LL типа
35. Микромеханический гироскоп RR типа
36. Платформенные инерциальные системы навигации

Условные обозначения: ГП - гироскоп, ГН гироскоп направления, ДУС – датчик угловой скорости, ДНГ – динамически настраиваемый гироскоп.

3. Схема ответа (письменного и устного) на вопрос:

- Назначение (для чего нужен и что измеряет),
- устройство (кинематическая схема),
- принцип действия (как работает и почему удается получить именно то, что измеряет),
- математическая модель (уравнения движения, физический смысл слагаемых и сомножителей),
- характерные ошибки и проблемы, связанные с эксплуатацией.

Номер задания соответствует порядковому номеру студента в ведомости (узнать в деканате). Для гр. Z5111 предусмотрены номера заданий с 1 по 15, дл гр. Z5112К – с 16 по 35.

Важно, предварительно, до начала сессии (прослушивания лекций и выполнения лабораторных работ) следует изучить основы теории гироскопических приборов и систем.

Контрольные вопросы:

1. Основная задача навигации
2. Основное свойство быстровращающихся тел
3. Видимый уход гироскопа с 3 степенями свободы
4. Закон прецессии
5. Кориолисово (поворотное) ускорение и гироскопический момент
6. Уравнения движения гироскопа с 3 степенями свободы в инерциальной системе координат
7. Уравнения движения гироскопа с 3 степенями свободы в подвижной системе координат (видимый уход)
8. Собственное движение гироскопа и его параметры
9. Влияние вязкого трения на поведение гироскопа с 3 степенями свободы
10. Влияние сухого трения на поведение гироскопа с 3 степенями свободы
11. Уравнения движения гироскопа с 2 степенями свободы в инерциальной системе координат
12. Уравнения движения гироскопа с 2 степенями свободы в подвижной системе координат
13. Влияние вязкого трения на поведение гироскопа с 2 степенями свободы
14. Влияние сухого трения на поведение гироскопа с 2 степенями свободы
15. Принципы построения giroприборов (ГП).

4. Литература:

Перечень основной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке ГУАП (кроме электронных экземпляров)
531 Л 84	Прикладная теория гироскопов [Текст] : учебник / Д. П. Лукьянов, В. Я. Распопов, Ю. В. Филатов ; Концерн "ЦНИИ "Электроприбор". - СПб. : Изд-во ЦНИИ "Электроприбор", 2015. - 316 с. : рис. - Библиогр. в конце глав, с. 312	15
629.7 М 59	Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов [Текст] / Р. В. Алалуев [и др.] ; ред. В. Я. Распопов. - М.	6

	: Машиностроение, 2011. - 184 с.	
681.2 P 24	Микромеханические приборы [Текст] : учебное пособие / В. Я. Распопов. - М. : Машиностроение, 2007. - 400 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 394 - 396. - Предм. указ.: с. 397 - 399.	7
629.7 С28	Механика гироскопических систем [Текст] : учебное пособие для вузов / Л. А.Северов. - учеб. изд. - М. : Изд-во МАИ, 1996. - 212 с. : рис. - Библиогр. : с. 201	55
	Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации на МЭМС-датчиках. Матвеев В.В. Распопов В.Я. – Тула, Изд-во ТулГУ, 2017. – 225с.	5

Перечень дополнительной литературы приведен в таблице 8.

Шифр	Библиографическая ссылка/ URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
629.7 М 33	Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст] : учебное пособие / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов ; ред. В. Я. Распопов ; ГНЦ РФ - ЦНИИ "Электроприбор". - науч. изд. - СПб. : Изд-во ГНЦ РФ - ЦНИИ "Электроприбор", 2009. - 278 с.	4
681.2 P24	Приборы первичной информации : Микромеханические приборы [Текст] : учебное пособие / В. Я. Распопов ; Тул. гос. ун-т. - Тула : [б. и.], 2002. - 390 с.	8
629.7 Б83	Гироскопические приборы и устройства систем управления [Текст] : учебное пособие для втузов / В. Н.Бороздин. - М. : Машиностроение, 1990. - 272 с.	10
629.7 К64	Гироскопические системы [Текст] : учебник / С. Ф.Коновалов. - М. : Высш. шк., 1977 - 1980. Ч. 3 : Акселерометры, датчики угловой	12

	скорости, интегрирующие гироскопы и гироскопы и гироскопы / С. Ф. Коновалов, Е. А. Никитин, Л. М. Селиванова; Ред.: Д. С. Пельпор. - 1980. - 128 с. : ил., схем. - Библиогр. : с. 127	
531 П12	Гироскопический эффект, его проявления и использование / В. А. Павлов. - 5-е изд., перераб. и доп. - Л. : Судостроение, 1985. - 176 с	21
629.7 П12	Теория гироскопа и гироскопических приборов [Текст] : учебное пособие / В. А. Павлов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Судостроение, 1964. - 495 с. : рис., схем. - Библиогр. : с. 488.	50

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины

URL адрес	Наименование
http://lib.aanet.ru/jirbis2/	Общая теория систем ориентации [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению лабораторных работ / Ленингр. ин-т авиац. приборостроения ; сост. Г. Н. Кудряшов, А. В. Сазонов, С. Ф. Скорина. - Электрон. текстовые дан. - Л. : Изд-во ЛИАП, 1988. - 36 с.
http://lib.aanet.ru/jirbis2/	Исследование азимутального гироскопа направления (гироагрегата ГА-6) [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению лабораторной работы / С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения ; сост.: В. К. Пономарев, Н. А. Овчинникова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Изд-во ГУАП, 2015. - 27 с.
http://guap.ru/guap/kaf13/meth_main.shtml	Гироскопические приборы. Часть 1. Одноосный гироскопический стабилизатор. Датчик угловой скорости с механической пружиной. Методические указания к выполнению лабораторных работ.
http://guap.ru/guap/kaf13/meth_main.shtml	Механика гироскопических систем. Методические указания к выполнению лабораторных работ.

Консультации можно получить: у доцента кафедры №13 Скорины Сергея Феодосиевича по тел. +7 921 7597651 или в ауд. 1301 (см. расписание занятий)