

Министерство образования, науки, молодежи и спорта Украины

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К
домашним заданиям
по курсу
«Теория и расчет приборов и систем»

Составитель

Владислав Валентинович Мелешко

Киев

2011

ББК 34.9
УДК 531.383(07)
М-47

*Рекомендовано Ученым Советом
приборостроительного факультета НТУУ "КПИ"
протокол №2/12 от 27.02.12*

РЕЦЕНЗЕНТ:
Кашперский В.С., к.т.н., доцент

Ответственный редактор к.т.н., доц. Бондарь П.М.

Мелешко В.В.

М-47 **Методические указания к домашним заданиям по курсу**
"Теория и расчет приборов и систем" [Электронный ресурс] . – Ки-
ев: НТУУ "КПИ", 2011. – 81с.

Приведены вопросы, упражнения, задачи, решение которых позволит углубить подготовку студентов по курсу.

Для студентов приборостроительных специальностей высших учебных заведений. Могут быть полезны инженерам этих специальностей.

ББК 34.9
УДК 531.383(07)
М-47

© Мелешко В.В

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. ОПОРНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ	6
2. ГИРОСКОПЫ НАПРАВЛЕНИЯ.....	8
3. ГИРОМАГНИТНЫЕ И ГИРОИНДУКЦИОННЫЕ КОМПАСЫ.....	17
4. ГИРОКОМПАСЫ.....	23
5. ГИРОВЕРТИКАЛИ.....	34
6. ГИРОТАХОМЕТРЫ	44
7. ИНТЕГРИРУЮЩИЕ ГИРОСКОПЫ	55
8. ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАТОРЫ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ.....	63
9. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ГИРОПРИБОРОВ	69
10. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ.....	72
ЛИТЕРАТУРА.....	77
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	78
Программа моделирования гиротахометра	78
Единицы измерения физико-технических величин.....	80

Основные сокращения и обозначения

ГН	– гироскоп направления
ГПК	– гирополукомпас
ГМК	– гиромагнитный компас
ГИК	– гиरोиндукционный компас
ГК	– гироскоп
ГВ	– гировертикаль
ГТ	– гиротахометр
ДУС	– датчик угловой скорости
ИГ	– интегрирующий гироскоп
ГИЛУ	– гироскопический интегратор линейных ускорений
K	– угол курса истинного
K_m	– угол курса магнитного
ϑ	– угол тангажа
γ	– угол крена
φ	– широта
λ	– долгота
\vec{r}	– радиус-вектор
V	– относительная линейная скорость
W	– абсолютное ускорение
g	– ускорение силы тяжести
ω	– угловая скорость
R	– радиус Земли
M	– момент
H	– кинетический момент
H	– горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли
Z	– вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли
I	– магнитное склонение, момент инерции
D	– магнитное склонение
T	– вектор напряженности магнитного поля Земли; постоянная времени
f	– коэффициент демпфирования
ω_0	– частота собственных незатухающих колебаний
α, β	– углы отклонения вектора кинетического момента от заданной оси
ε	– удельная скорость коррекции
k	– коэффициент передачи
k_{om}	– коэффициент передачи датчика момента
s	– смещение
h	– высота
$\xi\eta\zeta$	– географический сопровождающий трехгранник (земная система координат); связанный с объектом трехгранник
$x_c y_c z_c$	– связанный с объектом трехгранник

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие содержит вопросы и задачи по всем разделам курса "Теория и расчет приборов и систем" кафедры приборов и систем ориентации и навигации. Вопросы составлены так, что в материалах лекций, как правило, отсутствуют прямые ответы на них. Для ответов необходима проработка и осмысление лекционного материала. В трудных случаях следует прибегать к консультации преподавателя.

Такие конкретные вопросы, как показывает опыт, эффективнее побуждают студента к самостоятельной работе над материалом курса, поскольку бросают вызов его сообразительности и любознательности.

Приведенные в пособии задачи направлены на развитие умения и навыков проведения числовых расчетов. Кроме того, задачи дают представления о числовых значениях параметров гироскопических приборов. Для предоставления студентам при решении задач большой самостоятельности предусмотрено значительное число вариантов численных значений параметров.

В задачах использована международная система единиц СИ, но умышленно с учебной целью значения параметров нередко заданы во внесистемных единицах, часто используемых на практике (например, углы в градусах, скорость в километрах в час и т. п.).

Данная электронная версия методических указаний является уточненной и дополненной версией аналогичных методических указаний 1988 г. издания, в которой вопросы составлены А.А. Одинцовым, задачи - С.А. Рыжковой и В.А. Степановым. Глава 10 данных методических указаний и задачи по моделированию подготовлены В.В.Мелешко.

Преподаватель, ведущий занятия, определяет перечень задач, необходимый для решения на занятиях и самостоятельного решения. При решении задач и выполнении заданий студенты могут пользоваться конспектом лекций, любой литературой, в первую очередь, указанной в списке литературы настоящих указаний.

1. ОПОРНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Вопросы этого параграфа требуют повторения теоретического материала по [1,2,4].

1.1. Почему при исследовании гироскопических приборов - строителей опорных направлений, движение приборов удобно рассматривать относительно земной системы координат, а при исследовании гироскопических приборов - измерителей параметров движения объекта, удобно использовать в качестве опорной систему координат, связанную с объектом?

1.2. При каких курсах объекта ортодромическая и локсодромическая траектории движения совпадают?

1.3. Локсодромические траектории представляют собой сферические спирали, которые сходятся к северному или южному географическому полюсу. При каком условии локсодромия сходится к северному полюсу? При каком условии локсодромия сходится к южному полюсу? Возможны ли исключения, когда локсодромия не является сферической спиралью и не сходится ни к одному из полюсов?

1.4. Изобразите географический сопровождающий трехгранник на поверхности Земли на разной долготе и разной широте (три положения).

1.5. Скорость поворота земной системы координат, ориентированной географически, вокруг вертикальной оси ζ обычно величина малая. В каких случаях она может быть неограниченно большой?

1.6. Как изменились бы выражения ω_ξ , ω_η , ω_ζ составляющих угловой скорости поворота земной системы координат, ориентированной географически, если бы Земля была не сферической, а плоской?

1.7. Как изменились бы выражения ω_ξ , ω_η , ω_ζ составляющих угловой скорости поворота земной системы координат, ориентированной по траектории, если бы Земля была плоской?

1.8. Как изменились бы выражения ω_ξ , ω_η , ω_ζ составляющих угловой скорости земной системы координат, ориентированной по траектории, если бы Земля была не сферической, а цилиндрической с осью, совпадающей с осью Земли?

1.9. При каких условиях скорость ω_η поворота земной системы координат, ориентированной географически, вокруг вертикали места становится равной нулю?

1.10. Может ли обратиться в нуль скорость ω_η поворота земной системы координат, ориентированной по траектории, вокруг оси, касательной к траектории?

1.11. Идеальный трехстепенной гироскоп в кардановом подвесе установлен на подвижном объекте так, что его главная ось направлена по вертикали места, ось наружной рамки - вдоль поперечной оси. С какой скоростью главная ось гироскопа будет отклоняться от направления вертикали, поворачиваясь вокруг наружной и внутренней осей подвеса гироскопа?

1.12. При условиях задачи 1.11 рассчитать отклонение гироскопа от вертикали за время $t = 10$ мин при скорости движения объекта $V = 300$ м/с на широте $\varphi = 60^\circ$ курсом $K = 30^\circ$.

1.13. Какой величиной нужно ограничить время работы гироскопа при условиях, указанных в задачах 1.11. и 1.12, чтобы отклонение главной оси гироскопа от местной вертикали не превышало 1 градус при произвольном курсе объекта?

1.14. Принцип работы гироскопического компаса основан на том, что в положении равновесия главная ось гироскопа этого прибора устанавливается вдоль вектора горизонтальной составляющей угловой скорости поворота земной системы координат. При каких условиях упомянутая горизонтальная составляющая может обратиться в нуль и, следовательно, гироскоп становится неработоспособным?

1.15. Почему составляющая скорости движения объекта $V \sin K$, направленная вдоль параллели, приводит к появлению дополнительной угловой скорости $V \sin K \cdot \operatorname{tg} \varphi / R$ поворота земной системы координат, ориентированной географически, вокруг вертикальной оси ζ ? Какова физическая природа угловой скоро-

сти $V \sin K \cdot \operatorname{tg} \varphi / R$? Как объяснить физически, что эта дополнительная угловая скорость отсутствует, если параллель является экватором?

1.16. При какой минимальной широте гироскоп (с учетом решения предыдущей задачи) может стать неработоспособным, если $V=60$ км/ч, а курс произвольный?

2. ГИРОСКОПЫ НАПРАВЛЕНИЯ

2.1. Почему в гироскопе направления (ГН) необходимо корректировать гироскоп относительно обеих осей подвеса?

2.2. Почему скорость горизонтальной коррекции ГН выбирают малой? Чем ограничивается снизу допустимая скорость горизонтальной коррекции?

2.3. Может ли ГН работать на полюсе Земли, на экваторе?

2.4. Нужно ли изменять знак азимутальной коррекции ортодромического гироскопа при переходе (перелете) объекта из северного полушария в южное?

2.5. Какие принципиально необходимые переделки нужно выполнить в самолетном ГН, чтобы можно было его использовать на борту лунохода?

2.6. Какая из разновидностей систем азимутальной коррекции ГН наиболее подвержена влиянию ускорений?

2.7. Какая из разновидностей систем горизонтальной коррекции ГН наименее подвержена влиянию ускорений?

2.8. При использовании какой разновидности систем азимутальной коррекции ГН обеспечивается наименьшее влияние нестабильности скорости вращения ротора на точность азимутальной коррекции?

2.9. Почему ГН, обеспечивающие управление самолетом по курсу при движении по ортодромии (ортодромические гироскопы), проще аналогичных приборов, обеспечивающих движение по локсодромии?

2.10. Зависит ли точность азимутальной коррекции ГН от угла β отклонения главной оси гироскопа от перпендикуляра к плоскости наружной рамки? Оди-

наково ли влияние этого угла на точность работы азимутальных систем коррекции различных видов?

2.11. Почему при проектировании ГН стараются обеспечить малость трения подвеса, в первую очередь, по оси внутренней рамки? Почему момент трения на внутренней оси подвеса гироскопа больше влияет на точность прибора, чем момент трения на наружной оси подвеса?

2.12. Почему погрешность ГН возрастает с увеличением времени их работы?

2.13. Почему погрешность горизонтальной коррекции не зависит от времени работы ГН?

2.14. Если для ориентации искусственного спутника Земли по "курсу" использован гироскопический прибор типа ГН, нужна ли система азимутальной коррекции для такого прибора? По какому закону нужно корректировать такой гироскоп в азимуте? Нужна ли система горизонтальной коррекции гироскопа? Какую разновидность систем горизонтальной коррекции из числа применяемых в ГН целесообразно использовать в рассматриваемом приборе?

2.15. Как выглядит электрическая схема кинематической азимутальной коррекции ГН, в котором двигатель производит поворот не статора выходного датчика угла, установленного на наружной рамке гироскопа, а ротора дополнительного сельсина или синусно-косинусного поворотного трансформатора, связанного с выходным датчиком угла лишь электрически?

2.16. Азимутальную коррекцию ГН делают моментной или кинематической. Возможен ли кинематический вариант горизонтальной коррекции ГН?

2.17. Какая из двух разновидностей горизонтальной коррекции – маятниковая или по перпендикулярности рамок – обеспечивает меньший уход гироскопа в азимуте от влияния инерционности рамок карданова подвеса (уход Магнуса)?

2.18. Какие изменения нужно ввести в схему азимутальной коррекции ортодромического гироскопа, спроектированного для использования в северных широтах, в случае использования прибора в южных широтах?

2.19. Как отразится на работе систем азимутальной и горизонтальной коррекции ГН ошибочное изменение направления вращения ротора на противоположное?

2.20. В ортодромическом гироскопе использована грузиковая азимутальная коррекция. Как должен быть смещен центр масс гиromотора относительно точки подвеса от широты местонахождения прибора?

2.21. Как влияют на точность ГН осевые люфты в подшипниках на главной оси гироскопа, на оси подвеса внутренней рамки, на оси подвеса наружной рамки?

2.22. Целесообразно ли увеличивать диаметр ротора ГН для уменьшения скорости его ухода, обусловленного моментами сил сопротивления в подшипниках подвеса, если считать, что эти моменты сил сопротивления пропорциональны массе ротора (влиянием масс колец карданова подвеса пренебрегаем)?

2.23. Пользуясь формулой скорости нарастания выраженной погрешности ГН

$$\langle \dot{\alpha}^o \rangle = \frac{\varepsilon^2 \varphi_0^2 \omega_g}{2(\omega_g^2 + \varepsilon^2)}$$

установить: при малых или больших значениях угловой скорости выража ω_g скорость $\langle \dot{\alpha}^o \rangle$ будет малой? При каком соотношении ω_g и ε скорость $\langle \dot{\alpha}^o \rangle$ будет наибольшей?

2.24. Почему при двухосной качке объекта максимальное значение постоянной составляющей скорости азимутального ухода ГН, обусловленного возмущениями, испытываемыми системой горизонтальной коррекции, меньше, чем при одноосной качке?

2.25. Какова физическая природа постоянной составляющей скорости азимутального ухода ГН при качке объекта?

2.26. В случае использования в ГН межрамочной системы горизонтальной коррекции, выраженная погрешность устраняется при установке прибора на стабилизированную в плоскости горизонта площадку. Устраняется ли при этом выраженная погрешность, если в ГН использована маятниковая система горизонтальной коррекции?

2.27. Устраняется ли азимутальный уход ГН, обусловленной возмущениями системы горизонтальной коррекции при качке объекта, в случае установки прибора на идеально стабилизированную в плоскости горизонта площадку: а) при использовании межрамочной горизонтальной коррекции; б) при использовании маятниковой горизонтальной коррекции?

2.28. Какова физическая природа постоянной составляющей кардановой погрешности ГН при качке основания?

2.29. Почему при малой скорости поворота основания, на котором установлен ГН, вокруг оси подвеса гироскопа, гироскоп поворачивается вместе с основанием?

2.30. Почему при малой скорости поворота основания, на котором установлен ГН, вокруг оси, параллельной наружной оси подвеса гироскопа, гироскоп поворачивается вместе с основанием?

2.31. Почему в двухроторных ГН с реверсируемыми кинетическими моментами эффективно подавляется за цикл реверсирования лишь влияние постоянных моментов помех?

2.32. Какой вид имеет схема двухроторного ГН с противоположными направлениями векторов кинетических моментов гироскопов?

2.33. Почему приборы типа гировертиконт и гирогоризонт обеспечивают удовлетворительную точность лишь при работе в течение короткого промежутка времени?

2.34. В ортодромическом гироскопе использован гиромотор с кинетическим моментом H . Момент сил сухого трения на внутренней оси подвеса гироскопа M_{T_1} . Каков порог чувствительности прибора, т.е. при какой угловой скорости поворота основания вокруг наружной оси подвеса гироскопа, гироскоп будет поворачиваться вместе с основанием? Численные значения H и M_{T_1} приведены ниже

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$H (\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1})$	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
3	$M_{T_1} (H \cdot \text{м})$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	8.0
3	$7 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$

2.35. В ГН использована моментная азимутальная коррекция, компенсирующая влияние вертикальной составляющей $\omega \sin \varphi$ скорости вращения Земли. Кинетический момент гироскопа H , коэффициент передачи датчика момента системы азимутальной коррекции $k_{\text{дм}}$. В каких пределах должен изменяться электрический сигнал, подаваемый на датчик момента системы азимутальной коррекции, при использовании прибора в диапазоне широт от φ_1 до φ_2 ? Численные значения H , φ_1 , φ_2 приведены в таблице, $k_{\text{дм}}$ принять равным $2 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{В}$.

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$H (\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1})$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
3	φ_1 (градус)	90	0	0	-10	-80	-20
4	φ_2 (градус)	-90	80	-80	40	40	80

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
3	20	-20	-45	-30	-20	-70	-45	-30
4	80	80	85	-80	80	90	45	60

2.36. В ортодромическом гироскопе использован гиromотор с кинетическим моментом H , массой ротора m . Система азимутальной коррекции – грузиковая. Каково предельно допустимое смещение ротора в направлении главной оси гироскопа, обусловленное осевым люфтом в подшипниках на главной оси, тем-

пературными или упругими деформациями, чтобы на широте φ при идеальной настройке системы азимутальной коррекции её погрешность не превышала 20 %? Числовые значения H , m и φ приведены ниже в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H (кг·м ² ·с ⁻¹)	1.0	2.5	0.4	0.2	1.0	2.5	1.0	0.4	2.5	0.2	1.0	2.5	0.4	0.2
m (кг)	0.6	1	0.3	0.2	0.7	1.2	0.8	0.4	2.5	0.2	1.0	1	0.2	1.3
φ (градус)	60	45	30	70	45	60	60	30	45	70	30	60	45	30

2.37. Объект совершает вираж с угловой скоростью ω_g . Определить допустимую величину крена объекта, если скорость накопления азимутальной ошибки ГН с межрамочной системой горизонтальной коррекции не должна превышать $\langle \dot{\alpha} \rangle_{\text{доп}}$. Кинетический момент гироскопа H , коэффициент передачи системы горизонтальной коррекции k . Численные значения этих величин приведены ниже в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H (кг·м ² ·с ⁻¹)	2.5	0.4	1.0	0.2	2.5	0.2	1.0	2.5	2.5	0.2	2.5	0.2	1.0	0.4
ω_g (с ⁻¹)	0.5	0.3	0.2	0.4	0.6	0.5	0.2	0.7	0.3	0.4	0.2	0.5	0.8	0.1
$\langle \dot{\alpha} \rangle_{\text{доп}}$ (с ⁻¹) · 10 ⁻⁵	1	2	3	4	1	5	3	4	2	1	1	2	3	1
k (Нм)*10 ⁻²	2	1	3	2	1	4	2	3	1	4	1	3	4	2

2.38. Указать, при каком сдвиге фаз μ между качкой объекта по крену и дифференту, происходящих по закону $\gamma = \gamma_m \sin \omega t$, $v = v_m \sin(\omega t - \mu)$, уход ГН с межрамочной системой горизонтальной коррекции будет отсутствовать. Удельная скорость коррекции ε . Угловое положение главной оси гироскопа в азимуте относительно объекта α^0 - ψ . Численные значения этих величин приведены в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\gamma_m = v_m$ (градус)	10	10	12	10	9	8	11	10	7	5	10	151	12	8
ω (c^{-1})	1	0.8	0.7	0.9	1.1	1.2	0.6	0.7	0.9	0.8	1	1.1	0.7	0.9
ε (c^{-1}) $\cdot 10^{-2}$	1	2	0.5	1.5	1.1	3	0.4	0.9	2	1	0.5	4	1	2
$\alpha^0 - \psi$ (градус)	30	60	65	60	15	30	60	15	30	20	35	15	30	60

2.39. На какой угол от плоскости горизонта отклонится ось ГН при равномерном движении объекта вдоль ортодромии на широте φ со скоростью V из-за кориолисова ускорения $a = -2V\omega \sin\varphi$? Ось гироскопа отклонена на угол α в плоскости горизонта от касательной к ортодромии. Численные значения величин приведены ниже в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
φ (градус)	60	30	20	15	30	60	45	30	60	45	15	60	30	15
V (км/ч) $\cdot 10^2$	33	36	38	40	30	35	32	31	39	40	33.4	35	36	37
α (градус)	20	40	10	15	30	40	30	60	15	30	45	15	60	90

2.40. Объект совершает вираж с угловой скоростью ω . Радиус виража R . Какую систему горизонтальной коррекции целесообразно применить, если считать удельную скорость ε коррекции для межрамочной и маятниковой систем одинаковой? Угол крена объекта γ_0 . Численные значения величин приведены в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ω (c^{-1})	0.1	0.3	0.7	0.1	0.5	0.2	0.4	0.6	0.5	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2
R (м)	30	50	60	40	15	20	25	15	40	30	10	15	40	35
ε (c^{-1}) $\cdot 10^{-2}$	1	2	1.5	1.1	0.5	1	3	0.9	4	5	4	3	1.1	2
γ_0 (градус)	15	10	30	15	20	10	5	17	19	20	22	15	12	11

2.41. Составить для случаев $\varepsilon \gg \omega_1$, $\varepsilon \gg \omega_2$ и $\varepsilon \ll \omega_1$, $\varepsilon \ll \omega_2$ формулы для оценки ухода ГН с пропорциональной маятниковой системой коррекции, если качка основания задана в виде $\gamma = \gamma_m \sin \omega_1 t$, $v = v_m \sin \omega_2 t$.

2.42. Известно, что погрешности учета широты φ , нестабильность крутизны $K_{\text{дм}}$ характеристики датчика моментов и нестабильности кинетического момента H являются причинами неточности азимутальной коррекции ГН. Вычислить величину относительной погрешности δ азимутальной коррекции, обусловленной нестабильностью указанных параметров.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
φ (градус)	45	60	30	60	45	15	45	60	30	60	45	15	30	45
$\Delta\varphi/\varphi \cdot 10^{-2}$	4	3	1	4	2	5	2	3	1	2	1	3	4	2
$\Delta H/H \cdot 10^{-2}$	2	1	3	2	3	4	4	2	5	2	3	3	6	2
$\Delta k_{\text{дм}}/k_{\text{дм}} \cdot 10^{-2}$	4	3	4	3	2	5	2	1	3	2	1	3	4	2

2.43. Какую погрешность будет иметь ортодромический гироскоп на широте φ , если его система азимутальной коррекции ошибочно настроена на широту φ_1 ?

Численные значения φ и φ_1 приведены ниже в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
φ (градус)	10	20	30	40	45	50	60	70	80	-30	-40	-50	-60	-70
φ_1 (градус)	-30	-40	50	-60	-45	-50	-50	-45	70	30	40	80	30	30

2.44. Ортодромический гироскоп имеет кинетический момент H , коэффициент передачи датчика момента системы азимутальной коррекции $k_{\text{дм}}$. Прибор используется на широте φ . Численные значения величин приведены в таблице. Каково должно быть напряжение, подаваемое на датчик момента системы азимутальной коррекции?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H (кг м ² с ⁻¹)*10 ⁻¹	25	10	4	2	25	2	10	25	10	4	2	10	25	4
$k_{\text{дм}}$ (Н м/В)*10 ⁻⁵	10 ⁻¹	10 ⁻¹	1	1	1	1	1	10 ⁻¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻¹	1	10 ⁻¹	1
φ (градус)*10	1	2	3	2	4	7	-6	-5	-4	-2	-1	3	2	-4

2.45. В ГН использован гиросотор с массой ротора m , с кинетическим моментом H . Рассчитать величину смещения центра тяжести гиросотора вдоль главной оси для коррекции влияния вертикальной составляющей $\omega \sin \varphi$ вращения Земли на широте φ . Численные значения этих величин приведены в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H (кг м ² с ⁻¹)	1.0	2.5	0.4	1.0	0.2	0.5	1.0	1.0	2.5	0.2	0.2	1.0	0.4	0.2
m (кг)	0.6	1.0	0.3	0.6	0.2	0.5	0.7	0.8	1.2	1.1	0.3	0.5	0.2	0.2
φ (градус)	60	70	45	50	40	60	70	45	50	60	70	30	65	40

2.46. Для компенсации постоянной составляющей кинематического ухода и действия внешних моментов помех в ГН используют схему с запоминанием и компенсацией ухода. Рассчитать напряжение на выходе изодромного устройства, подаваемое на датчик момента с коэффициентом передачи $k_{\text{дм}}$. Моментом помех считать момент трения в опорах внутренней рамки $M_{\text{тр}}$. Кинетический момент гироскопа H , широта места φ . Численные значения этих величин приведены в таблице

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$k_{\text{дм}} * 10^{-5}$ (Н м/В)	10^{-1}	1	10^{-1}	1	10^{-1}	1	1	1	1	1	10^{-1}	10^{-1}	1	10^{-1}
$M_{\text{тр}} * 10^{-5}$ (Н м)	1	3	3	5	7	1	5	7	3	4	6	7	1	4
H (кг м ² с ⁻¹) * 10^{-1}	25	10	4	2	25	10	25	2	4	2	25	10	25	10
γ (градус)	60	75	30	50	65	45	60	35	70	40	60	80	75	30

2.47. Промоделируйте карданову погрешность на двухосной качке, сравните результаты с аналитическими оценками, для следующих условий по амплитуде синхронной качки ϑ_m, γ_m , частоте качки ω_k , сдвиге фаз качки μ , положении вектора H относительно меридиана χ

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
γ_m (рад.)	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0
ϑ_m (рад.)	0,45	0,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
ω_k (рад./с)	0,1	0,2	0,8	0,2	0,1	0,2	0,5	0,2	0,1	2	5	2	5	1
χ (градус)	0	15	30	45	65	45	60	35	70	40	60	80	75	30
μ (градус)	30	90	45	60	80	75	30	0	15	30	45	65	45	0

3. ГИРОМАГНИТНЫЕ И ГИРОИНДУКЦИОННЫЕ КОМПАСЫ

3.1. Магнитное поле Земли характеризуется четырьмя элементами: горизонтальной H и вертикальной Z составляющими вектора напряжённости, углом магнитного наклона I и углом магнитного склонения D . Все ли эти элементы являются независимыми, или некоторые из них можно выразить аналитически через другие?

3.2. В чем различие между понятиями: геомагнитные полюсы и магнитные полюсы Земли ?

3.3. Может ли магнитный курс объекта отличаться от истинного на 180^0 ?

3.4. Почему динамические параметры магнитного компаса (частота собственных колебаний, коэффициент затухания) не являются постоянными, а зависят от места нахождения прибора на Земле?

3.5. В каких областях земной поверхности частота собственных колебаний магнитного компаса выше: в области высоких магнитных широт (вблизи магнитных полюсов), или в областях низких магнитных широт?

3.6. Может ли характер переходного процесса одного и того же магнитного компаса быть колебательным в одних областях земной поверхности и апериодическим в других?

3.7. Может ли величина зоны застоя магнитного компаса, обусловленная сухим трением в подвесе катушки, быть различной в разных районах Земли?

- 3.8. Для снижения динамических погрешностей магнитного компаса следует стремиться к увеличению или снижению постоянной времени его подвижной части?
- 3.9. Почему у феррозондов выходной электрический сигнал представляет собой вторую и другие четные гармоники напряжения питания?
- 3.10. Какие преимущества имеют двухзондовые индукционные датчики по сравнению с трехзондовыми?
- 3.11. Почему качка корабля, самолета вызывает погрешность приборов магнитного курса? Какова физическая сущность процессов, приводящих к погрешности качки?
- 3.12. Почему индукционные компасы больше подвержены влиянию качки, чем магнитные?
- 3.13. Почему приборы магнитного курса могут иметь постоянную составляющую погрешности от качки объекта?
- 3.14. В гироманитном (или гироиндукционном) компасе (ГМК, ГИК) благодаря малой скорости коррекции гироскопа от прибора магнитного курса обеспечивается хорошее сглаживание колебательной составляющей погрешности прибора магнитного курса. Но для решения этой задачи необязательно использовать гироскоп. Можно, видимо, использовать не гироскопическую, а обычную сглаживающую систему или фильтр с достаточно большой постоянной времени. Почему такую возможность не используют на практике? Какое положительное качество ГМК будет утрачено, если использовать такую возможность?
- 3.15. В чем преимущества ГМК по сравнению с ГН и магнитным компасом?
- 3.16. В какой мере карданова погрешность ГН устраняется в ГМК или ГИКе? Зависит ли мера устранения кардановой погрешности от частоты ее изменения?
- 3.17. В какой степени подавляется в ГМК или ГИКе присущая ГН виражная погрешность?
- 3.18. В какой степени подавляется в ГМК или ГИКе присущая ГН погрешность от влияния качки?

- 3.19. Какие отличия имеют системы горизонтальной коррекции гироскопов, используемых в ГМК или ГИК, по сравнению с системами горизонтальной коррекции ГН?
- 3.20. Какие преимущества и недостатки имеют ГМК (ГИК) с коррекцией гироскопа по углу и интегралу от угла рассогласования по сравнению с аналогичными компасами с коррекцией только по углу рассогласования?
- 3.21. Какие преимущества и недостатки имеют моментная и кинематическая коррекции гироскопа в ГМК (ГИК)?
- 3.22. Нужно ли в ГМК (ГИК) корректировать гироскоп по внутренней оси подвеса?
- 3.23. Влияет ли рыскание подвижного объекта на погрешность магнитного компаса?
- 3.24. Каковы основные физические причины влияния рыскания объекта на показания магнитного компаса?
- 3.25. Почему показания ГМК практически не зависят от скорости изменения измеряемой величины - магнитного курса объекта?
- 3.26. Можно ли в ГМК (ГИК) выполнить кинематическую коррекцию показаний гироскопа по схеме, в которой сигнал разности показаний прибора магнитного курса и гироскопа использован для управления двигателем, который через редуктор поворачивает не статор датчика угла, установленного на оси наружной рамы гироскопа, как это обычно делается в схемах кинематической коррекции, а поворачивает ротор дополнительного синусно-косинусного поворотного трансформатора? Ротор связан электрически с выходным электрическим датчиком угла на наружной оси гироскопа по схеме электромеханического суммирования углов на синусно-косинусных поворотных трансформаторах, а выходной сигнал прибора снимается с упомянутого дополнительного синусно-косинусного поворотного трансформатора.
- 3.27. Определить угол застоя магнитного компаса с удельным позиционным моментом M_K , если момент трения в подвесе подвижной системы M_T . Численные значения M_K и M_T приведены в таблице:

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	M_K (Нм)	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
3	M_T (Нм)	$5 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-8}$	10^{-8}	$4 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	$3 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
3	$3 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$

3.28. Рассчитать погрешность от увлечения картушки магнитного компаса, магнитный момент которого M_M , при повороте основания со скоростью \dot{K}_M . Коэффициент демпфирования картушки в жидкости принять f . Значение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H . Численные значения величин приведены в таблице:

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	M_M (Нм ² А ⁻¹)	0.01	0.005	0.03	0.008	0.02	0.002
3	\dot{K}_M (с ⁻¹)	0.045	0.039	0.029	0.022	0.043	0.026
4	f (Нмс)* 10^{-6}	2	1	3	3	4	0,8
5	H (Ам ⁻¹)* 10^{-4}	12,5	5	1,3	3,7	2,5	1,1

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0.007	0.04	0.009	0.02	0.02	0.03	0.009	0.005
3	0.044	0.032	0.044	0.034	0.045	0.039	0.039	0.044
4	2	4	4	1	0,7	0,4	0,8	6
5	3,7	5	2,5	1,3	0,9	2,1	3,2	6

3.29. Объект, на котором установлен магнитный компас, поворачивается со скоростью \dot{K}_M . Определить погрешность от увлечения картушки магнитного

компаса с удельным позиционным моментом M_K , если частота свободных азимутальных колебаний картушки ω_0 , а относительный коэффициент затухания ζ . Численные значения величин приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	$\dot{K}_M (c^{-1})$	0.045	0.039	0.029	0.022	0.043	0.025
3	$M_K (Hm) \cdot 10^{-6}$	5	3	2	4	3	9
4	$\omega_0 (c^{-1})$	0,63	0,55	0,4	0,31	0,6	0,35
5	ζ	0,5	0,6	0,7	0,65	0,55	0,7

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.044	0.032	0.034	0.045	0.029	0.039	0.022	0.044
3	4	3	5	4	2	3	5	3
4	0,62	0,45	0,48	0,63	0,4	0,55	0,31	0,62
5	0,5	0,6	0,65	0,7	0,55	0,5	0,6	0,7

3.30. Определить ошибку ГИК при движении объекта по ортодромии на широте φ . Магнитное склонение места D . Удельная скорость азимутальной коррекции ε_2 . Численные значения величин приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	φ (градус)	55	60	45	70	50	40
3	D (градус)	+5	+15	-8	+25	+10	-5
4	$\varepsilon_2 (c^{-1})$	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	60	55	60	55	70	40	45	60
3	+5	-10	-6	+15	-10	+5	+3	+8
4	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03

3.31. Объект, на котором установлен ГИК, движется на широте Φ , курсом K со скоростью V . Принимая удельную скорость азимутальной коррекции ε_2 , определить скоростную погрешность прибора. Численные значения величин приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	Φ (градус)	60	30	45	70	60	50
3	K (градус)	60	30	45	60	30	60
4	V (км/ч)	500	2000	1000	800	1000	500
5	ε_2 (с ⁻¹)	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,06

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	30	45	60	55	45	60	50	70
3	45	30	45	30	60	30	45	60
4	900	1000	1500	1300	900	500	1000	2000
5	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,04	0,06	0,04

3.32. Объект, на котором установлен прибор магнитного курса, движется курсом K_M с ускорением $\dot{V} = \text{const}$. Рассчитать погрешность прибора из-за влияния вертикальной составляющей магнитного поля Земли, считая, что в поперечной плоскости объекта наклон чувствительного элемента отсутствует. Магнитное наклонение I . Численные значения величин приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	K_M (градус)	30	45	60	45	30	60
3	\dot{V} (мс ⁻²)	2	3	1	0,9	0,6	2
4	I (градус)	72	80	70	60	55	72

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	30	45	60	45	30	60	30	45
3	1	0.7	1.5	1	1.5	2	1.8	0.9
4	88	70	90	72	55	60	80	72

3.33. Постройте график ошибки прибора магнитного курса в зависимости от курса объекта при вираже с линейной скоростью V , угловой скоростью ω_g на широте φ

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	ω_B (°/с)	2	5	1	5	10	10
3	V (м/с)	200	300	100	10	50	30
4	φ (градус)	0	30	70	60	45	50

3.34. При каком ускорении при движении курсом $K=180^\circ$ магнитный компас теряет свои свойства?

3.35. Составьте структурную схему ГМК с интегрально-позиционной моментной коррекцией в пакете Simulink.

3.36. Составьте систему уравнений ГМК с интегрально-позиционной моментной коррекцией.

4. ГИРОКОМПАСЫ

4.1. Гирокомпас (ГК) представляет собой сочетание трехстепенного гироскопа и физического маятника. Какова роль маятника в работе гирокомпаса? Какова роль гироскопа?

4.2. Какова роль вращения Земли в работе гирокомпаса?

4.3. Как отразится на работе гирокомпаса ошибочное подключение питания гиromотора с неправильным порядком следования фаз, что приводит к изменению вращения ротора на противоположное?

- 4.4. Почему при начальном отклонении главной оси гироскопа ГК на углы $\alpha(0) \neq 0$, $\beta(0) \neq 0$ независимо от направления начального отклонения $\alpha(0)$ (к востоку или западу) от плоскости меридиана возникает прецессионное движение главной оси гироскопа к плоскости меридиана?
- 4.5. Каким будет движение главной оси гироскопа ГК относительно земной системы координат, ориентированной географически, если начальное отклонение ее удовлетворяет условию $\alpha(0) \neq 0$, $\beta(0) \neq 0$? Зависит ли характер движения главной оси от направления начального отклонения, т.е. от знака $\alpha(0)$, $\beta(0)$? Возможны ли такие начальные отклонения $\alpha(0)$, $\beta(0)$, при которых не будет колебаний главной оси гироскопа относительно плоскости меридиана?
- 4.6. Постоянный момент-помеха, действующий вокруг внутренней оси подвеса, вызывает у гироскопа направления азимутальный уход. Поэтому при конструировании гироскопов направления стараются обеспечить малость моментов внешних сил (трения, дебаланса), в первую очередь, относительно внутренней оси подвеса гироскопа. Справедлив ли такой подход к ГК.
- 4.7. Почему для ГК шарикоподшипниковый подвес гироскопа считается неприемлемо грубым?
- 4.8. В каких районах земной поверхности направляющий момент ГК минимален, а в каких районах максимален?
- 4.9. Как изменится величина направляющего момента ГК, если прибор использовать не в наземных условиях, а на Луне?
- 4.10. Почему для ГК стараются обеспечить малость моментов сил трения, в первую очередь, по вертикальной оси подвеса гироскопа?
- 4.11. Почему при успокоении собственных колебаний ГК способом эксцентрического подвеса маятника появляется дополнительная погрешность? Какова физическая причина появления этой погрешности?
- 4.12. При успокоении собственных колебаний ГК способом эксцентрического подвеса маятника штифт, соединяющий маятник с кожухом гироскопа, смещают к Востоку. Как отразится на затухании собственных колебаний ошибочное

смещение штифта к Западу? Смещение к Востоку необходимо только при использовании ГК в северных широтах, или как в северных, так и в южных?

4.13. Если смотреть на главную ось гироскопа со стороны, обращенной в положении равновесия к Северу, то собственные колебания ГК будут происходить по ходу или против хода стрелки часов? Зависит ли направление движения вершины гироскопа (по ходу или против хода стрелки часов) от того в северной или южной широте находится прибор?

4.14. Зависит ли знак β_* , т.е. направление отклонения главной оси гироскопа от плоскости горизонта в установившемся режиме, от того, в северном или в южном полушарии находится ГК?

4.15. Какие параметры собственных колебаний ГК имеют противоположные знаки при работе прибора в северном и южном полушарии?

4.16. Какова физическая причина появления скоростной погрешности ГК?

4.17. Является ли условие невозмущаемости ГК ускорениями корабля, установленное М. Шулером, точным или приближенным?

4.18. Как объяснить физически, что при кратковременном ($\tau \ll \omega t$) продольном ускорении объекта сила инерции, соответствующая северной составляющей ускорения, вызывает, в основном, азимутальное отклонение главной оси гироскопа ГК от положения равновесия?

4.19. В чем общность и различие баллистических девиаций 1 и 2 рода?

4.20. В чем состоит общность и различие устройства жидкостного успокоителя и жидкостного маятника ГК?

4.21. Известно, что угловые колебания корабля являются причиной появления интеркардинальной девиации ГК. Могут ли орбитальные колебания вызвать погрешность ГК, аналогичную интеркардинальной ?

4.22. Можно ли устранить интеркардинальную девиацию ГК размещением прибора не на палубе корабля, а на идеально стабилизированной в плоскости горизонта площадке ?

- 4.23. Какими основными достоинствами и недостатками обладают корректируемые ГК по сравнению с ГК с непосредственным механическим воздействием маятника на гироскоп ?
- 4.24. Почему в корректируемом ГК, в котором успокоение собственных колебаний достигается использованием электромеханического аналога эксцентрично подвешенного маятника, отсутствует конструктивная погрешность $\Delta\alpha = -\epsilon \operatorname{tg}\varphi$?
- 4.25. Какие достоинства и недостатки порождают в корректируемом ГК факт отсутствия скоростной погрешности ?
- 4.26. Почему в корректируемых ГК используют два режима работы прибора – режим ГК и режим гироазимута (ГН), а в обычных ГК режим гироазимута не используют ?
- 4.27. Почему движение гироскопа орбитального ГК целесообразно рассматривать в орбитальной, а не в земной системе координат ?
- 4.28. Почему для упрощения исследования динамики орбитального ГК орбиту спутника обычно принимают круговой ? Какие трудности исследования прибора возникнут в случае эллиптической орбиты ?
- 4.29. Почему в орбитальном ГК для определения угла β наклона главной оси гироскопа используют инфракрасную вертикаль, а не физический маятник, как в корректируемых ГК ?
- 4.30. Имеются ли в орбитальном ГК скоростная погрешность ?
- 4.31. В чем общность и различие принципа работы орбитального и морского ГК ?
- 4.32. В чем общность и различие устройства орбитального и морского ГК ?
- 4.33. Нужно ли для орбитального ГК выполнять условие Шулера ?
- 4.34. Может ли у орбитального ГК появляться интеркардинальная девиация ?
- 4.35. Почему в морских ГК не определяется положение плоскости меридиана по точкам реверсии гироскопа, как это делают в наземных ГК ?
- 4.36. Почему наземные ГК, основанные на использовании гироскопа с тремя степенями свободы, неприемлемы на подвижном основании ?

4.37. Построить график наибольшего азимутального отклонения главной оси ГК от положения равновесия, определяемого значением скоростной погрешности, в функции разности $\omega_0^2 - v^2$ при движении объекта в течении короткого времени τ ($\omega_0\tau \ll 1$) с ускорением $W = \text{const}$ курсом 0° при заданном приращении скорости $\Delta V = W_{\eta}\tau$. Значения $(\omega_0^2 - v^2)/\omega_0^2$ принять равными $-0,5; -0,4; -0,3; -0,2; -0,1; 0; 0,1; 0,2$. Численные значения параметров приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	ΔV (узлы)	7	10	13	15	18	20
3	φ (градус)	30	60	60	50	50	70

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	23	25	28	30	33	35	40	43
3	70	45	45	30	30	60	60	70

4.38. Рассчитать по приближенной формуле максимальное значение интеркардинальной девиации однороторного ГК на широте $\varphi = 60^\circ$, если корабль совершает регулярную одноосную бортовую качку с амплитудой θ_m и частотой ω_k . Линейное отстояние места установки прибора относительно продольной оси вдоль нормальной оси составляет s . Частота собственных незатухающих колебаний $\omega_0 = v$. Численные значения параметров качки и отстояния приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	θ_m (градус)	10	10	12	12	13	13
3	ω_k (c^{-1})	0,5	0,7	0,7	0,5	0,8	0,5
4	s (м)	10	9	8	7	7	6

1	8	9	10	11	12	13	14	15
2	14	14	15	15	17	17	20	20
2	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9
4	5	4	4	4	3	4	3	3

4.39. Рассчитать малую и большую полуоси эллипса, описывающего незатухающие колебания главной оси ГК, установленного на неподвижном относительно Земли основании на широте φ . Заданные значения начального отклонения главной оси от полуденной линии и параметры прибора приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	H (кг м ² с ⁻¹)	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
3	mgI (кг м ² с ⁻²)	0,002	0,0021	0,0022	0,0023	0,0024	0,0025
4	φ (градус)	10	15	20	25	30	45
5	α_0 (градус)	5	7	10	13	15	18
6	β_0 (градус)	0,2	0,1	0	0	0	0

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	4,2	4,6	4,8	5	5,5	6	6,5	7
3	0,0026	0,0028	0,03	0,031	0,0032	0,0033	0,0029	0,0034
4	60	35	40	70	65	35	25	15
5	20	0	3	5	6	8	9	13
6	0	0,15	0,05	0,2	0,1	0,008	0,16	0,2

4.41. Определить частоту собственных незатухающих колебаний ГК и рассчитать отношение полуосей эллипса, описывающего движение его главной оси. Гирокомпас установлен на неподвижном объекте, находящемся на широте φ . Численные значения заданных величин приведены в таблице:

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$H(\text{кг м}^2 \text{с}^{-1})$	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
3	$\text{mgl}(\text{кг м}^2 \text{с}^{-2})$	0,0025	0,0026	0,0027	0,0028	0,0029	0,003
4	$\varphi(\text{градус})$	70	65	35	60	0	70
5	$\alpha_0(\text{градус})$	20	18	15	0	5	3
6	$\beta_0(\text{градус})$	0	0	0,05	0,1	0,2	0,15

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,1	6,3	6,5
3	0,0031	0,0032	0,033	0,0034	0,0035	0,0036	0,0037	0,0038
4	10	60	15	10	20	70	60	60
5	8	20	15	13	2	20	10	5
6	0,2	0	0	0	0	0	0,05	0,1

4.42. Рассчитать допустимое значение постоянных составляющих моментов помех по осям наружной и внутренней рамок карданова подвеса, если известно, что погрешность установившегося положения равновесия главной оси ГК на широте φ не должно превышать заданной. Параметры прибора указаны в задаче 4.41. Численные значения допустимых погрешностей приведены в таблице:

4.43.

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$\Delta\alpha(\text{градус})$	1	0,8	0,6	0,4	0,5	0,4
3	$\Delta\beta(\text{градус})$	0,01	0,015	0,016	0,14	0,02	0,03
4	$\varphi(\text{градус})$	30	45	30	45	60	45

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1,1	0,9	0,7	0,3	1,3	1,2	1,15	0,95
3	0,035	0,04	0,01	0,015	0,02	0,018	0,017	0,016
4	45	60	30	60	60	45	60	30

4.44. Рассчитать погрешность определения курса объекта на заданной широте φ гирокомпасом, у которого по оси наружной рамки действует постоянный момент внешних сил M_{ζ} . Численные значения параметров приведены в таблице:

4.45.

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	φ (градус)	0	10	15	20	25	30
3	M_{ζ} (Гсм)	0.01	0.012	0.014	0.015	0.017	0.018
4	H (Н·м·с)	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4
5	mgI (кг·м ² ·с ⁻²)	0.0025	0.0026	0.0027	0.0028	0.0029	0.0030

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	35	40	45	50	55	60	65	70
3	0.011	0.012	0.013	0.016	0.0175	0.018	0.0185	0.019
4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
5	0.0031	0.0032	0.0033	0.0034	0.0035	0.0036	0.0037	0.0038

4.44. Рассчитать скоростную погрешность ГК, установленного на объекте, движущемся со скоростью V курсом K в северном и южном полушарии на широте φ . Численные значения параметров приведены в таблице:

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	V (м/с)	10	15	20	25	5	10
3	K (градус)	30	45	60	90	120	135
4	φ с.ш.(градус)	+60	+30	+45	+20	+10	0
5	φ ю.ш.(градус)	-75	0	-40	-60	-75	-60

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	15	20	25	5	10	15	20	25
3	150	180	20	40	70	30	0	45
4	+15	+30	+45	+60	+75	+10	0	+30
5	-30	-45	-60	-45	0	-60	-75	-60

4.45. Вычислить максимальное значение интеркардинальной девиации ГК с периодом Шулера на широте φ . Период бортовой качки T_K , амплитуда качки θ , отстояние прибора от центра колебаний s . Численные значения приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	φ (градус)	45	45	45	45	60	60	60	60	60	45	45	60	60	60
3	s (м)	0.5	1	1.5	2.5	2.0	0.5	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8
4	T_K (с)	5	8	10	12	15	5	8	10	12	15	5	8	10	12
5	θ (градус)	10	12	15	20	22	25	10	12	15	18	20	20	19	15

4.46. Определить частоту собственных незатухающих колебаний ГК, установленного на неподвижном основании на широте φ . Параметры ГК приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	φ (градус)	30	30	30	30	45	45
3	H ($кг \cdot м^2 \cdot с^{-1}$)	3	3.5	4	4.5	5.5	6
4	m (кг)	1	1	1	1.5	1.5	1.5
5	s (м)	0.0003	0.0003	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	45	60	60	60	45	45	60	60
3	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
4	1.5	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8
5	0.0005	0.0005	0.0005	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.001

4.47. Определить линейную скорость объекта, при которой ГК потеряет направляющий момент, если объект движется в северном полушарии на широте φ курсом K .

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	K (градус)	245	230	260	300	330	270
3	φ (градус)	0	10	15	20	25	30

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	290	310	330	250	260	270	280	285
3	35	40	45	50	55	60	65	60

4.48. Определить координаты центра эллипса, описывающего незатухающие колебания ГК на фазовой плоскости. Прибор установлен на объекте, находящемся на широте φ . Численные значения параметров прибора приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	$H(\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1})$	3	3.5	4	4.5	5	5.5
3	m (кг)	1.0	1.2	1.25	1.5	1.55	1.7
4	s (м)	0.0003	0.0003	0.0003	0.0005	0.0005	0.0005
5	φ (градус)	10	15	20	25	30	35

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5
3	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	3
4	0.0005	0.0006	0.0006	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009
5	40	45	50	55	60	65	45	30

4.49. Определить период и построить фазовую траекторию затухающих колебаний трехстепенного маятникового ГК с эксцентричным подвесом маятника, воспользовавшись численными значениями параметров, приведенными в задаче 4.48. Начальные отклонения $\alpha(0)$ и $\beta(0)$, эксцентриситет маятника ε указаны в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	ε (градус)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
3	$\alpha(0)$ (градус)	10	15	20	0	5	10
4	$\beta(0)$ (градус)	0.2	0.1	0	0.005	0.5	0.01

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.1
3	0.72	0.75	0.82	0.85	0.9	0.1	0.18	0.2
4	0.03	0.031	0.035	0.05	0.055	0.03	0.08	0.09

4.50. Определить линейную скорость объекта, при которой ГК потеряет направляющий момент, если объект движется в северном полушарии на широте φ курсом K .

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	K (градус)	245	230	260	300	330	270
3	φ (градус)	0	10	15	20	25	30

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	290	310	330	250	260	270	280	285
3	35	40	45	50	55	60	65	60

4.51. Рассчитать максимальный направляющий момент орбитального ГК. Прибор установлен на объекте, движущемся по круговой орбите с линейной скоростью V на высоте h . Численные значения параметров приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	H (кг·м ² ·с ⁻¹)	3	3,5	4	4,5	5	5,5
3	V (м·с ⁻¹)	8100	8150	8180	8200	8240	8270
4	h (м) *10 ⁵	2	2,5	3	3,5	4	4,5

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	6,5	6	7	7,5	8	8,5	9	9,5
3	8330	8300	8360	8390	8420	8450	8480	8510
4	$5,5 \cdot 10^{-5}$	5	6	6,5	7	7,5	8	8,5

4.52. Постройте график погрешности ГК на качке в зависимости от курса для условий задачи для условий задачи 4.39.

4.53. Постройте траекторию движения апекса ГК на картинной плоскости для условий задачи 4.48.

4.54. Постройте график изменения ошибки ГК во времени при ускорении объекта W_η , частоте собственных колебаний $\omega_0 = n\nu$, n – коэффициент, ν - частота Шулера, на широте φ

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	n	0,5	1	1,5	0,6	0,8	0,9
3	W_η (м с ⁻²)	0,5	0,2	0,1	0,6	1	0,8
4	φ (градус)	10	15	20	25	30	45

5. ГИРОВЕРТИКАЛИ

5.1. В чем заключается общность принципов построения гиromаятниковой вертикали и морского маятникового ГК, гировертикали (ГВ) с радиальной коррекцией и ГК с косвенным управлением ?

5.2. Выражения коррекционных моментов ГВ с пропорциональной коррекцией

имеют вид: $M_{\text{корх}} = c(\alpha - \frac{W_\xi}{g})$; $M_{\text{корн}} = c(\beta + \frac{W_\eta}{g})$. Почему в первой формуле стоит знак «минус», а во второй – «+»?

муле стоит знак «минус», а во второй – «+»?

5.3. Траектория коррекционного движения ГВ с пропорциональной коррекцией в случае одинаковых удельных скоростей коррекции по двум осям представляет собой прямую, соединяющую точку начального отклонения $\alpha(0), \beta(0)$ гироскопа с началом координат. Какой вид имеет траектория коррекционного движения при неодинаковых удельных скоростях коррекции, т.е. при $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$.?

- 5.4. В чем общность и различие скоростных погрешностей ГВ и ГК.
- 5.5. Какой вид имеет схема прецизионной ГВ с пропорциональной коррекцией, в которой компенсируются моменты, вызывающие скоростную погрешность, путем формирования соответствующих электрических сигналов и подачи их на датчики моментов на осях подвеса гироскопа?
- 5.6. Назовите не менее трех способов уменьшения скоростной погрешности ГВ.
- 5.7. Будет ли у ГВ с постоянной коррекцией зона застоя, если на осях подвеса коррекционных маятников имеется момент сил сухого трения?
- 5.8. Что общего в построении схем приборов имеют ГВ и ГМК?
- 5.9. В чем различие в проявлении погрешностей от продольных ускорений объекта у ГВ с пропорциональной и с постоянной коррекцией?
- 5.10. Как изменяются погрешности ГВ с постоянной коррекцией с увеличением ускорений?
- 5.11. При исследовании влияния продольных ускорений объекта на ГВ обычно предполагают, что вектор скорости и ускорения объекта направлены строго по его продольной оси, т.е. предполагают, что угол дрейфа корабля или угол скольжения самолета равны нулю. Как изменится влияние продольных ускорений на ГВ, если угол дрейфа или скольжения считать отличным от нуля?
- 5.12. Гиromаятниковые вертикали можно сделать невозмущаемыми ускорениями объекта выполнением условия Шулера. Можно ли тем же способом обеспечить невозмущаемость ГВ с радиальной коррекцией?
- 5.13. Установившиеся значения погрешностей ГВ с пропорциональной коррекцией в условиях правильного виража определяются выражениями

$$\alpha_{уст} = -\frac{\varepsilon^2 v \omega_B}{g(\varepsilon^2 + \omega_B^2)}; \quad \beta_{уст} = -\frac{\varepsilon v \omega_B^2}{g(\varepsilon^2 + \omega_B^2)}.$$

При малых или больших значениях угловой скорости ω_B виража такие погрешности будут наибольшими? Существует ли экстремум рассматриваемой погрешности в функции ω_B ? Существует ли экстремум в функции удельной скорости коррекции ε ?

- 5.14. Какой вид имеет график погрешности ГВ со смешанной коррекцией при равноускоренном движении объекта постоянным курсом?
- 5.15. Распространяется ли и на случай смешанной коррекции ГВ закономерность, присущая ГВ с постоянной коррекцией: погрешность от влияния продольных ускорений мала как при малых, так и при больших продольных ускорениях объекта?
- 5.16. Имеет ли ГВ со смешанной коррекцией зону застоя, обусловленную сухим трением на осях подвеса гироскопа?
- 5.17. Имеет ли ГВ со смешанной коррекцией скоростную погрешность подобно ГВ с пропорциональной коррекцией, или такая погрешность отсутствует как у ГВ с постоянной коррекцией?
- 5.18. Какой вид имеет траектория движения вершины гироскопа ГВ со смешанной коррекцией в условиях правильного виража объекта? При каких условиях эта траектория будет такой же, как у ГВ с пропорциональной коррекцией?
- 5.19. У ГВ с постоянной коррекцией виражная погрешность мала как при большой, так и при малой угловой скорости виража. Как объяснить физически, что ГВ в условиях виража при выключенной поперечной коррекции остается корректируемой по обеим осям?
- 5.20. У ГВ с постоянной коррекцией в условиях виража при достаточно малых углах отклонения главной оси гироскопа по координате α движение по координате β отсутствует. Как объяснить физически это явление?
- 5.21. Как объяснить физическую природу того факта, что у ГВ с постоянной коррекцией в случае выключения при вираже поперечной коррекции устраняются начальные большие отклонения гироскопа по обеим осям, но при достижении отклонения $|\alpha| < |\omega_k / \omega_g|$, $\beta = 0$ происходит явление «захвата», т.е. гироскоп начинает поворачиваться вместе с объектом и дальнейшее коррекционное движение прекращается?
- 5.22. Проанализируйте поведение ГВ с постоянной коррекцией в условиях виража при больших начальных отклонениях главной оси гироскопа от вертикали по обеим осям в случае, когда система коррекции включена по способу «тан-

гаж-крен », т.е. когда на оба датчика момента поступают сигналы от маятника продольной системы коррекции и уравнения имеют вид $\dot{\beta} - \omega_g \alpha = -\omega_{k1} \text{sign} \beta$; $\dot{\alpha} + \omega_{в} \beta = +\omega_{k2} \text{sign} \beta$. Какой вид имеют траектории движения вершины гироскопа в области малых отклонений от земной вертикали ?

5.23. Как объяснить физически, что погрешности от качки уменьшаются со снижением удельной скорости коррекции ГВ с пропорциональной коррекцией или скорости коррекции ГВ с постоянной коррекцией ?

5.24. Может ли рыскание объекта быть причиной погрешности ГВ?

5.25. Какой вид будут иметь приближенные уравнения движения ГВ в условиях качки, если учесть влияние продольного и поперечного линейных ускорений точки подвеса гироскопа, обусловленных трехосной качкой (рысканием, килевой и бортовой качкой)? (Указание: считать, что качка совершается вокруг центра масс объекта, положение точки подвеса гироскопа относительно центра масс задано координатами ρ_x, ρ_y, ρ_z , определяющими смещение вдоль продольной, нормальной и поперечной осей объекта, углы рыскания, килевой и бортовой качки считать малыми. Выражение линейного ускорения точки подвеса можно получить дифференцированием выражения линейной скорости $\vec{V} = \vec{\omega} \times \vec{\rho}$?

5.26. Почему при включении питания ГВ часто наблюдается вначале неустановившиеся автоколебания гироскопа с увеличивающейся частотой и уменьшающейся амплитудой? Чем объяснить, что в ГВ, которые с учетом системы коррекции представляют собой замкнутую динамическую систему, в установившемся режиме работы автоколебания, как правило, отсутствуют ?

5.27. Можно ли в схеме ГВ использовать не моментную, а кинематическую коррекцию гироскопа от маятников, подобную кинематической коррекции ГН, ГМК?

5.30. Какие достоинства имеют жидкостные маятниковые устройства? Чем объясняется их широкое применение в авиационных ГВ?

5.31. Какие недостатки присущи невыбиваемой ГВ?

5.32. Почему в схеме невыбываемой ГВ датчики угла крена и тангажа размещены не на осях наружной и внутренней рамок, а на осях следящей и наружной рамки?

5.33. От каких параметров прибора зависит характер коррекционного движения ГВ с интегрально - позиционной коррекцией? Может ли оно быть колебательным? (Указание: целесообразно рассматривать поведение прибора на абсолютно неподвижном основании).

5.34. Какую погрешность вызовет в ГВ с интегрально- позиционной коррекцией смещение нуля интегратора на постоянную величину?

5.35. Какая погрешность появится у ГВ с интегрально- позиционной коррекцией от дрейфа нуля интегратора с постоянной скоростью?

5.36. Можно ли в ГВ с интегральной коррекцией использовать не акселерометры, а маятники?

5.37. Какие недостатки имеет ГВ с интегральной коррекцией?

5.38. Как будет вести себя ГВ с интегральной коррекцией при ненулевых начальных условиях?

5.39. Какой переходной процесс имеет ГВ с интегральной коррекцией?

5.40. Как отразится на работе компенсированного маятника наличие угла скольжения (дрейфа), т.е. угла, характеризующего отклонение вектора скорости объекта от его продольной оси?

5.41. Рассчитать значение скоростной погрешности ГВ с пропорциональной коррекцией в начальный момент времени и через t часов полета. Прибор установлен на объекте, движущемся с постоянной скоростью V курсом K . Начальная широта места φ . Числовые значения параметров приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	V (м/с)	200	210	220	230	240	250
3	K (градус)	0	30	45	60	90	0
4	t (час)	3	4	5	6	7	3
5	ε (c^{-1})	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	255	245	235	225	215	205	180	170
3	30	45	60	90	0	30	45	60
4	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9	9,5
5	0,05	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

5.42. Определить максимальную погрешность ГВ с пропорциональной коррекцией при равноускоренном в течение времени τ движении объекта постоянным курсом. Численные значения заданных параметров приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	W (м с ⁻²)	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0,1
3	τ (с)	120	60	30	60	10	60
4	ε (с ⁻¹)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,5	0,7	0,9	2	4	6	8	3
3	10	30	100	60	40	60	20	40
4	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03

5.43. Вычислить максимальное значение выраженной погрешности ГВ с пропорциональной коррекцией. Объект, на котором установлен ГВ, совершает правильный вираж, с линейной скоростью V , угловой скоростью ω_B . Удельные скорости коррекции ε_1 и ε_2 одинаковы. Численные значения величин приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	V (м/с)	250	240	230	220	200	190
3	ω_B (1/с)	-0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
4	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ (с ⁻¹)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06

1	7	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	---	----	----	----	----	----

2	180	170	160	200	210	220	230	240
3	-0.1	-0.3	-0.4	-0,35	0,2	0,25	0,15	0,35
4	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,05

5.44. Построить траекторию коррекционного движения ГВ при начальных отклонениях $\alpha(0)$ и $\beta(0)$. Удельная скорость продольной коррекции ε_1 , поперечной - ε_2 . числовые значения приведены в таблице

1	вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$\alpha(0)$ (градус)	1	1,5	2	2,5	3	0
3	$\beta(0)$ (градус)	0,4	1	1,5	2	0	3,5
4	ε_1 (с ⁻¹)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04
5	ε_2 (с ⁻¹)	0,05	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	3,5	4	1	1,5	2	2,5	3	4
3	3	2	1,5	2	0	2,5	1,5	2
4	0,01	0,01	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05
5	0,02	0,01	0,01	0,03	0,05	0,06	0,01	0,01

5.45. Определить время t , когда погрешность ГВ от продольного ускорения достигнет максимума, если продольное ускорение объекта изменяется по закону $W = ae^{-kt}$. Удельная скорость коррекции ГВ ε . Числовые значения заданных параметров приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	K (с ⁻¹)	0,03	0,018	0,022	0,028	0,031	0,043
3	ε (с ⁻¹)	0,01	0,015	0,025	0,02	0,03	0,045

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
---	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

2	0,019	0,032	0,05	0,055	0,04	0,03	0,018	0,023
3	0,025	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08

5.46. Рассчитать максимальную выраженную погрешность ГВ с постоянной коррекцией. Объект, на котором установлена ГВ, совершает правильный вираж. Численные значения параметров приведены таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	V (м с ⁻¹)	240	230	220	210	200	180
3	ω_B (с ⁻¹)	0,1	-0,1	0,2	-0,2	0,3	-0,3
4	$\omega_1=\omega_2=\omega_B$ (с ⁻¹)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	180	170	160	150	140	130	120	110
3	0,4	-0,4	0,45	-0,45	0,5	-0,5	0,55	-0,55
4	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02

5.47. Построить траекторию коррекционного движения ГВ и вычислить критическую угловую скорость виража. Объект, на котором установлена ГВ, совершает вираж с постоянной скоростью V . Удельные скорости коррекции ε_1 и ε_2 . Численные значения величин приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	V (м·с ⁻¹)	100	110	120	130	140	150
3	ε_1 (с ⁻¹)	0,01	0,015	0,02	0,01	0,015	0,02
4	ε_2 (с ⁻¹)	0,02	0,02	0,015	0,015	0,015	0,02

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	160	170	180	190	195	185	200	205
3	0,01	0,015	0,01	0,02	0,015	0,01	0,01	0,015
4	0,01	0,015	0,02	0,015	0,02	0,02	0,015	0,015

5.48. Определить максимальную погрешность ГВ с постоянной коррекцией при бортовой качке объекта. Значение скорости коррекции ε_2 и периода качки T_k приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	ε_2 (с ⁻¹)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.01
3	T_k (с)	5	6	7	8	9	10

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0.02	0.03	0.04	0.05	0.01	0.02	0.03	0.04
3	9	8	7	6	5	15	14	13

5.49. Определить максимально возможные погрешности ГВ с пропорциональной коррекцией при горизонтальном движении объекта по ортодромии со скоростью V , обусловленные ускорением Кориолиса и вращением Земли. Удельная скорость коррекции ГВ $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$. Численные значения параметров приведены в таблице.

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	V (м·с ⁻¹)	250	260	270	280	290	300
3	ε (с ⁻¹)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	310	320	330	340	350	360	370	380
3	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04

5.50. Определить инструментальную погрешность ГВ с пропорциональной коррекцией, обусловленную моментом сил сухого трения M_{T1} и M_{T2} по осям наружной и внутренней рамок соответственно. Параметры ГВ: $H, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ приведены в таблице .

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	H (кг·м ² ·с ⁻¹)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
3	M_{T1} (Н·м)	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$
4	M_{T2} (Н·м)	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
5	ε_1 (с ⁻¹)	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035
6	ε_2 (с ⁻¹)	0.05	0.045	0.04	0.035	0.03	0.025

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
3	$5 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$1,5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
4	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	10^{-4}	$9 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$
5	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075
6	0,022	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04

5.51. Построить траекторию коррекционного движения ГВ с пропорциональной коррекцией, если начальное отклонение главной оси гироскопа определяется координатами $\alpha(0)$, $\beta(0)$. Конструктивные параметры ГВ определены в задаче 5.50. Численные значения заданных начальных отклонений приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$\alpha(0)$ (градус)	10	20	25	30	35	-10
3	$\beta(0)$ (градус)	-10	-45	-25	-45	-10	-30

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	-25	-20	-30	-35	5	4	3	-5
3	-20	30	10	-10	-4	20	-30	-15

5.52. Постройте траекторию движения на вираже апекса гировертикали на картинной плоскости координат α, β в сопровождающем трехграннике при условиях задачи 5.43.

5.53. Постройте траекторию движения на вираже апекса гировертикали на картинной плоскости связанного трехгранника при условиях задачи 5.43.

6. ГИРОТАХОМЕТРЫ

При решении задач по динамически настраиваемым гироскопам рекомендуется литература [3], по другим приборам [1,2,4].

6.1. Какие свойства гироскопа положены в основу построения гиротаксметра (ГТ)?

6.2. Сопоставьте принцип работы ГТ с принципом работы центробежного тахометра. Установите, почему гироскопические тахометры более приспособлены к изменению малых угловых скоростей по сравнению с центробежными?

6.3. ГТ измеряют абсолютную угловую скорость. Почему оказывается возможным их использование для измерения относительной скорости, например, скорости поворота самолета вокруг заданной его оси относительно земной системы координат ?

6.4. Как сообщалось в печати, советские спортсмены, достигшие на лыжах северного полюса, испытывали трудности в определении места нахождения полюса из-за облачности, мешавшей проводить астрономические наблюдения. Как можно было бы решить эту задачу автономно, т.е. без использования внешних ориентиров, при наличии идеального ГТ ?

6.5. Можно ли с помощью идеальных ГТ и акселерометров определить положение мгновенного центра вращения подвижного объекта ?

6.6. Можно ли с помощью идеальных ГТ и прибора курса определить приращение широты и долготы подвижного объекта, перемещающегося на известной высоте над земной поверхностью ?

6.7. Почему при составлении уравнения движения ГТ не используют укороченные уравнения Эйлера или, в случае применения уравнения Лагранжа во второй форме, не используют кинетическую энергию вращательного движения только вокруг главной оси гироскопа ?

6.8. Почему при составлении уравнения движения ГТ целесообразно в качестве кинетического момента гироскопа использовать только собственный кинетический момент, обусловленный угловой скоростью ротора относительно статора ?

6.9. Определите соотношение между h и ω_0 , при котором обеспечивается наилучшая равномерность начального рабочего участка ($\omega_{\max} \ll \omega_0$) амплитудой

частотной характеристики ГТ, исходя из условия $\frac{\partial A(\omega)}{\partial \omega} = 0$, т.е. из условия ну-

левой крутизны наклона касательной к амплитудной частотной характеристике, проведенной к любой точке рабочего участка характеристики. Отличается это соотношение от полученного из условия $A(0) - A(\omega) = 0$?

6.10. Мультипликативную погрешность от влияния сомножителя $\cos \beta$ в основном гироскопическом моменте $H\omega_\xi \cos \beta$ можно свести к аддитивной, если $\cos \beta$ разложить в ряд по степеням β и представить этот момент в виде $H\omega_\xi (1 - \beta^2/2 + \beta^4/4! - \dots)$. Влияние сомножителя $\cos \beta$ будет заменено в этом случае влиянием членов $-H\omega_\xi \beta^2/2 + H\omega_\xi \beta^4/4!$. Ограничившись (с учетом соотношения $\beta \ll 1$) лишь членом $-H\omega_\xi \beta^2/2$, составьте формулы погрешности от влияния аддитивной помехи, заменяющей мультипликативную. Будут ли они отличаться от формул, оценивающих влияние мультипликативной помехи ?

6.11. Отклонение подвижной части ГТ от положения равновесия приводит к появлению двух погрешностей : 1) от влияния гироскопического момента от перекрестной угловой скорости ω_ζ ; 2) от влияния сомножителя $\cos \beta$ в основном гироскопическом моменте . Какая из этих погрешностей больше, если измеряемая ω_ξ и перекрестная ω_ζ угловые скорости одинаковы по величине?

- 6.12. Динамические погрешности ГТ могут быть сделаны сколь угодно малыми повышением частоты ω_0 собственных незатухающих колебаний. Увеличением жесткости упругой связи можно неограниченно повышать частоту ω_0 . Что мешает на практике широко использовать эту возможность снижения динамических погрешности ?
- 6.13. Какие достоинства и недостатки имеет ГТ с упругой механической связью?
- 6.14. Какие преимущества имеет ГТ с ”электрической пружиной”?
- 6.15. Почему в компенсационных ГТ выходной сигнал прибора не зависит от напряжения питания электрического датчика угла ? Как это объяснить физически?
- 6.16. Зависит ли угол поворота подвижной части компенсационного ГТ от напряжения питания электрического датчика угла?
- 6.17. Можно ли в компенсационном ГТ обходиться без механического демпфера?
- 6.18. Можно ли в компенсационном ГТ обходиться без электрического датчика угла?
- 6.19. Зависит ли частота собственных колебаний подвижной части компенсационного ГТ от напряжения питания электрического датчика угла?
- 6.20. Почему в компенсационном ГТ в качестве выходного сигнала целесообразно использовать не выходной сигнал электрического датчика угла, а входной сигнал датчика момента?
- 6.21. Составьте уравнение движения компенсационного ГТ с двухфазным асинхронным датчиком момента. Установите, можно ли в этом случае обеспечить успокоение собственных колебаний подвижной части прибора без использования механического демпфера? От каких параметров будет зависеть статический коэффициент передачи прибора?
- 6.22. Какие преимущества имеют компенсационные ГТ по сравнению ГТ с механической упругой связью в отношении возможности использования гироскопов с менее стабильным кинетическим моментом ?

- 6.23. Как построить схему компенсационного ГТ, у которого и элемент преобразования входной угловой скорости в гироскопический момент был бы охвачен контуром обратной связи и, следовательно, коэффициент передачи прибора слабо зависел бы от кинетического момента гироскопа?
- 6.24. Что ограничивает в компенсационном ГТ повышение частоты собственных колебаний подвижной части прибора с целью снижения динамических погрешностей?
- 6.25. Можно ли в ГТ с двумя кинематически связанными гироскопами использовать упругие связи и демпферы на осях подвеса каждого из двух гиромоторов?
- 6.26. Можно ли в ГТ с двумя кинематически связанными гироскопами с целью уменьшения размеров прибора второй гиромотор взять с кинетическим моментом в n раз меньше, чем у первого, а для обеспечения подавления аддитивных моментов-помех связать гиромоторы кинематической связью с передаточным отношением, равным n ?
- 6.27. Можно ли в схеме двухроторного ГТ с кинематически связанными гиromоторами для подавления только моментов-помех $I_y \dot{\omega}_\eta$ второй гиromотор заменить “болванкой” без ротора, имеющей такой же момент инерции относительно оси подвеса? Можно ли момент инерции “болванки” взять в n раз меньше момента инерции гиromотора? Каким в этом случае должно быть передаточное отношение кинематической связи?
- 6.28. Можно ли в схеме двухроторного ГТ с кинематически связанными гиromоторами использовать два компенсационных ГТ? Нужно ли в этом случае снабжать обратной связью оба гироскопа, или достаточно только один? Откуда снимать выходной сигнал в такой схеме?
- 6.29. Обязательно ли в схеме двух ГТ с дифференциальным выходом для уменьшения влияния моментов-помех нужно иметь противоположное направление векторов кинетических моментов?

- 6.30. Можно ли в схеме двух ГТ с дифференциальным выходом использовать ГТ с различными кинетическими моментами гироскопов, а уравнивание сигналов моментов-помех для их подавления производить с помощью делителя напряжения на выходе одного из ГТ?
- 6.31. Как объяснить физически, что в схеме двух ГТ с дифференциальным выходом и общей отрицательной обратной связью обеспечивается выравниванием величин углов β_1 и β_2 поворота гиromоторов?
- 6.32. Каковы достоинства и недостатки схемы из двух ГТ с дифференциальным выходом и общей отрицательной обратной связью по сравнению со схемой с двумя кинематически связанными гироскопами?
- 6.33. Каковы достоинства и недостатки поплавковых ГТ?
- 6.34. Какие типы вибрационных гироскопов являются двухкомпонентными?
- 6.35. Как выглядит схема, содержащая генератор опорного напряжения и два фазочувствительных выпрямителя, с помощью которой сигнал роторного вибрационного гироскопа можно разделить на две составляющие, несущие информацию об угловой скорости основания вокруг двух взаимно перпендикулярных осей?
- 6.36. В чем физическая сущность динамической настройки роторного вибрационного гироскопа? Какие преимущества дает динамическая настройка? Почему при “растянутом” резонансе амплитудная и фазовая частотные характеристики получают “удобную” для практики форму?
- 6.37. Возможна ли динамическая настройка не в роторных, а в осцилляторных вибрационных гироскопах?
- 6.38. Можно ли считать, что роторный вибрационный гироскоп производит измерение проекций угловой скорости основания на плоскость ротора в полярной системе координат и что с помощью генератора опорного напряжения и двух фазочувствительных выпрямителей можно измеренную скорость преобразовать в две ортогональные составляющие прямоугольной системы координат, лежащие в плоскости ротора?

6.39. Почему В ГТ, основанном на использовании трехстепенного гироскопа, для погашения собственных колебаний достаточно применять один демпфер, установленный на одной из двух осей подвеса гироскопа?

6.40. Собственные колебания ГТ, основанного на трехстепенном гироскопе, отображают прецессионное или нутационное движение гироскопа ?

6.41. На практике часто пользуются следующей рекомендацией: для обеспечения достаточно малых динамических погрешностей необходимо, чтобы частота собственных незатухающих колебаний ГТ примерно на порядок превысила максимальную частоту изменения подлежащей измерению угловой скорости .

С целью проверки справедливости этой рекомендации рассчитайте динамические погрешности при

$$\frac{\omega_0}{\omega_{\max}} = 5; \quad \frac{\omega_0}{\omega_{\max}} = 10; \quad \zeta = 0.7; \quad \zeta = 0.5; \quad \zeta = 0.3;$$

6.42. Порог чувствительности ГТ, в основном, определяется моментом сил сухого трения на оси подвеса гиromотора. Может ли влиять на порог чувствительности дискретный характер приращения выходного сигнала потенциометрического датчика угла?

6.43. Какие преимущества и недостатки имеют ГТ, построенные на основе трехстепенного гироскопа, по сравнению с ГТ на двухстепенном гироскопе?

6.44. Оцените на примере параметров любого конкретного двухстепенного ГТ приращение коэффициента демпфирования, которое возникает в результате нагрузки подшипников на оси подвеса гиromотора гироскопическим моментом $H\beta$. Существенно ли это приращение по сравнению с коэффициентом демпфирования, создаваемого механическим демпфером ?

6.45. Как по экспериментально снятой кривой собственных затухающих колебаний двухстепенного ГТ определить частоту собственных незатухающих колебаний, относительный коэффициент затухания, коэффициент демпфирования и момент сил сухого трения в подшипниках подвеса гиromотора?

6.46. Будут ли различаться кривые собственных затухающих колебаний ГТ при вращающемся и невращающемся роторе гироскопа?

6.47. Чем объяснить, что расчетное значение частоты собственных незатухающих колебаний, полученное согласно зависимости $\omega_0 = \sqrt{c/I_0}$, как правило, оказывается выше полученного экспериментального?

6.48. Определить допустимый уровень момента сил сухого трения в подвесе ГТ, имеющего кинетический момент H , если задан порог чувствительности прибора $\omega_{\xi_{\min}}$. Значения H и $\omega_{\xi_{\min}}$ приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	H ($\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$)	0.2	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05
3	$\omega_{\xi_{\min}}$ (с^{-1})	0.0005	0.003	0.001	0.0013	0.003	0.0013

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0.2	0.1	0.2	0.05	0.2	0.05	0.1	0.05
3	0.001	0.0005	0.0013	0.0001	0.003	0.0005	0.0013	0.003

6.49. Определить порог чувствительности ГТ и максимальное значение измеряемой скорости, считаем $\omega_{\max} = 0.1\omega_0$. Построить статическую характеристику прибора, параметры которого приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	H ($\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$)	0.05	0.2	0.1	0.2	0.1	0.05
3	c ($\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{рад}^{-1}$)	1	3.5	7.4	2	0.4	1.8
4	I_y , ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$)	0.00005	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.00005
5	$M_{\text{тр}}$ (Нм)	0.00015	0.0001	0.0001	0.00006	0.0003	0.0013

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.2	0.05	0.2	0.05	0.1	0.05	0.2	0.05
3	1.25	0.9	16	0.8	3.6	3	3.5	8
4	0.0002	0.00005	0.0002	0.00005	0.0001	0.00005	0.0002	0.00005
5	0.0002	0.00003	0.0003	0.0002	0.00005	0.00008	0.0006	0.00009

6.50. Рассчитать погрешность ГТ от переносного ускорения $\dot{\omega}_\eta$ по оси подвеса гиromотора, если максимальный угол отклонения подвижной части β_{\max} наблюдается при действии угловой скорости $\omega_{\xi_{\max}}$. Момент инерции прибора относительно оси подвеса I_η , угловая жесткость пружины - c .

Численные значения величин приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	$\dot{\omega}_\eta$ (с ⁻²)	0.1	0.05	0.025	0.075	0.008	0.05
3	β_{\max} (рад)	0.032	0.017	0.0034	0.0068	0.02	0.085
4	$\omega_{\xi_{\max}}$ (с ⁻¹)	0.2	0.1	0.3	0.4	0.1	0.3
5	I_η (кг·м ²)	0.0002	0.00005	0.0001	0.00005	0.0002	0.0001
6	c (Н·м·рад ⁻¹)	1.25	0.9	3	3	1	3.6

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.017	0.1	0.025	0.05	0.1	0.017	0.1	0.05
3	0.0051	0.01	0.032	0.051	0.017	0.0068	0.0085	0.0051
4	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	0.4
5	0.0002	0.00005	0.0002	0.0001	0.0002	0.00005	0.00005	0.0001
6	16	1	0.61	0.4	3.5	0.8	1.8	7.4

6.51. Рассчитать допустимую скорость поворота ГТ вокруг оси чувствительности $\omega_{\xi_{\text{дон}}}$, если предельная радиальная нагрузка на подшипники оси подвеса

подвижного узла R. Кинетический момент гироскопа H. Расстояние между подшипниками L. Численные значения величин приведены в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	R (H)	1	0.9	0.8	0.11	0.12	1
3	H (кг·м ² ·с ⁻¹)	0.1	0.05	0.2	0.1	0.2	0.05
4	L (м)	0.08	0.1	0.07	0.11	0.08	0.07

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.8	0.11	0.9	0.12	1	0.8	0.11	0.12
3	0.2	0.2	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.2
4	0.091	0.11	0.07	0.12	0.09	0.1	0.071	0.09

6.52. Рассчитать амплитудную погрешность и запаздывание по фазе ГТ, параметры которого H, ω_0 , I_y , ζ приведены ниже в таблице. Угловая скорость ω_ξ изменяется по гармоническому закону с частотой $\omega = 10c^{-1}$

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	H (кг·м ² ·с ⁻¹)	0.05	0.1	0.05	0.2	0.1	0.05
3	ω_0 (с ⁻¹)	100	140	70	120	100	90
4	I_η (кг·м ²)	0.00005	0.0001	0.00005	0.0002	0.0001	0.00005
5	ζ	0.4	0.8	0.78	0.3	0.6	0.7

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,2	0,1	0,05	0,2	0,1	0,2	0,05	0,2
3	80	130	110	100	70	90	80	130
4	0,0002	0,0001	0,00005	0,0002	0,0001	0,0002	0,00005	0,0002
5	0,8	0,6	0,8	0,2	0,8	0,5	0,75	0,6

6.53. Рассчитать погрешность ГТ от момента упругого дебаланса при наличии ускорений $W_x = W_z$. Кинетический момент гироскопа H , масса ротора m . Численные значения величин, а также значение разности $c_z^{-1} - c_x^{-1}$ приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	$W_x = W_z$ (м·с ⁻²)	0.1	0.3	0.6	0.5	0.3	0.4
3	H (кг·м·с)	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.5
4	m (кг)	0.125	0.225	0.425	0.225	0.425	0.125
5	$c_z^{-1} - c_x^{-1}$ (Н ⁻¹ м)	1*10	2*10	3*10	4*10	3*10	2*10
6	ω_ξ , с ⁻¹	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.1	0.7	0.6
3	0.1	0.05	0.2	0.1	0.05	0.2	0.2	0.1
4	0.225	0.125	0.425	0.225	0.125	0.425	0.425	0.225
5	4*10	2*10	3*10	3*10	2*10	3*10	4*10	2*10
6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	3	4

6.54. Определить угловую жесткость пружины ГТ, если время затухания огибающей собственных колебаний прибора при переходном процессе после воздействия единичного ступенчатого возмущения до величины, не превышающей $\varepsilon\%$ от установившегося отклонения, равно $t_{зам}$. Значения величин ε , $t_{зам}$, а также параметры прибора I_y , f приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	ε (%)	3	5	2	1	5	3
3	$t_{зам}$ (с)	0.1	0.09	0.08	0.075	0.12	0.09
4	I_y (кг·м ²)	0.00005	0.0001	0.00005	0.0001	0.0002	0.0002
5	f (Н·м·с)	0.0035	0.004	0.012	0.028	0.003	0.006

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	2	1	5	2	3	1	5	3
3	0.08	0.013	0.1	0.12	0.075	0.09	0.08	0.1
4	0.0001	0.00005	0.0002	0.001	0.00005	0.0002	0.0001	0.00005
5	0.007	0.0028	0.0035	0.004	0.007	0.006	0.0028	0.012

6.55. Рассчитать время затухания огибающей собственных колебаний ГТ при переходном процессе после единичного ступенчатого возмущения до величины, не превышающей $\varepsilon\%$ от установившегося отклонения, если выполняется условие $2h^2 = \omega_0^2$. Параметры прибора f , I_y и значения величины ε приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	F (Н·м·с)	0.004	0.007	0.006	0.028	0.012	0.003
3	I_y (кг·м ²)	0.0002	0.00005	0.0002	0.0001	0.00005	0.00005
4	ε (%)	3	2	1	5	3	2

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.004	0.0035	0.0028	0.26	0.007	0.00001	0.006	0.0004
3	0.0001	0.00005	0.0002	0.00005	0.0001	0.00005	0.0002	0.0001
4	1	2	5	3	1	5	2	3

6.56. Построить АЧХ и ФЧХ компенсационного ГТ и ГТ с механической упругой связью. Кинетические моменты H , моменты инерции гиromоторов относительно оси подвеса I_y и относительные коэффициенты затухания обоих приборов ζ одинаковы. Угловая жесткость пружины s , коэффициент передачи контура компенсации K . Определить максимальные значения измеряемой скорости, считая $\omega_{\max} \approx 0.1 \omega_0$. Численные значения величин приведены в таблице:

1	вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	H (кг м ² с ⁻¹)	0,2	0,1	0,05	0,1	0,1	0,2
3	I_y (кг м ²)	0,0002	0,0001	0,00005	0,0002	0,0001	0,0002
4	ζ	0,8	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5
5	c (Н м рад ⁻¹)	16	0,4	1	3,5	7,4	2
6	K (Н м рад ⁻¹)	8	0,2	0,5	1,7	3,7	1

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0,05	0,2	0,05	0,1	0,05	0,2	0,1	0,05
3	0,00005	0,0002	0,00005	0,0001	0,00005	0,0002	0,0001	0,00005
4	0,6	0,7	0,8	0,3	0,6	0,4	0,7	0,4
5	1,8	1,25	0,8	3	0,9	1	3,6	3
6	0,9	0,65	0,4	1,5	0,45	0,5	1,8	1,5

7. ИНТЕГРИРУЮЩИЕ ГИРОСКОПЫ

7.1. Почему при постоянной входной угловой скорости в ГТ после окончания переходного процесса наступает состояние равновесия подвижной части прибора, а в интегрирующем гироскопе (ИГ) – установившееся движение с постоянной в пределах малых углов β угловой скоростью?

7.2. Если угол β поворота подвижной части не малый, по какому закону будет изменяться скорость $\dot{\beta}$ поворота подвижной части прибора под влиянием постоянной входной угловой скорости ω_{ξ} ?

7.3. В чем общность и различие принципов работы ИГ и двухстепенного гироскопа?

7.4. В чем различие моментов-помех, действующих на подвижную часть ГТ и ИГ?

7.5. В чем различие влияния моментов-помех в ИГ и ГТ?

- 7.6. Какой вид имеет схема трехосного гиросtabilизатора, в котором в качестве чувствительных элементов используются три ИГ?
- 7.7. Как должны быть ориентированы относительно друг друга входные оси ИГ трехосного гиросtabilизатора?
- 7.8. Почему в ИГ, в отличие от ГТ, требуется начальная выставка подвижной части прибора?
- 7.9. Почему в схеме ИГ, снабженного следящей системой, информацию о приращении угла поворота объекта вокруг оси чувствительности прибора следует снимать не с датчика угла на оси подвеса гироскопа, а с датчика угла на оси следящей системы?
- 7.10. Известно, что ИГ могут быть использованы для управления ориентацией подвижного объекта. Каковы достоинства и недостатки использования таких приборов в системе автоматического управления подвижным объектом по угловым координатам?
- 7.11. Как нужно расположить ось подвеса гиromотора и главную ось ИГ относительно осей объекта для управления подвижным объектом:
- 1) по углу крена,
 - 2) по углу курса?
- 7.12. Какой закон изменения во времени должен иметь электрический сигнал, подаваемый на датчик момента ИГ, используемого в системе управления объектом по курсу, чтобы создать программное изменение курса с заданной постоянной скоростью? Как рассчитать уровень такого сигнала, если известны все параметры ИГ?
- 7.13. Почему поплавковые ИГ, обладающие низким самопроизвольным уходом, считают приборами дорогими, трудоемкими, требующими высокой технологической культуры производства?
- 7.14. Как известно, поплавокый подвес ИГ не только уменьшает момент сил сухого трения на оси подвеса подвижной части прибора, но также повышает ударную прочность и вибропрочность прибора. Влияет ли на эти последние качества жесткость сильфона?

7.15. В одинаковой ли мере влияет на точность измерения приращения угла нестабильность кинетического момента гироскопа в случае

- 1) когда ИГ снабжен следящей системой;
- 2) когда прибор следящей системы не имеет?

7.16. Какие моменты-помехи, действующие на подвижную часть ИГ, существенно уменьшаются, если прибор снабжен следящей системой?

7.17. Одинаковый ли эффект повышения точности ИГ и ГТ дает схема из двух приборов с противоположно направленными кинетическими моментами и дифференциальным выходом?

7.18. Одинаков ли эффект повышения точности ИГ и ГТ дает схема из двух приборов с дифференциальным выходом и общей отрицательной обратной связью?

7.19. Проявляется ли выпрямительный эффект, вызывающий повышенный уход ИГ при синхронной двух- или трехосной качке основания, у ГТ ? Есть ли различие в погрешностях этих приборов, порождаемое указанным выпрямительным эффектом ?

7.20. Скорость ухода ИГ при синхронной качке основания вокруг двух или трех осей зависит от фазовых сдвигов скоростей качки. Будет ли максимальное значение погрешности у ГТ от выпрямительного эффекта при синхронной качке при трех же фазовых сдвигах, что и у ИГ или при других ?

7.21. Какими средствами можно уменьшить повышенный уход ИГ при синхронной качке основания вокруг двух или трех осей ?

7.22. При заполнении корпуса поплавкового ИГ поддерживающей жидкостью большое внимание уделяют отсутствию пузырьков. С чем это связано ? Какие параметры и характеристики прибора ухудшаются при наличии пузырьков в поддерживающей жидкости: точность, ударная прочность и вибропрочность, срок службы, потребляемая прибором мощность или другие ?

7.23. Может ли влиять неоднородность температуры поддерживающей жидкости поплавкового ИГ на его точность ?

- 7.24. В ИГ для начальной выставки главной оси гироскопа в направлении перпендикуляра к оси чувствительности, т.е. для выставки подвижной части прибора в “нулевое” положение, можно образовать обратную связь между датчиком угла и датчиком момента на оси подвеса гиromотора, т.е. создать “электрическую пружину”. В рабочем состоянии прибора эта обратная связь, естественно, должна быть разомкнута. Как отразится на работе прибора, если эту обратную связь забыли разорвать с помощью ключа, и она сохранилась в рабочих условиях ?
- 7.25. Можно ли использовать поплавковый ИГ для измерения малой угловой скорости, т.е. для использования его в качестве ГТ ? Какие минимальные доработки прибора при этом нужны ?
- 7.26. В схеме из двух ИГ с дифференциальным выходом и общей обратной связью требуется включать корректирующие звенья при глубокой обратной связи для обеспечения устойчивости системы. Нужны ли такие корректирующие звенья при глубокой обратной связи в аналогичной схеме из двух ГТ ?
- 7.27. Почему максимальную скорость начальной выставки подвижной поплавкового ИГ в рабочее положение приходится ограничивать ?
- 7.28. Как рассчитать скорость начальной выставки подвижной части ИГ при заданном значении момента, развиваемого датчиком момента ?
- 7.29. Какие достоинства и недостатки приобретает поплавковый ИГ вследствие использования в нем системы термостабилизации ?
- 7.30. Почему форсирующие гироскопы используют только в качестве чувствительных элементов систем управления подвижными объектами ?
- 7.31. Нужна ли начальная выставка подвижной части форсирующего гироскопа в положении равновесия как для ИГ, или благодаря добавлению упругой связи такой начальной выставки, как и для ГТ, не требуется ?
- 7.32. В форсирующем гироскопе свобода вращения гиromотора ограничивается упругой связью, создаваемой пружинами, и связью, создающей противодействующий момент, пропорциональный скорости поворота подвижной части прибора. Вторую связь выполняют в виде демпфера. Но у ГТ вращение гиromо-

тора также ограничивается пружиной и демпфером. Почему же форсирующий гироскоп и ГТ – различные приборы, измеряющие различные величины ?

7.33. В форсирующем гироскопе свобода вращения гиromотора вокруг оси его подвеса ограничивается последовательно, соединенными упругой связью и демпфирующей связью, создающей момент, пропорциональный скорости. Можно ли менять последовательность соединения этих двух связей: сначала демпфирующая, затем упругая ?

7.34. Можно ли сделать форсирующий гироскоп с поплавковым подвесом подвижной части прибора ?

7.35. Для повышения точности ГТ или ИГ можно использовать схему из двух одинаковых приборов с противоположными направлениями векторов кинетических моментов гироскопов и дифференциальным выходом. Еще больший эффект дает добавление общей для двух приборов отрицательной обратной связи по сумме углов поворота двух гироскопов. Можно ли такие схемы из двух приборов использовать применительно к форсирующим гироскопам ?

7.36. При проектировании ИГ заданы величины статического коэффициента передачи $K_{и}$, постоянной времени T и момента инерции подвижной части I_y . Определить каким кинетическим моментом H должен обладать гиromотор. Численные значения величин $K_{и}$, T, I_y приведены в таблице:

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	$K_{и}$	1	2	5	4	1	3
3	T (с)	0,003	0,005	0,006	0,004	0,002	0,004
4	I_y (кг м ²)	0,0003	0,0005	0,0006	0,0002	0,0001	0,00013

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	5	2	1	4	1,5	2,5	2	1
3	0,005	0,004	0,001	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002
4	0,0005	0,0004	0,0001	0,00008	0,0003	0,00007	0,00008	0,0004

7.37. Рассчитать и построить графики амплитудно-фазовой характеристики $W(j\omega)$ и переходной функции $\beta_{пер}$. ИГ, параметры которого приведены в задаче 7.38. Для ИГ с параметрами, приведенными в таблице к задаче 7.36 определить характеристику вынужденных колебаний гиросузда, а именно амплитуду вынужденных колебаний, угол сдвига фаз, динамическую погрешность по амплитуде, при воздействии на прибор колебаний объекта, изменяющихся по закону $\omega_{\xi} = \omega_{\xi m} \sin \omega t$. Численные значения величин ω_{ξ} и ω приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$\omega_{\xi m} (c^{-1})$	0,12	0,1	0,05	0,08	0,09	0,1
3	$\omega (c^{-1})$	0,9	1,5	2	1,5	2	0,9

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0,12	0,08	0,09	0,1	0,05	0,08	0,05	0,1
3	1	0,8	1,5	2	0,9	0,8	1	1,5

7.39. Определить допустимый уровень действующих на подвижный узел моментов. Допустимое значение ухода прибора $\dot{\beta}_{yx}$ приведены в таблице. Данные прибора определены в задаче 7.36

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$\dot{\beta}_{yx}$ (градус/час)	0,05	0,04	0,008	0,03	0,02	0,1

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0,04	0,05	0,009	0,01	0,005	0,008	0,005	0,01

7.40. Рассчитать радиальную составляющую опор R ИГ, кинетический момент которого H , если максимальная скорость поворота прибора вокруг оси чувствительности $\omega_{\xi m}$. Расстояние между опорами поплавка L . Численные значения приведены в таблице

1	Вариант	7	8	9	10	11	12	13	14
2	H (кг м ² с ⁻¹)	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,2	0,1	0,2
3	$\omega_{\xi m}$ (с ⁻¹)	0,5	0,6	0,4	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8
4	L (м)	0,07	0,12	0,09	0,09	0,1	0,07	0,11	0,08

7.41. Вычислить амплитудную погрешность и запаздывание по фазе ИГ, кинетический момент которого H, при изменении угловой скорости ω_{ξ} по гармоническому закону с частотой ω . Статический коэффициент передачи прибора K_u , момент инерции подвижной части I_y . Численные значения величин приведены ниже в таблице

1	Вариант	1	2	3	4	5	6
2	H (кг м ² с ⁻¹)	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,05
3	ω (с ⁻¹)	10	15	20	10	15	20
4	K_u	1	3	5	1	4	2
5	I_y (кг м ²)	0,0004	0,00013	0,00006	0,0004	0,0002	0,00075

1	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,2	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,2	0,05
3	10	5	15	10	20	10	15	20
4	1	3	4	5	1	1,5	2,5	5
5	0,0001	0,00006	0,00007	0,00006	0,0003	0,00028	0,00008	0,00005

7.42. Рассчитать постоянную составляющую скорости ухода ИГ с параметрами K_u, T при качке основания относительно трех осей по законам $\omega_{\xi} = \omega_{\xi m} \cos \omega_1 t$, $\omega_{\eta} = \omega_{\eta m} \cos(\omega_2 t + \lambda_2)$, $\omega_{\zeta} = \omega_{\zeta m} \cos(\omega_3 t + \lambda_3)$ с амплитудой $\omega_{\xi m} = \omega_{\eta m} = \omega_{\zeta m} = \omega_m$ частотой $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_{ур}$. Численные значения величин приведены ниже в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	K_u	5	4	1	3	5	2
3	T (с)	0,006	0,004	0,002	0,004	0,005	0,004
4	ω_m (с ⁻¹)	0,1	0,05	0,08	0,05	0,1	0,09
5	$\omega_{иг}$ (с ⁻¹)	0,9	0,8	1	1,5	0,8	2
6	λ_2 (рад)	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/6$	$\pi/12$	$\pi/3$	$\pi/4$
7	λ_3 (рад)	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/6$

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1	4	1	2	1,5	2,5	4	1
3	0,003	0,003	0,001	0,005	0,002	0,003	0,005	0,002
4	0,12	0,1	0,05	0,08	0,09	0,1	0,12	0,08
5	0,9	1,5	2	1,5	0,9	1	0,8	1,5
6	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/12$	$\pi/4$	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/12$	$\pi/3$
7	$\pi/12$	$\pi/6$	$\pi/5$	$\pi/3$	$\pi/4$	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/12$

7.43. Рассчитать значения сдвига фаз качки основания, заданной в предыдущей задаче, при которых скорость ухода ИГ максимальна. Параметры ИГ заданы в таблице к задаче 7.36. Частота качки $\omega_{иг}$ задана ниже в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	$\omega_{иг}$ (с ⁻¹)	1	0,9	0,8	1,5	2	0,8

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1	0,9	1,5	2	0,9	0,8	1,5	2

7.44. Рассчитать коэффициент линейной жесткости пружины и удельную силу демпфирования форсирующего гироскопа таким образом, чтобы в установившемся режиме составляющая угла поворота объекта в выходном сигнале составляла

вила η_ψ %. Кинетический момент форсирующего гироскопа H , мгновенное значение угла поворота подвижной части β , длина плеча, на котором сила упругости создает момент относительно оси подвеса гиromотора l , величина угловой скорости ω и угла поворота основания ψ приведены в таблице. При решении задачи возмущающие воздействия и инерционность элементов прибора не учитывать.

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	H (кг м ² с ⁻¹)	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
3	l (м)	0,01	0,02	0,03	0,009	0,008	0,007
4	β (градус)	2	2,5	3	3,5	4	4,5
5	n_ψ (%)	10	15	20	25	30	35
6	ω (с ⁻¹)	0,051	0,068	0,085	0,1	0,0119	0,136
7	ψ (градус)	3	4	5	7	8	6

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
3	0,01	0,02	0,03	0,009	0,008	0,007	0,01	0,02
4	5	5,5	6	6,5	7	6,5	5	4
5	40	45	50	55	60	65	70	75
6	0,051	0,068	0,085	0,1	0,119	0,136	0,051	0,068
7	3	4	5	6	7	8	3	4

8. ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАТОРЫ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ

8.1. Почему в гироскопических интеграторах линейных ускорений (ГИЛУ) в отличие от других гироскопических измерительных датчиков (измерительных гироскопов) типа ГТ, ГТА, ИГ, форсирующих гироскопов допускается неограниченный угол поворота подвижной части прибора вокруг выходной оси – на-

ружной оси подвеса гироскопа? Почему при неограниченном угле α не меняется направление оси чувствительности прибора?

8.2. В ГИЛУ момент силы инерции $-M_{W\xi}$ относительно внутренней оси подвеса гироскопа определяется выражением $-mW_{\xi}l\cos\beta$. Этот момент пропорционален $\cos\beta$. Но скорость прецессии гироскопа вокруг наружной оси, вызванная моментом, действующим вокруг внутренней оси, обратно пропорциональна $\cos\beta$. Следовательно, скорость прецессии гироскопа, обусловленная упомянутым моментом $M_{W\xi}$ сил инерции, не будет зависеть от угла β , т.е.

$$\dot{\alpha} = -M_{W\xi} (H \cdot \cos\beta)^{-1} = mlH^{-1}W_{\xi}.$$

Почему же в приборе необходимо использовать систему коррекции по перпендикулярности рамок, т.е. ограничить угол β весьма малой величиной?

8.3. Обязательно ли в ГИЛУ оси подвеса гироскопа делать не пересекающимися, а перекрещивающимися? Ведь прибор будет работоспособен и при пересекающихся осях подвеса. Правда, если центр масс подвижной части прибора будет смещен не только относительно внутренней, но и наружной оси подвеса, то будет возникать момент силы тяжести и сил инерции вокруг наружной оси, но эти моменты будут компенсироваться моментом системы межрамочной коррекции. Можно, кроме того, статически сбалансировать подвижную часть прибора относительно наружной оси подвеса добавлением к наружной рамке балансирующих грузов.

Почему же в реальных конструкциях ГИЛУ используют, как правило, схему с перекрещивающимися осями подвеса?

8.4. В чем общность между схемой одноосного силового гиростабилизатора и схемой системы коррекции в ГИЛУ?

8.5. В ГИЛУ датчик момента системы межрамочной коррекции нередко связывают с наружной рамкой гироскопа через замедляющий редуктор. В этом случае не удастся использовать встроенную конструкцию датчика момента. Приходится использовать датчик момента с самостоятельным корпусом и подшип-

никами для крепления в корпусе ротора. При такой конструкции можно использовать датчик момента с меньшим значением развиваемого момента, поскольку момент, приведенный к наружной оси рамки гироскопа, увеличивается в n раз, где n – передаточное отношение редуктора. Это позволяет выиграть в размерах датчика момента.

Однако при такой конструкции сильно возрастает момент сил трения на наружной оси подвеса, поскольку момент трения на оси ротора датчика момента после приведения его к оси наружной рамки возрастает в n раз. Поэтому такую конструкцию в других giroприборах считают неприемлемой. Почему же такую конструкцию допускают в ГИЛУ?

8.5. В уравнении моментов, действующих вокруг наружной рамки ГИЛУ, можно выделить следующую сумму моментов сил инерции:

$$I_{px2}(\dot{\omega}_{\xi} + \ddot{\alpha}) + I_{ГХ}(\dot{\omega}_{\xi} + \ddot{\alpha}) + I_{дв} [K_p^2 \alpha + (-1)^n K_p \omega_{\xi}].$$

Здесь первое слагаемое - момент сил инерции наружной рамки, второе - момент сил инерции гиromотора, третье - момент сил инерции ротора датчика момента (двигателя) системы коррекции, приведенный к оси подвеса наружной рамки. Отметим, что моменты силы инерции от относительного ускорения α всех трех упомянутых тел суммируются с одинаковыми знаками. А знак момента силы инерции от переносного ускорения ω_{ξ} датчика момента при $n=1$ (или другом нечетном значении n) будет противоположен знакам аналогичных моментов, испытываемых наружной рамкой и гиromотором. Это открывает возможность уменьшения суммарного момента силы инерции от переносного ускорения ω_{ξ} выбором нечетного значения n (n - число пар зубчатых передач редуктора, связывающего датчик момента с наружной рамкой).

Как объяснить физически этот эффект уменьшения суммарного момента сил инерции от переносного ускорения ω_{ξ} при нечетном n ? Нет ли здесь аналогии с эффектом подавления влияния инерционных моментов $I_y \omega_{\eta}$ от переносного ускорения ω_{η} в схеме двухроторного ГТ с кинематически связанными гироскопами?

- 8.6. По какой из двух осей подвеса гироскопа - внутренней или наружной - оказывает большее влияние момент сил трения в подвесе на погрешность прибора?
- 8.7. Почему составление передаточных функций ГИЛУ с учетом моментов - помех является операцией математически некорректной и может быть допущена лишь с оговорками ?
- 8.8. В каком из двух интегрирующих гироскопических приборов - ИГ или ГИЛУ - операция интегрирования осуществляется точнее, с меньшими динамическими погрешностями?
- 8.9. Верно ли утверждение, что ГИЛУ как измерительный прибор обладает лучшими динамическими качествами среди всех других измерительных гироскопов? Можете ли Вы обоснованно подтвердить его или опровергнуть?
- 8.10. Какие моменты - помехи , действующие на ГИЛУ, особенно существенны с точки зрения влияния на погрешность прибора?
- 8.11. Почему моменты - помехи действующие вокруг наружной оси подвеса ГИЛУ мало влияют на точность измерения по сравнению с помехами, действующими вокруг внутренней оси подвеса?
- 8.12. Некоторые моменты - помехи ГИЛУ являются тригонометрическими функциями угла α . Можно ли произвести линеаризацию этих функций?
- 8.13. В чем состоят достоинства и недостатки ГИЛУ с автоколебательным режимом работы?
- 8.14. Как объяснить физически, что осестремительные ускорения $-(\omega_{\eta}^2 + \omega_{\xi}^2) \cdot \rho_f$, обусловленные, например, колебательными движениями объекта вокруг нормальной и поперечной осей, порождают накапливающуюся абсолютную погрешность ГИЛУ?
- 8.15. Для улучшения сглаживания помех, которые являются тригонометрическими функциями угла α , целесообразно увеличивать или уменьшать статический коэффициент передачи ГИЛУ?
- 8.16. В ГИЛУ выходной осью является наружная ось подвеса гироскопа. Почему же порог чувствительности прибора определяется моментом сил сухого трения на внутренней оси подвеса?

8.17. Как объяснить физически, что порог чувствительности ГИЛУ снижается с увеличением смещения l центра масс гиromотора относительно наружной оси подвеса?

8.18. Относительное приращение статического коэффициента передачи ГИЛУ, обусловленное температурными изменениями размеров, определяется зависи-

мостью $\delta k = \frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta I_0}{I_0}$, где $\Delta k, \Delta l, \Delta I_0$ - абсолютные приращения

коэффициента передачи k , величины смещения l центра масс гиromотора относительно внутренней оси подвеса и осевого момента инерции I_0 ротора, обусловленные температурными изменениями.

Дайте физическое объяснение тому, что приращение $\frac{\Delta l}{l}$ и $\frac{\Delta I_0}{I_0}$ оказывает про-

тивоположное влияние на приращение Δk и δk . При каком соотношении температурных коэффициентов линейного расширения материала кожуха и ротора произойдет взаимная компенсация влияния на δk приращения $\Delta l/l$ и $\Delta I_0/I_0$ (Считать, что Δl определяется лишь температурной деформацией кожуха гиromотора, а температурные деформации ротора - свободные; влияние электрического ротора - не учитывать).

8.19. Верно ли утверждение, что принцип работы ГИЛУ - инерционный, поэтому прибор реагирует на абсолютное линейное ускорение его центра масс и, следовательно, при определении с помощью такого прибора относительной (по отношению к Земле) скорости объекта проекция переносного кориолисового ускорения на ось чувствительности прибора будет порождать погрешность прибора ?

8.20. Нужно ли вводить поправку на осестремительное ускорение от вращения Земли, если в приборе учитывается поправка от влияния момента силы тяжести, а сила тяжести - равнодействующая силы тяготения центробежной силы инерции от вращения Земли ?

8.21. При измерении с помощью ГИЛУ приращения линейной скорости объекта на показания ГИЛУ оказывают влияние все составляющие абсолютного линей-

ного ускорения объекта, в том числе ускорение Кориолиса $2\omega \times V$ (при движении со скоростью V относительно Земли, вращающейся, со скоростью ω). При измерении продольной или поперечной составляющей скорости объекта погрешность от ускорения Кориолиса будет больше ?

8.22. По каким осям объекта направлено кориолисово ускорение, если считать, что вектор линейной скорости объекта направлен вдоль его продольной оси, т.е. угол скольжения и угол атаки равны нулю ? Как изменится ответ на тот же вопрос, если углы скольжения и атаки отличны от нуля ?

8.23. Какой вид имеет схема ГИЛУ с поплавковым подвесом на оси внутренней рамки ?

8.24. При разработке ГИЛУ с поплавковым подвесом гироскопа по внутренней оси какие требования следует предъявлять к физическим свойствам поддерживающей жидкости ?

8.25. Какой вид имеет схема двухгироскопного ГИЛУ, в которой кинематическая связь между гиromоторами заменена (с целью устранения влияния сил сухого трения в кинематической связи) электромеханической связью ?

8.26. Есть ли аналогия между электромеханической связью, заменяющей кинематическую связь между гиromоторами в двухроторном ГИЛУ, и общей отрицательной обратной связью в схеме из двух ГТ или ИГ с противоположно направленными векторами кинетических моментов ?

8.27. В конструкции ГИЛУ, как правило, предусматривают арретирующее устройство. Чем обусловлена его необходимость?

8.28. Если ГИЛУ установлен на стабилизированной площадке, например, при использовании этого прибора как интегрирующего акселерометра в инерциальной системе навигации, оказывает ли прибор при своей работе динамические воздействия на площадку, на которой он установлен? Является ли прибор источником возмущений для площадки ?

8.29. Определить статический коэффициент передачи ГИЛУ, если известно, что на неподвижном относительно Земли основании прибор за время t совершил n оборотов относительно оси наружной рамки, ориентированной вертикально.

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	t (с)	1000	1200	1300	1400	1500	1600
3	n (об)	1	1.5	2	2.5	3	3.5

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
3	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5

8.30. Вычислить порог чувствительности ГИЛУ, если известно, что его масса m , маятниковость l и момент трения по оси внутренней рамки $|M_{тр}|$. Численные значения параметров приведены в таблице

1	Вариант	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2	m (кг)	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
3	l (м)	0.01	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016
4	$ M_{тр} $ (Н м)	0.0007	0.00085	0.00014	0.0006	0.0004	0.0003

1	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
2	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
3	0.02	0.019	0.018	0.017	0.015	0.011	0.01	0.012
4	0.0005	0.0007	0.0008	0.0009	0.0003	0.0002	0.0005	0.0007

9. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ГИРОПРИБОРОВ

9.1. Какие общие особенности имеют гироскопические приборы – измерители параметров движения объекта, которые отсутствуют у гироскопических приборов – построителей направлений опорных систем координат ?

9.2. В каком смысле следует понимать разделение гироскопических приборов на построители направлений опорной системы координат и на измерительные преобразователи (датчики) параметров движения объекта? Ведь приборы первой группы, в конечном счете, также используют для измерения углов. Например, гироскопы направления служат для измерения истинного курса, гиромагнитные компасы для измерения магнитного курса, гировертикали - для измерения углов дифферента (тангажа) и крена объекта. С другой стороны, интегрирующие гироскопы также измеряют приращение углов. В чем же основное различие приборов двух групп?

9.3. Если распространить на гироскопические приборы – построители направлений опорной системы координат понятие “коэффициент передачи механической части прибора”, обычно используемое применительно к приборам – измерительным преобразователям, то каково значение этого коэффициента у гироскопов – построителей базовых направлений? Зависит ли значение этого коэффициента от особенностей конструкции или от параметров прибора?

9.4. Почему в гироскопах – построителях базовых направлений не требуется высокая стабильность скорости вращения ротора гироскопа, и в них используют асинхронные гиromоторы, а в гироскопах – измерительных преобразователей параметров движения нужна высокая стабильность кинетического момента гироскопа, в связи с чем в них применяют синхронные гиromоторы и стабилизированные по частоте источники их питания?

9.5. Почему в гироскопах - построителях базовых направлений используют исключительно трехстепенные гироскопы, а в гироскопах – измерительных преобразователях и двухстепенные и трехстепенные?

9.6. Какие качества гироскопов используются в гироскопах - построителях базовых направлений? Какие - в гироскопах, интегрирующих, форсирующих гироскопах? Какие свойства гироскопа используются в ГИЛУ?

9.7. Какие из известных Вам гироскопических приборов обладают маятниковостью, какие не обладают?

9.8. Естественно, что гироскопы, обладающие маятниковостью, в большей степени подвержены влиянию ускорений объекта. Но можно ли сказать, что гироскопы без маятниковых эффектов свободны от влияния ускорений? Каковы каналы влияния ускорений на гироскопы?

9.9. Гироскопы – измерительные преобразователи реагируют на параметры абсолютного движения. А требуется, как правило, измерять с их помощью параметры относительного (обычно относительно Земли) движения объекта. Как обходят на практике это противоречие?

Почему параметры переносного движения Земли мало влияют на результат измерения?

9.10. При аналитическом исследовании динамики гироскопов, основанных на применении трехстепенных гироскопов, в прикладной гироскопии в большинстве случаев используют математические модели, отображающие лишь прецессионное движение, характеризующее вынужденное движение гироскопа. Нутационная составляющая, характеризующая собственное движение, при этом не учитывается.

В каких случаях, при решении каких задач необходимо использовать математические модели, учитывающие как прецессионное, так и нутационное движение гироскопа?

9.11. Верно ли утверждение, что схема гироскопа направления с грузиковой азимутальной коррекцией и с межрамочной горизонтальной коррекцией аналогична схеме ГИЛУ? Можно ли такой гироскоп направления использовать в качестве ГИЛУ?

9.12. В каких приборах центр масс гироскопа смещают относительно внутренней оси подвеса вдоль главной оси гироскопа? В каких приборах центр масс гироскопа смещают в экваториальной плоскости гироскопа? В каких приборах используют астатический трехстепенной гироскоп, но с управлением от маятника на кожухе гироскопа?

9.13. Почему скоростная погрешность гироскопа проявляется только в случае движения объекта относительно Земли, а скоростная погрешность гироскопа

кали имеет место и при неподвижном относительно Земли объекте? Одинакова ли физическая природа скоростной погрешности у этих приборов?

9.14. В чем общность условий невозмущаемости линейными ускорениями гироскопа и гировертикали с интегральной коррекцией? В чем различие физической сущности невозмущаемости указанных приборов?

10. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ

Наиболее просто проводить моделирование приборов на компьютере. Для этого необходима математическая модель его в любой форме: уравнения движения, их решения, структурные схемы или др. Модель объекта должна соответствовать исследуемым явлениям или процессам. Уравнения объекта могут быть составлены для ошибок (уравнения ошибок). Они могут описывать поведение идеальных переменных или реальных их значений. При моделировании удобно пользоваться пакетом программ Matlab. В качестве примера рассмотрим работу классического двухстепенного гиротаксметра.

Моделирование поведения гиротаксметра на качке

Для моделирования гиротаксметра (датчика угловой скорости) необходимо сформировать модель движения объекта, на котором установлен гиротаксметр, а также подготовить модель гиротаксметра, удобную для использования. Моделирование проведем в пакете Матлаб.

Движение объекта зададим в виде качки с угловыми скоростями

$$\omega_{\xi} = \omega_{\xi m} \cos \omega_1 t;$$

$$\omega_{\eta} = \omega_{\eta m} \cos(\omega_2 t + \lambda_2);$$

$$\omega_{\zeta} = \omega_{\zeta m} \cos(\omega_3 t + \lambda_3);$$

Уравнение движения гиротаксметра используем в виде

$$J_y \ddot{\beta} + f \dot{\beta} + c\beta = H\omega_\xi \cos\beta - H\omega_\zeta \sin\beta - J_y \dot{\omega}_\eta + (J_z - J_x)(\omega_\xi \cos\beta - \omega_\zeta \sin\beta)(\omega_\xi \sin\beta + \omega_\zeta \cos\beta) - M_T \text{sign}\beta - m(\rho_z w_{x1} - \rho_x w_{z1}). \quad (1)$$

Моделирование возможно выполнить в m-файлах. Для этого необходимо преобразовать уравнение (1) в систему уравнений первого порядка. Для упрощения пренебрежем центробежным моментом инерции, моментом трения, моментом дебаланса. Оставим в левой части член с высшей производной и введем абсолютный коэффициент затухания $h = \frac{f}{2I_y}$ и частоту собственных колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{I_y}}, \text{ запишем} \quad J_y \ddot{\beta} = -2h\dot{\beta} - \omega_0^2\beta + H\omega_\xi \cos\beta - H\omega_\zeta \sin\beta - J_y \dot{\omega}_\eta.$$

Введем переменные $x1 \equiv \beta$, $x2 \equiv \dot{\beta}$, а также их производные $y1 = \dot{\beta}$, $y2 \equiv \ddot{\beta}$. Тогда система уравнений будет

$$y2 = -2h(x2) - \omega_0^2(x1) + \frac{H}{I_y} \omega_\xi \cos(x1) - \frac{H}{I_y} \omega_\zeta \sin(x1) - \dot{\omega}_\eta, \quad (2)$$

$$y1 = x2.$$

Программа моделирования в m-файле представлена в приложении. В ней для простоты численное интегрирование производится методом первого порядка. Среднее значение угла отклонения подвижной части β проводится на трех периодах изменения угла. Первый период при этом исключается, поскольку в начале его наблюдается переходный процесс к установившемуся режиму. Текст программы приведен в приложении.

Моделирование может быть выполнено также в пакете Simulink. В этой программе легко изменить метод интегрирования. Схему можно строить по уравнению (2), а можно использовать передаточную функцию гироскопа в виде

$$W(p) = \frac{\beta(p)}{\omega_\xi(p)} = \frac{H/I_y}{p^2 + 2hp + \omega_0^2}.$$

Схема моделирования может иметь вид, приведенный на рис.1. Все численные значения задают через m-файл, через него же производят вывод результатов.

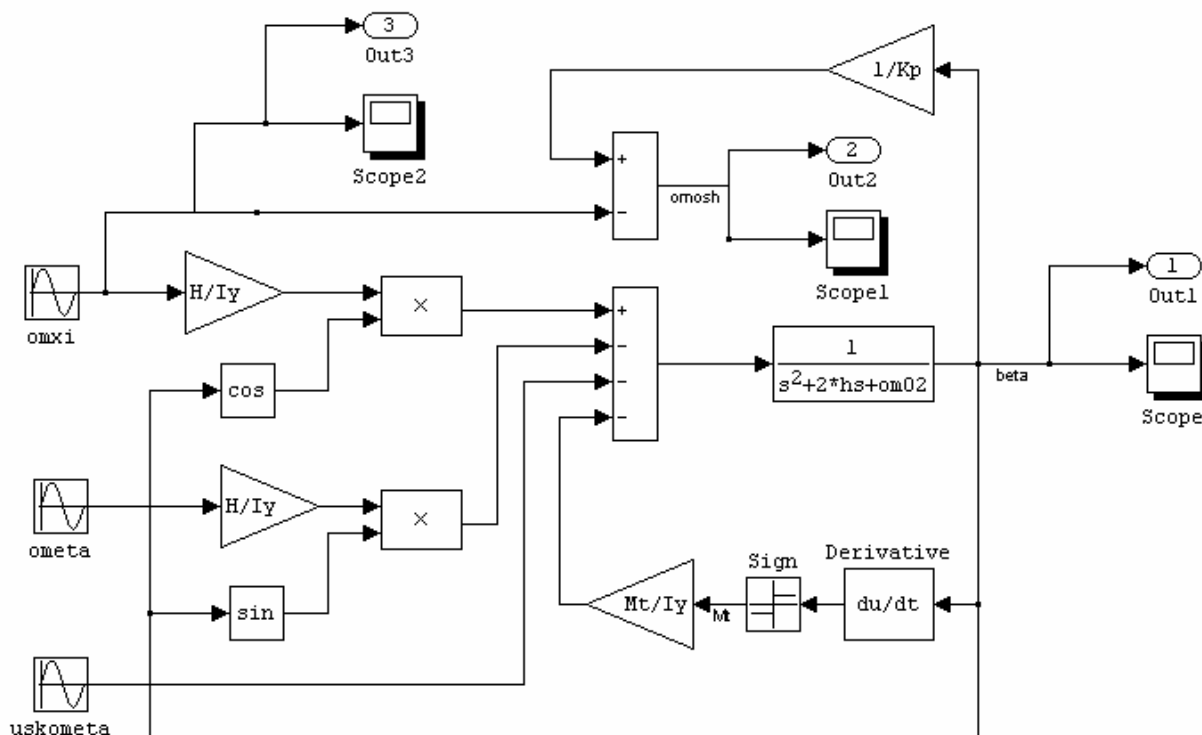


Рис.1. Схема моделирования двухстепенного гиротаксметра «GTs65»

Этот файл представлен ниже (без оформления графиков).

```
%Моделирование гиротаксметра в Симулинке
clc
clear all
gr=pi/180; %переводной коэффициент градус в рад.
Iy=2e-4; %момент инерции
f=5e-3; %коэффициент демпфирования
h=f/(2*Iy); %абсолютный коэффициент затухания
om02=2.5e3; %квадрат частоты собственных колебаний
om0=sqrt(om02); %частота собственных колебаний
c=Iy*om02; %угловая жесткость пружины
hz=h/sqrt(om02); %относительный коэффициент затухания
H=0.1; %кинетический момент, нмс
Mt=0; %момент трения, нм
omxm=0.1; omym=0.1; omzm=0.1; %амплитуды угловых скоростей качки
F1=0;%pi/2;
F2=pi/2; %сдвиги фаз
```

```

C1=5; % угловая частота качки, 1/сек
Kp=H/c; %коэффициент передачи
Tk=2*pi/C1; %период качки
dt=0.001; %шаг вычислений
Mt=1e-4; %момент трения, нм
sim('GTs65')
omx=yout(:,3); %массивы для вывода
omsh_0=yout(:,2);
beta=yout(:,1);
Per=round(3*Tk/dt); %Число измерений на 3-х периодах
dsr=beta(1000:1:(Per+1000)); %среднее значение угла, радиан
sro=mean(dsr)/Kp; %среднее значение угловой скорости, 1/с
sroghS=(sro/gr)*3600 %среднее значение угловой скорости, градус/час

```

Пример результата моделирования представлен на рис.2.

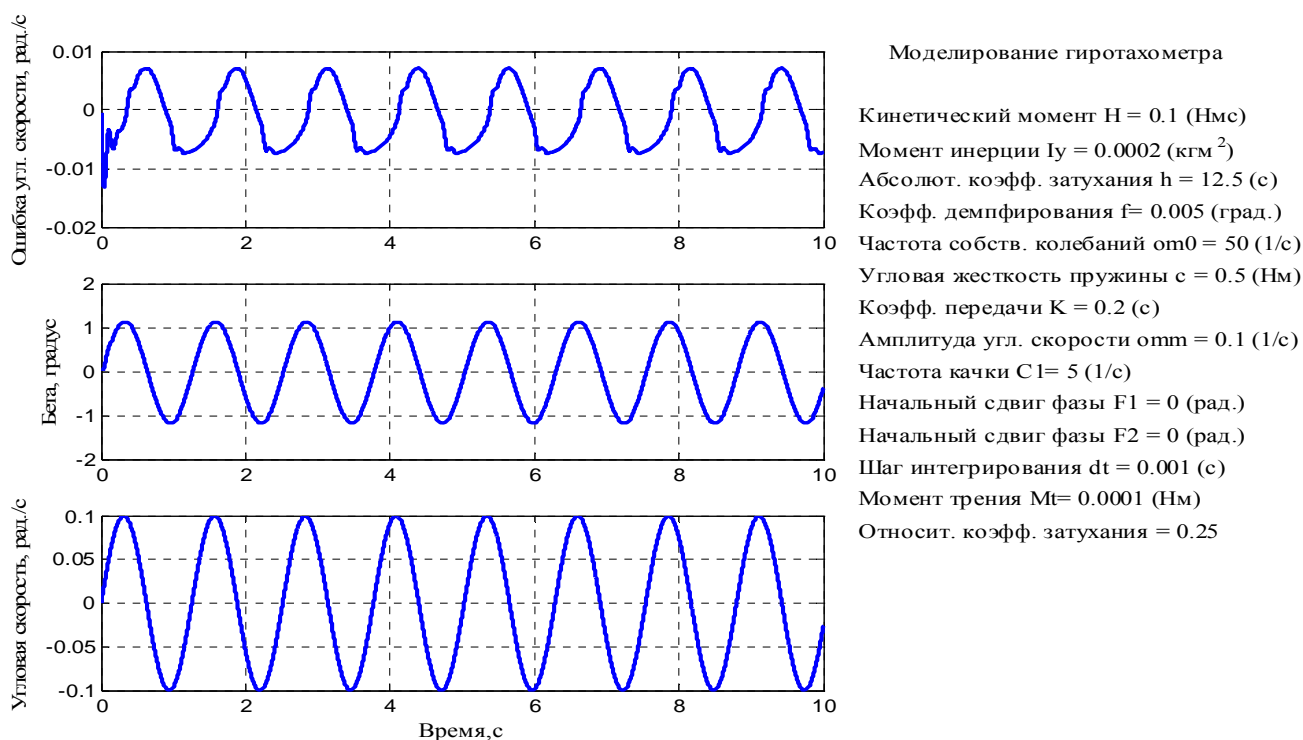


Рис.2. Результаты моделирования гиротахометра

Имея Sim-модель, легко перейти к определению реакций гиротахометра на стандартные воздействия: определить переходную функцию, импульсную переходную (весовую) функцию, амплитудную и фазовую частотные характеристики.

Для этого надо сначала преобразовать структурную схему моделирова-

ния, заменив гармонический полезный сигнал на порт входа In1, через который будут поступать в программе типовые воздействия.

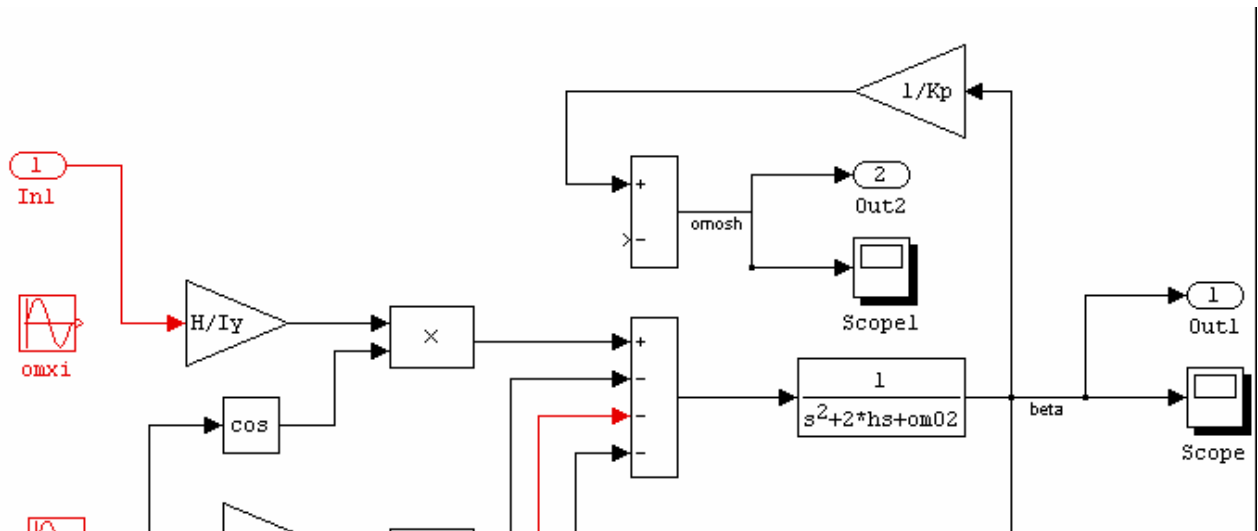


Рис.3. Изменения структурной схемы

Далее необходимо перевести модель в форму, необходимую для использования в пространстве состояний:

```
[A,B,C,D]=linmod('GTs65')
```

```
sys=ss(A,B,C,D)
```

Для получения реакций на стандартные воздействия задать команды

```
step(sys); impulse(sys); bode(sys).
```

Пример переходных функций для β и угловой скорости ω приведен на рис.4.

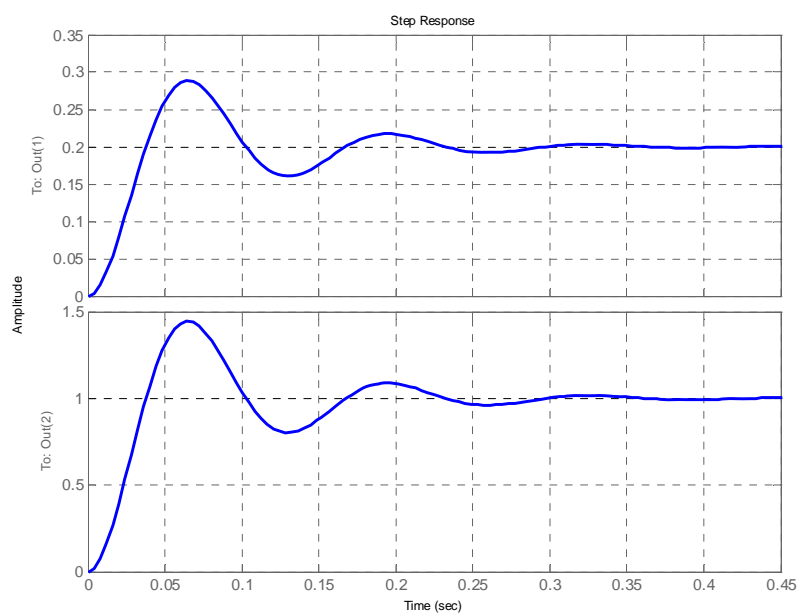


Рис.4. Переходные функции

Задания на моделирование:

1. Как влияют фазовые соотношения трехфазной качки на ошибку гиротахометра?
2. Как влияет частота качки на ошибку гиротахометра?
3. Как влияет различие частот качки по разным осям на ошибку гиротахометра?
4. Как влияет соотношение частоты качки и частоты собственных колебаний на ошибку гиротахометра?
5. Как влияет амплитуда качки на ошибку гиротахометра?
6. Оцените ошибку гиротахометра путем моделирования в пакете Simulink.
7. Постройте амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики с помощью команд Matlab и по расчетным формулам
8. Постройте переходную функцию гиротахометра с помощью команд Matlab и по расчетным формулам
9. Постройте весовую функцию гиротахометра с помощью команд Matlab и по расчетным формулам
10. Покажите амплитудную и фазовую ошибки путем сравнения входного и выходного сигнала.
11. Как влияют шаг и метод интегрирования на оценку ошибки гиротахометра?
12. Покажите ошибку интегрирующего гироскопа на качке?

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинцов А.А., Теория и расчет гироскопических приборов. Киев.: Вища школа, 1985. - 392с.
2. Одинцов А.А. и др. Теория гироскопов и гироскопических приборов. Практикум. Киев.; Вища школа, 1976. - 264с.
3. Одинцов А.А. Динамически настраиваемые гироскопы. - К.: КПИ, 1997. – 88с.
4. Лазарев Ю.Ф., Бондар П.М. Основи теорії чутливих елементів систем орієнтації. – К.: НТУУ "КПИ", 2011. – 644 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Программа моделирования гиротахометра (без вывода графиков)

```
%гиротахометр на качке
%моделирование методом первого порядка
clc
clear all
CD=pi/180; %переводной коэффициент
omzem=7.2921E-5; %угловая скорость вращения Земли
fi=45*CD; %широта
Iy=2e-4; %момент инерции, кг*м2
f=5e-3; %коэффициент демпфирования, нмс
h=f/(2*Iy); %абсолютный коэффициент затухания, 1/с
om02=2.5e3; %квадрат частоты собственных колебаний, 1/с2
om0=sqrt(om02); %частота собственных колебаний, 1/с
T=1/om0; %постоянная времени
%c=Iy*om02
dzet=h/sqrt(om02); %относительный коэффициент затухания, безразмерный
H=0.1; %кинетический момент, нмс
c=om02*Iy; %угловая жесткость пружины
Kp=H/c; %коэффициент передачи
Mt=1e-4; %момент трения, нм

%качка
omxm=0.1; omym=0.1; omzm=0.1; %амплитуды угловых скоростей, 1/с
F1=pi/2;
F2=0; %pi/2; %сдвиги фаз, радиан
C1=5; % угловая скорость качки, 1/сек,
Tk=2*pi/C1; %период качки

x1=0; x2=0; %начальные значения переменных
```

```

t=0; ki=0;
tk=10; %время моделирования, с
dt=0.001; %шаг вычислений,с

while t<=tk
omx=omxm*sin(C1*t);
omy=omym*sin(C1.*t+F1);
omz=omzm*sin(C1.*t+F2);
omyt=omym*C1*cos(C1.*t+F1);

z2=-2*h*x2-om02*x1+(H/Iy)*omx*cos(x1)-(H/Iy)*omz*sin(x1)-omyt;%-(Mt/Iy)*sign(x2);

%интегрирование методом первого порядка
x2=x2+dt*z2;
x1=x1+dt*x2; %bet
%Mg=(H/Iy)*omx*cos(x1);
omxp=x1*Iy*om02/H; %приборная угловая скорость
ki=ki+1; %счетчик
tm(ki)=t; %формирование массивов
omxi(ki)=omx;
omx1(ki)=omxp;
domx(ki)=omxp-omx; %ошибка определения скорости
beta(ki)=x1;
t=t+dt;
end

%определение среднего
Per=round(3*Tk/dt); %Число измерений на 3-х периодах
dsr=beta(1000:1:(Per+1000)); %массив значений угла, радиан
sro=mean(dsr)/Kp; %среднее значение угловой скорости, 1/с
srogh=(sro/CD)*3600 %среднее значение угловой скорости, градус/час
%-----
%расчет по формуле
betm=-0.5*Kp*omzm*(Kp*omxm*cos(F2)+T*omym*sin(F1-F2)); %beta, рад
ux=betm/Kp;
uxgh=(ux/CD)*3600

```

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Наименование	Обозначение	Единица измерения в системе СГС	Переводной множительный коэффициент из системы СИ в СГС	Единица измерения в СИ	Внесистемные единицы
1	2	3	4	5	6
Длина	l, r	см	10^{-2}	м	
Угол	α, β, γ	рад	1	рад	градус ($^{\circ}$), $1^{\circ} \approx 1,75 \cdot 10^{-2}$ рад
Масса	m	г	10^{-3}	кг	
Момент инерции	I	$\text{г} \cdot \text{см}^2$	10^{-7}	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\text{Г} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2 \approx$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Сила	F, R	$\text{г} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^{-2}$	10^{-5}	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$, Н	$\text{Г} \approx 9,81 \cdot 10^{-3}$ Н
Момент силы	M	$\text{г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-2}$	10^{-7}	Н · м	$\text{Г} \cdot \text{см} \approx$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-5}$ Н · м
Частота	f, λ , ν	Гц	1	Гц	
Круговая частота	ω	с^{-1}	1	с^{-1}	об/мин, об/с, 1об/мин, $0,1047 \text{ с}^{-1}$
Линейная скорость	V	$\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$	10^{-2}	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	1 км/час \approx $\approx 0,2778 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ 1 узел = 1,852 км/час \approx $\approx 0,5144 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Количество движения	$m \cdot V$	$\text{г} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^{-1}$	10^{-5}	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, Н · с	
Момент количества движения (Кинетический момент)	$I\omega$ H	$\text{г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	10^{-7}	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ Н · м · с	$\text{Г} \cdot \text{см} \cdot \text{с} \approx$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-5}$ Н · м · с

Напряженность магнитного поля	Г, Н	Э (Эрстед)	$(4\pi)^{-1} \cdot 10^{-3}$	$A \cdot m^{-1}$	$\gamma = (4\pi \cdot 10^2)^{-1} A \cdot m^{-1}$ (гамма)
Индукция магнитного поля	В	Гс (Гаусс)	10^{-4}	Тл (Тесла)	
Коэффициент демпфирования	f	$\Gamma \cdot cm^2 \cdot c^{-1}$	10^{-7}	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-1}$ $N \cdot m \cdot c$	$\Gamma \cdot cm \cdot c \approx$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-5} N \cdot m \cdot c$
Линейная жесткость пружины	c_n	$\Gamma \cdot c^{-2}$	10^{-3}	$kg \cdot c^{-2}$, $N \cdot m^{-1}$	$\Gamma \cdot cm^{-1} \approx$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-1} N \cdot m^{-1}$
Угловая жесткость пружины	c	$\Gamma \cdot cm^2 \cdot c^{-2}$	10^{-7}	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-2}$, $N \cdot m$	$\Gamma \cdot cm \approx$ $\approx 9,81 \cdot 10^{-5} N \cdot m$