# *РАСЧЕТ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ ВОКРУГ ОСЕЙ ГС.*

***8.1. Исходные данные:***

Параметры движения наземного самоходного объекта:

*Угловые скорости:*

ωmax = 10°/сек

*Ускорение силы тяжести:*

g = 9.807 м/c2

Механическое воздействие на прибор:

*Линейные перегрузки:*

nx = 1 ед.

ny = 0.1 ед.

nz = 0.1 ед.

Найдем вес элементов гиростабилизатора:

-вес внутренней рамы с установленными на ней элементами

Материал платформы – алюминий, ρ = 2700 кг/м3



-вес наружной рамы с установленными на ней элементами

Материал рамы – алюминий, ρ = 2700 кг/м3



## ***8.2. Моменты трения.***

Моменты трения, действующие вокруг осей карданова подвеса гиростабилизатора, определяются трением в токоподводах и датчиках угла контактного типа (если такие применяются), трением в опорах карданова подвеса и моментами трения в двигателях разгрузки, приведенными к оси карданова подвеса. Моменты трения контактных датчиков и токоподводов, применяемых достаточно редко, представляют даже при большом количестве токоподводов сравнительно малые величины. Моменты трения, возникающие в двигателях разгрузки, имеют величины, сравнимые с моментам трения в опорах, для приводов разгрузки с пневматическими моментными датчиками, в которых применяются специальные уплотнения для повышения эффективности работы датчиков, и для приводов разгрузки с коллекторными двигателями постоянного тока, где контактные давления щеток являются достаточно большими. Последние моменты указываются в технических условиях на двигатели непосредственно или в виде напряжения трогания двигателя, приводимого к моменту с учетом крутизны моментной характеристики двигателя. Моменты трения в контактных датчиках и токоподводах и моменты трения в двигателях разгрузки практически мало зависят от параметров и условий движения ГС.

Для большинства конструкций гиростабилизаторов, как показывает практика разработок, эти моменты, приведенные к осям карданова подвеса, даже при относительно больших передаточных отношениях редукторов разгрузки имеют меньшие значения по сравнению с моментами трения в опорах карданова подвеса гиростабилизатора.

Как правило, в качестве опор осей карданова подвеса гиростабилизаторов применяют однорядные шариковые подшипники (шарикоподшипники). Момент трения шарикоподшипников складывается из нескольких основных составляющих:

* момент трения качения шариков с наружным и внутренним кольцами;
* момент трения скольжения шариков относительно наружного и внутреннего колец;
* момент трения скольжения шариков относительно сепаратора;
* момент, вызываемый сопротивлением движению смазки.

Величины указанных составляющих момента трения определяются конструктивными параметрами подшипников, воспринимаемой ими нагрузкой (как осевой, так и радиальной) и скоростями вращения его колец. Поэтому при выбранном типе подшипника момент трения не остается постоянным, а зависит от нагрузки и угловой скорости относительного движения его колец. Однако зависимость момента трения подшипника от угловой скорости его вращения незначительна, особенно при имеющих место в гиростабилизаторах малых скоростях относительного движения, и часто на практике принимают, что этот момент имеет характер «сухого» или кулонова трения.

При движении САУ на подшипники рам карданова подвеса гиростабилизатора действуют как осевая, так и радиальная нагрузки. Момент трения радиальных шарикоподшипников с внутренним диаметром от 5 до 12 мм, широко применяемых в приборостроении при совместном действии радиальных и осевых нагрузок, определяется по следующим эмпирическим соотношениям:

*Mтр = M0 + K1*. *R + K3*.*A, R ≤ 5H*

*Mтр = M0 + 5*.*(K1 - K2) + K2*.*R + K3*.*A, R > 5H*

Значения коэффициентов M0, K1, K2 и K3 приведены в таблице:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диаметр оси, мм | М0, г·см | | K1, см | | K2, см | | K3, см |
| однорядные | двухрядные | однорядные | двухрядные | однорядные | двухрядные |
| 5 | - | 8.9 | 0.0156 | 0.0163 | 0.0016 | 0.0075 | 0.005 |
| 6 | - | 7.8 | 0.0099 | 0.0110 | 0.0013 | 0.0022 | 0.005 |
| 7 | 5.6 | 7 | 0.0094 | 0.0104 | 0.0018 | 0.0026 | 0.006 |
| 8 | - | 7 | 0.0091 | 0.0095 | 0.0023 | 0.0035 | 0.006 |
| 10 | 7.2 | 9.2 | 0.0069 | 0.0088 | 0.0035 | 0.0052 | 0.008 |
| 12 | 10.8 | 14.1 | 0.0124 | 0.0160 | 0.0050 | 0.0092 | 0.010 |

Величины осевых и радиальных нагрузок на подшипники определяются весом рам карданова подвеса с учетом установленных на них элементов, проекциями линейного ускорения движущегося объекта на оси связанной системы координат и углами поворота рам карданова подвеса на рассматриваемом участке движения относительно связанных осей САУ.

В рассматриваемом нами гиростабилизаторе при углах поворота платформы и наружной рамки подвеса на углы α и β  соответственно, осевая Аα и радиальная Rα нагрузки подшипниковой опоры платформы и осевая Аβ и радиальная Rβ нагрузки подшипниковой опоры наружной рамы. mв – масса платформы с установленными на ней элементами, а mн – масса наружной рамы вместе с дополнительными элементами. Wx1, Wy1, Wz1 – проекции линейного ускорения САУ на оси связанной системы координат. Для проектного расчета принимаем: mпл = 0.904 кг, mн= 0.474 кг, проекции линейных ускорений на оси связанной системы координат по условию задания равны 1g, 0.1g и 0.1g соответственно.

В качестве опор выберем радиальные однорядные шарикоподшипники с внутренним диаметром 10 мм.

Для таких подшипников

*М0=7.2 г.см,*

*K1 = 0.0069 см,*

*K2 = 0,0035 см,*

*K3 = 0,008 см.*

Углы прокачки составляют *±5°, ±10°*.

Осевая нагрузка по осям α и β соответственно:









Радиальная нагрузка по осям α и β соответственно:





Моменты трения шарикоподшипников по осям α и β соответственно равны:



***8.3. Расчет моментов упругих токоподводов.***

Конструкцией токоподводов должна быть обеспечена высокая надежность передачи сигналов через них в условиях жестких эксплуатационных воздействий (линейные ускорения и вибрации) и при больших углах поворота карданова подвеса. При выборе типа токоподводов для гиростабилизаторов величины моментов, создаваемых токоподводами, не играют, в. отличие от других гироскопических приборов, определяющей роли, так как используются системы разгрузки. Применяются два типа токоподводов: многоконтактные коллекторные и различные виды гибких проводников. Коллекторные токоподводы применяют тогда, когда необходимо получать в стабилизаторе малые величины моментов трения, практически не зависящие от углов поворота рам карданова подвеса и эксплуатационных условий. Токоподводы с гибкими проводниками обеспечивают высокую надежность работы. Габариты токоподводящего узла при большом количестве токоподводящих проводников малы. Момент, создаваемый такими токоподводами, пропорционален углам поворота рам карданова подвеса и при правильном выборе типа проводников и конструкции токоподвода является относительно небольшим. Применяются три конструктивных типа гибких токоподводов:

1) жгуты проводников, расположенных вдоль оси вращения (для каждой из осей карданова подвеса свой жгут). Для получения малых упругих моментов проводники имеют запас по длине, обеспечивающий их свободное скручивание;

2) свободный жгут проводников, который может изгибаться во всех направлениях при поворотах платформы карданова подвеса и имеет соответствующий запас по длине;

3) барабан со спирально уложенными рядами проводников, которые при поворотах скручиваются или раскручиваются. Для уменьшения габаритов и упрощения конструкции применяют специальные многожильные ленточные провода. Так же как и в первой конструкции, обеспечивается поворот только вокруг одной оси.

При изгибе и скручивании проводников возникают как упругие моменты, так и моменты трения из-за взаимного перемещения проводников в жгуте.

При соответствующем выборе материалов изоляции проводов моменты трения удается уменьшить до величины, пренебрежимо малой по сравнению с моментами трения в опорах карданова подвеса. Для уменьшения упругих моментов применяют провода малого сечения.

Так как величина моментов сопротивления всех приведенных типов гибких токоподводов существенно зависит от конструкции токоподводов и технологии их изготовления, то моменты сопротивления обычно определяют по данным испытаний макетов узлов токоподводов или по экспериментальным данным для приборов-аналогов. Удельный момент упругих токоподводов по опытным данным.



где *kтп = 5...8*  - эмпирический коэффициент для токоподводов первого типа (провод МГТФ-0,07); *Nz* - количество токоподводов; *Lz* - длина токоподвода между местами заделки проводников по соответствующей оси.

Примем:

*Nтпα = 25 шт* – количество токоподводов по оси α;

*Nтпβ = 25 шт* – количество токоподводов по оси β.

*Lα = 5 см* – длина токоподводов;

*Lβ = 5 см* – длина токоподводов.

Значения моментов тяжения будут достигать максимума при максимальных углах отклонения платформы:



***8.4. Моменты от люфтов рам карданова подвеса и от остаточной несбалансированности.***

Осевые и радиальные люфты в опорах карданова подвеса гиро­стабилизатора вызывают относительные смещения рам карданова подвеса, что приводит к появлению моментов вокруг осей подвеса.

Для повышения вибропрочности и устранения моментов такого рода в большинстве конструкций гиростабилизаторов вводятся опоры с предва­рительным натягом подшипников. В таких гиростабилизаторах моменты от люфтов возникают только в случае «размыкания» подшипников (при пре­вышении силами инерции усилий предварительных натягов в подшипни­ках).

Балансируют вращающиеся части гиростабилизатора (платформы, ра­мы карданова подвеса) при сборке приборов либо на собственных под­шипниках при уменьшении моментов сопротивления и трения вокруг осей карданова подвеса (посредством снятия предварительного натяга под­шипников, введения технологической вибрации во время балансировки и др.), либо на специальных приспособлениях. При линейных перегрузках неточность балансировки наряду с моментом трения в опорах создает значительную часть возмущающих моментов, уравновешиваемых системой разгрузки и гироскопическим моментом. При расчетах возмущающих мо­ментов определяют максимальную величину моментов от остаточной не­сбалансированности.

Ели предположить, что моменты несбалансиро­ванности по всем осям равны 10-3 Нм, то величины максимальных моментов от остаточной несбалансированности относительно осей карданова подвеса будут равны:





-моменты несбалансированности

n

zmax

0.1

g







n

ymax

0.1

g







n

xmax

1

g









M



нб

9.8

10

3











M



нб

9.8

10

3









***8.5. Возмущающие моменты, создаваемые приводами разгрузки при движении основания.***

Развороты или угловые колебания НСО с гиростабилизатором, имеющим привод разгрузки с редуктором, создают обкатку ротора двигателя раз­грузки относительно стабилизированной рамы гиростабилизатора и тем самым инерционный момент. Инерционный момент обкатки пропорционален угловому ускорению движения основания и приведенному моменту инерции двигателя с редуктором. Для безредукторных двигателей разгрузки, или моментных датчиков разгрузки, приведенный момент инерции, благодаря которому создается возмущающий инерционный момент обкатки, отсутствует*,* что яв­ляется одним из существенных преимуществ такого привода разгрузки. Моменты вязкого трения, создаваемые приводами разгрузки вследствие переносного движения основания являются возмущающими моментами для ГС.

Для грубого расчета возмущающих моментов воспользуемся характеристиками двигателя ДМ5:







Тогда коэффициент демпфирования в опоре двигателя:



### *6. Расчет моментов от неравножесткости карданова подвеса.*

Карданов подвес стабилизатора состоит из упругих элементов (рам, цапф, подшипников), при деформации которых появляются силы внут­реннего трения. Под влиянием сил инерции, возникающих при дви­жении основания (НСО) с ускорением, происходят упругие деформации элементов карданова подвеса и от­носительные перемещения его рам. Направления перемещений из-за различия жесткости элементов в разных направлениях обычно не совпадают с линией действия сил инерции, вследствие чего возни­кают моменты вокруг осей карда­нова подвеса гиростабилизатора. При вибрации основания, на кото­ром установлен гиростабилизатор, на величину отклонения элементов его конструкции, т. е. на ампли­туду вынужденных колебаний, влияют силы внутреннего трения в элементах карданова подвеса, демпфирующие их колебания. Если при разработке гиростабилизаторов применяются специальные меры по обеспечению требуемой жесткости рам карданова подвеса, то величина упругости карданова подвеса опре­деляется в значительной мере упру­гостью подшипников подвеса. Поэтому при расчете гиростабилизаторов принимают упрощенную кинематическую схему карданова подвеса, в которой предполагают, что элемента­ми, определяющими упругие деформации карданова подвеса, являют­ся цапфы и подшипники, т. е. вместо схем с распределенными упругостями рассматривается схема с упругостью, сосредоточенной в опорах карданова подвеса.

**Моменты, обусловленные неравножесткостью карданового подвеса**





-жесткости подвеса относительно осей платформы







-жесткости подвеса относительно осей рамы













M



нрж

1.735



10

3









M



нрж

0.748



10

3







*8.7. Расчет инерционных моментов рам КП.*

Двухосный гиростабилизатор стабилизирует в про­странстве ось*,* связанную с платформой стаби­лизатора. Момент инерции от рам карданова подвеса возникает при угловом движении основания , когда β0 не равен 0. Этот момент действует вокруг оси подвеса наружной рамы. При угловых движениях основания в двухосном гиростабилизаторе вследствие особенностей кинематики карданова подвеса наружная рама и платформа поворачиваются вокруг стабилизированной оси с переменной угловой скоростью даже при постоянной угловой скорости поворота основания. Если в силовых гиростабилизаторах моменты внешних сил, изменяющиеся с высокой частотой, уравновешиваются как системой разгрузки, так и гироскопическим и инерционным моментами, то в индикаторных стабилизаторах компенсация знакопеременных моментов внешних сил, так же как и постоянных, полностью должна быть обеспечена системой стабилизации. Знание инерционного момента при проектировании гиростабилизаторов становится весьма существенным.

В двухосном гиростабилизаторе Мин расчитывается по следующей формуле:

*Минβ = (Iyн + Izпл + Iпр)tg(β0)ώz0,*

где *Iyн* – момент инерции наружной рамы вокруг оси ее вращения ,

*Izпл* – момент инерции платформы вокруг стабилизируемой оси ,

*Iпр* – приведенный момент инерции привода разгрузки, в нашем случае *Iпр = 0*.

При подсчете воспользуемся расчетами, сделанными в MathCAD 2001.

**Моменты инерции ДУ относительно своих главных осей инерции**

























**Моменты инерции ДУ относительно своих главных осей инерции**

























**Моменты инерции ДМ относительно своих главных осей инерции**

























**Моменты инерции ДМ относительно своих главных осей инерции**

























**Моменты инерции внешней рамы**

Для расчета моментов инерции внешней рамы воспользуемся расчетом технических характеристик из пакета пограмм "Компас 5.11"







**Моменты инерции ГВК-6**































угловое ускорение основания









M

y

нин

1

8.3

10

3







****

***8.8. Определение суммарного возмущающего момента***

Возмущающие моменты, рассмотренные в предыдущих параграфах, либо весьма медленно изменяются во времени, как, например, момен­ты, возникающие при линейных ускорениях центра масс НСО (от люф­та, несбалансированности и др.), либо изменяются с частотами колеба­ний НСО вокруг центра масс. Так как частоты изменения этих возму­щающих моментов лежат значительно ниже частот среза привода разгрузки стабилизаторов, то при расчете стабилизаторов все эти мо­менты учитываются как постоянно действующие.

В общем случае, для множества гиростабилизаторов каждый из рассмотренных возмущающих моментов является случайной величи­ной, определяемой как условиями движения данного НСО, так и парамет­рами гиростабилизатора, полученными при его изготовлении. Так, например, момент тяжения токоподводов по величине и направлению зависит от величины и направления поворота НСО относительно плат­формы гиростабилизатора. Направление и величина момента несба­лансированности зависит от направления и величины остаточного смещения ЦТ платформы гиростабилизатора, полученного при изго­товлении, и направления и величины линейного ускорения НСО. Ве­личина составляющей возмущающего момента трения, не зависящая от ускорения, определяется в основном параметрами подшипников, примененными в гиростабилизаторе, а ее направление — направлением угловой скорости вращения НСО. В то же время величина составляющей момента трения, зависящая от ускорения, определяется не только характеристиками примененных подшипников, но и величиной ускорения НСО. Отсюда следует, что как величины, так и знаки отдельных составляющих возмущающего момента являются случайными, и эти составляющие могут суммироваться как случайные не зависимые величины. Однако обычно определяют максимальный возмущающий момент арифметическим суммированием составляющих моментов, так как известно, что даже при кратковременном превышении возмущающим моментом максимального момента разгрузки гиростабилизатор теряет способность стабилизации из-за ограничений по углам прецессии его чувствительных элементов. Так как условия движения НСО различны и, следовательно, различны и величины отдельных составляющих момента, то суммарный возмущающий момент определяют для наиболее характерных участков, а при определении необходимого максимального момента разгрузки исходят из наибольших величин, полученных для рассчитанных параметров движения. При таком методе суммирования составляющих возмущающего момента и определения максимального момента разгрузки создается некоторый запас по моменту привода разгрузки, который необходим вследствие неточного знания эксплуатационных условий работы гиростабилизатора.

Значения суммарных возмущающих моментов:



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование возмущающего момента | Момент относительно оси, Нм | |
| OZ | OX |
| Момент трения в опорах | *25.6.10-3* | *27.8.10-3* |
| Момент тяжения токоподводов | *7.3.10-3* | *4.2.10-3* |
| Момент остаточной несбалансированности | *9.8.10-3* | *9.8.10-3* |
| Момент от неравножесткости КП при линейных перегрузках  (с учетом вибраций) | *1.7.10-3* | *0.7.10-3* |
| Инерционный момент рам КП | *8.3.10-3* | *-* |
| Суммарный максимальный возмущающий момент | *52.7.10-3* | *42.5.10-3* |