

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

А. М. МАЛЫШЕНКО

(Представлена научным семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Погрешности гироскопических устройств (инерциальных систем навигации и управления, пироконпасов, гиросtabilизаторов и т. п.) при работе на подвижных объектах типа самолет, корабль обусловлены в первую очередь угловыми колебаниями объекта [1].

В настоящее время исследование влияния качаний объекта на поведение гироскопических устройств (ГУ) в лабораторных условиях проводят на качающихся стендах типа Скорсби с механическим построителем колебаний. Стенды типа Скорсби позволяют исследовать работу ГУ только при гармоническом характере качаний объекта. Однако известно [2], что качания подвижных объектов указанных типов представляют собой случайные процессы.

По этой причине для приближения условий лабораторных испытаний к натурным необходимо иметь стенд со случайным характером качаний его платформы. При этом статистические характеристики угловых колебаний платформы стенда должны соответствовать статистическим характеристикам угловых колебаний объекта. Устройство, кроме того, должно допускать изменение этих характеристик в некоторых пределах с целью имитации различных режимов качаний. Всем этим требованиям отвечает описываемый в данной работе стенд, предложенный автором.

Для характеристики угловых колебаний объекта свяжем с ним жестко (рис. 1) исходящий из центра тяжести объекта ортогональный трехгранник осей $Oxuz$ и ориентируем его следующим образом: ось Ox — совпадает с продольной осью симметрии объекта и направлена к его носу, ось Oz — перпендикулярна палубе (плоскости крыльев) объекта и направлена вверх, а ось Oy образует с осями Ox и Oz правый трехгранник осей. Обозначим через $O\xi\eta\zeta$ трехгранник Дарбу, связанный с точкой местоположения объекта, причем ось $O\xi$ совпадает с вертикалью места, а оси $O\eta$ и $O\zeta$ расположены в плоскости горизонта и ориентированы соответственно на Север и Запад. Предполагаем, что центр трехгранника Дарбу совпадает с центром тяжести объекта.

Положение трехгранника осей $Oxuz$ относительно трехгранника Дарбу может быть определено углами $K + \gamma$, β и α , где K — курс

движения объекта, γ — угол рыскания, β — угол дифферента (тангажа) и α — угол крена объекта. Характеристика угловых колебаний объекта этими углами является наиболее удобной [2] из всех возможных вариантов.

Колебания объекта могут быть имитированы платформой, укреп-

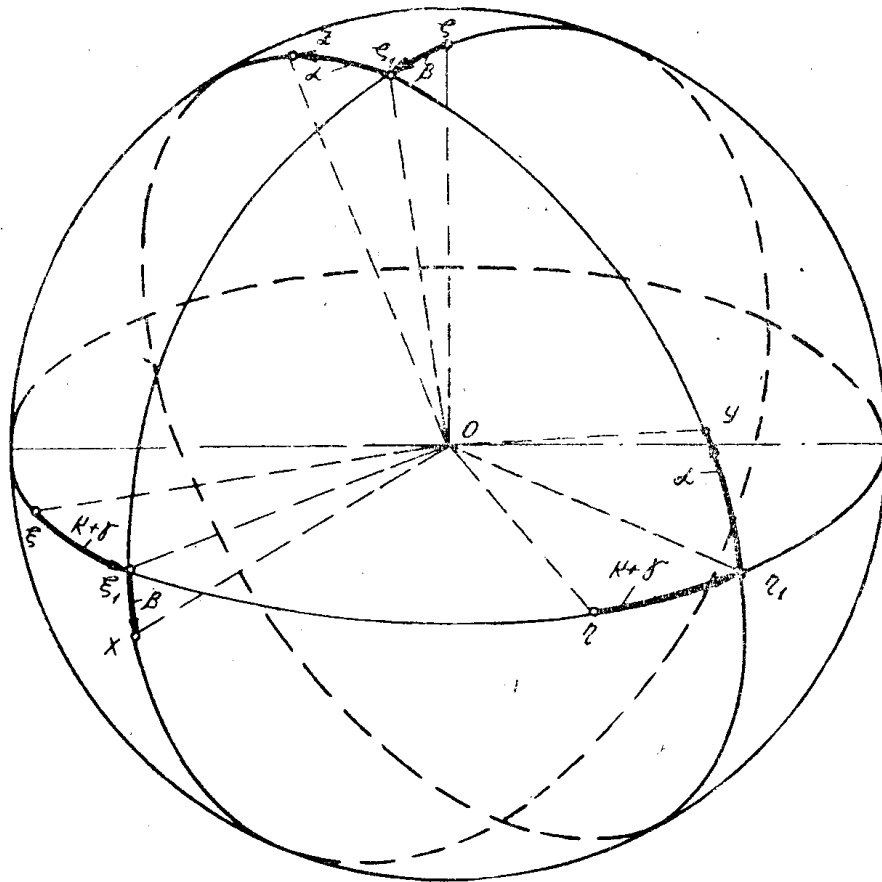


Рис. 1

ленной в трехстепенном кардановом подвесе по схеме рис. 2 с вертикальной осью наружного кольца. При этом угол γ_n поворота наружного кольца карданова подвеса относительно основания должен быть равен углу курса и рыскания объекта, угол β_n поворота внутреннего кольца относительно наружного — углу β дифферента (тангажа), а угол α_n поворота платформы относительно внутреннего кольца — углу α бортового крена объекта.

На основании обработки натуральных записей [2, 3] установлено, что качка и рыскание подвижных объектов, например морских кораблей и самолетов, представляют собой стационарные случайные процессы с нормальным (гауссовым) распределением. Математические ожидания углов качки и рыскания объекта в общем случае могут отличаться от нуля. Корреляционные функции случайных процессов $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$ аппроксимируются однотипными формулами вида

$$R(\tau) = Ae^{-\mu|\tau|} \left(\cos \nu\tau + \frac{\mu}{\nu} \sin \nu\tau \right), \quad (1)$$

где μ — коэффициент затухания корреляционной функции, характеризующий степень нерегулярности качки;
 ν — частота изменения корреляционной функции, определяющая преобладающую частоту качки объекта;
 A — дисперсия соответствующего угла качки объекта.

Для получения закона движения платформы стенда, аналогичного закону движения объекта, необходимо, чтобы углы поворота платформы и кардановых колец представляли собой также стационарные

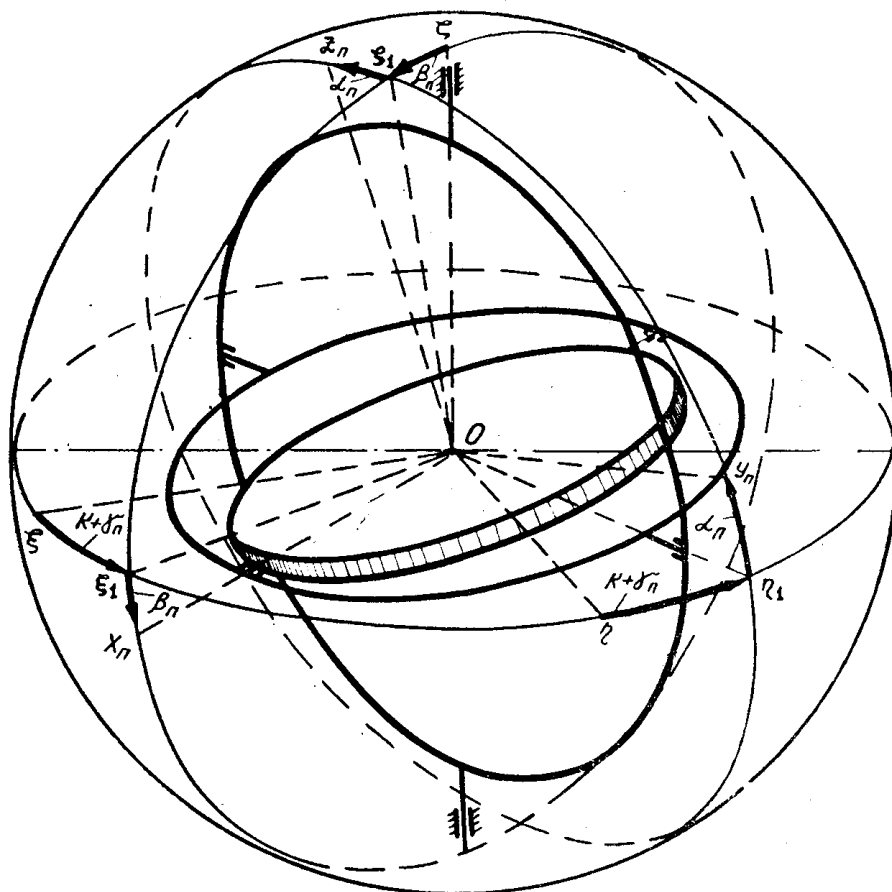


Рис. 2

случайные процессы с нормальным распределением, корреляционными функциями вида (1) и математическими ожиданиями $\bar{\alpha}_n$, $\bar{\beta}_n$, $\bar{\gamma}_n$, равными соответственно математическим ожиданиям $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$, $\bar{\gamma}$ движения объекта.

При исследовании на платформе гироскопических устройств с тщательно отбалансированными массами относительно всех осей его подвеса отклонения математических ожиданий $\bar{\alpha}_n$, $\bar{\beta}_n$ и $\bar{\gamma}_n$ от нуля не сказывается на динамике работы ГУ, поэтому часто можно принять

$$\bar{\alpha}_n = \bar{\beta}_n = \bar{\gamma}_n \equiv 0.$$

Корреляционные функции углов $\alpha_n(t)$, $\beta_n(t)$, $\gamma_n(t)$ должны соответствовать корреляционным функциям углов качки и рыскания объекта, то есть должны обеспечиваться равенства

$$R_{\alpha_n}(\tau) = R_\alpha(\tau);$$

$$R_{\beta_n}(\tau) = R_\beta(\tau);$$

$$R_{\gamma_n}(\tau) = R_\gamma(\tau).$$

Обеспечить подобное движение платформы стенда можно с помощью трех следящих систем привода платформы и кардановых колец, обрабатывающих сигналы генераторов случайных процессов с вероятностными характеристиками, соответствующими вероятностным характеристикам углов качки и рыскания объекта.

Генераторы случайных процессов, задающие режим качаний платформы, могут иметь различное техническое исполнение. В частности, это могут быть устройства, воспроизводящие натурные записи качаний объекта. Однако этот вариант нельзя считать оптимальным, так как для испытания ГУ при различных режимах качки следует иметь большое количество натуральных записей качки объектов.

Генераторы могут быть построены также на принципе линейной фильтрации [4] белого шума, то есть случайного процесса со спектральной плотностью, равномерной во всем диапазоне частот. При этом передаточная функция $W(p)$ фильтра определяется спектральной характеристикой $S(\omega)$ желаемого выходного процесса. Связь между ними описывается [4] уравнением

$$W(p)W(-p) = S(\omega), \quad (2)$$

где

$$p = j\omega \quad (j = \sqrt{-1}).$$

Следовательно, передаточная функция фильтра может быть определена факторизацией спектральной характеристики желаемого выходного сигнала. Передаточная функция не должна иметь нулей и полюсов в правой полуплоскости комплексной плоскости корней. При этом получаем линейный устойчивый фильтр минимально-фазового типа.

Для стационарных случайных процессов с корреляционной функцией (1) спектральная плотность равна

$$S(\omega) = \frac{2A\mu}{\pi} \cdot \frac{\mu^2 + \nu^2}{(\omega^2 + \mu^2 - \nu^2)^2 + 4\mu^2\nu^2}. \quad (3)$$

Факторизация $S(\omega)$ по формуле (2) дает следующее выражение для передаточной функции фильтра:

$$W(p) = \frac{a_0}{p^2 + b_1p + b_0}, \quad (4)$$

где

$$a_0 = \sqrt{\frac{2A\mu}{\pi} (\mu^2 + \nu^2)};$$

$$b_1 = 2\mu;$$

$$b_0 = \mu^2 + \nu^2.$$

Иногда крен, дифферент и рыскание объекта аппроксимируют стационарным случайным процессом с корреляционной функцией

$$R(\tau) = Ae^{-\mu|\tau|} \cdot \cos \nu\tau. \quad (5)$$

Для получения такого случайного процесса передаточная функция фильтра должна быть равна

$$W(p) = \frac{a_1 p + a_0}{p^2 + b_1 p + b_0}, \quad (6)$$

где

$$a_1 = \sqrt{\frac{2A\mu}{\pi}};$$

$$a_0 = \sqrt{\frac{2A\mu}{\pi}(\mu^2 + \nu^2)};$$

$$b_1 = 2\mu;$$

$$b_0 = \mu^2 + \nu^2.$$

Фильтры с передаточными функциями (4) и (6) могут быть реализованы различными способами, например, из пассивных R, L, C элементов или на решающих усилителях Миллера, используемых в аналоговых вычислительных машинах.

Эти фильтры являются низкочастотными, поскольку преобладающие частоты качки и рыскания объекта обычно лежат в диапазоне 0,1 — 21/сек. Поэтому при реализации этих фильтров из пассивных R, L, C элементов потребуются большие емкости и индуктивности.

Схема набора фильтра с передаточной функцией (4) на решающих усилителях представлена на рис. 3. Схема набора фильтра (6) отличается от схемы набора фильтра (4) лишь дополнительной цепью, выделенной на рис. 3 пунктирной линией.

Следует отметить, что для длительной имитации качки объекта решающие усилители фильтров должны иметь малый дрейф нуля. Это условие легко обеспечить при использовании решающих усилителей с автоматической стабилизацией нуля.

При реализации фильтра на решающих усилителях изменение режимов случайной качки платформы легко осуществить путем изменения параметров фильтра-модели. Кроме того, использование модели позволяет при необходимости качать платформу стенда по гармоническому закону. Для этого на решающих усилителях модели следует набрать консервативное звено с частотой колебаний, равной желаемой частоте качаний платформы. Изменением начальных условий в решающих усилителях можно устанавливать различные сдвиги фаз между колебаниями платформы вокруг различных осей ее подвеса.

Для получения белого шума могут быть использованы генераторы белого шума [5]. Обеспечить постоянство спектральной плотности в бесконечном диапазоне частот не представляется возможным, поэтому генерируемый этими приборами случайный процесс, строго говоря, не является белым шумом. Однако низкая собственная частота используемых фильтров в устройстве допускает фильтрацию лишь инфранизкочастотных составляющих спектра. По этой причине к генераторам белого шума, используемым в рассматриваемом устройстве, предъявляется требование обеспечения постоянной спектральной плотности лишь в инфранизкочастотной области. Описание некоторых типов таких генераторов имеется в [6, 7]. При использовании подобных генераторов реализуемый на выходе фильтра случайный процесс будет близок к желаемому.

На рис. 4 представлена схема стенда, позволяющего испытывать бортовые гироскопические устройства в условиях случайной качки.

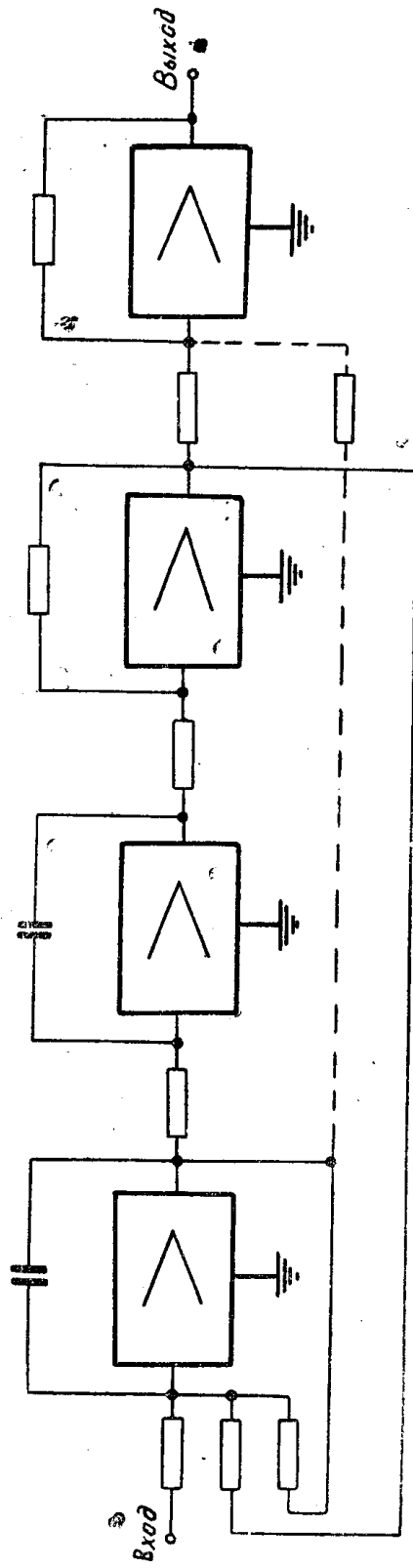


Рис. 3. Схема набора фильтров на решающих усилителях

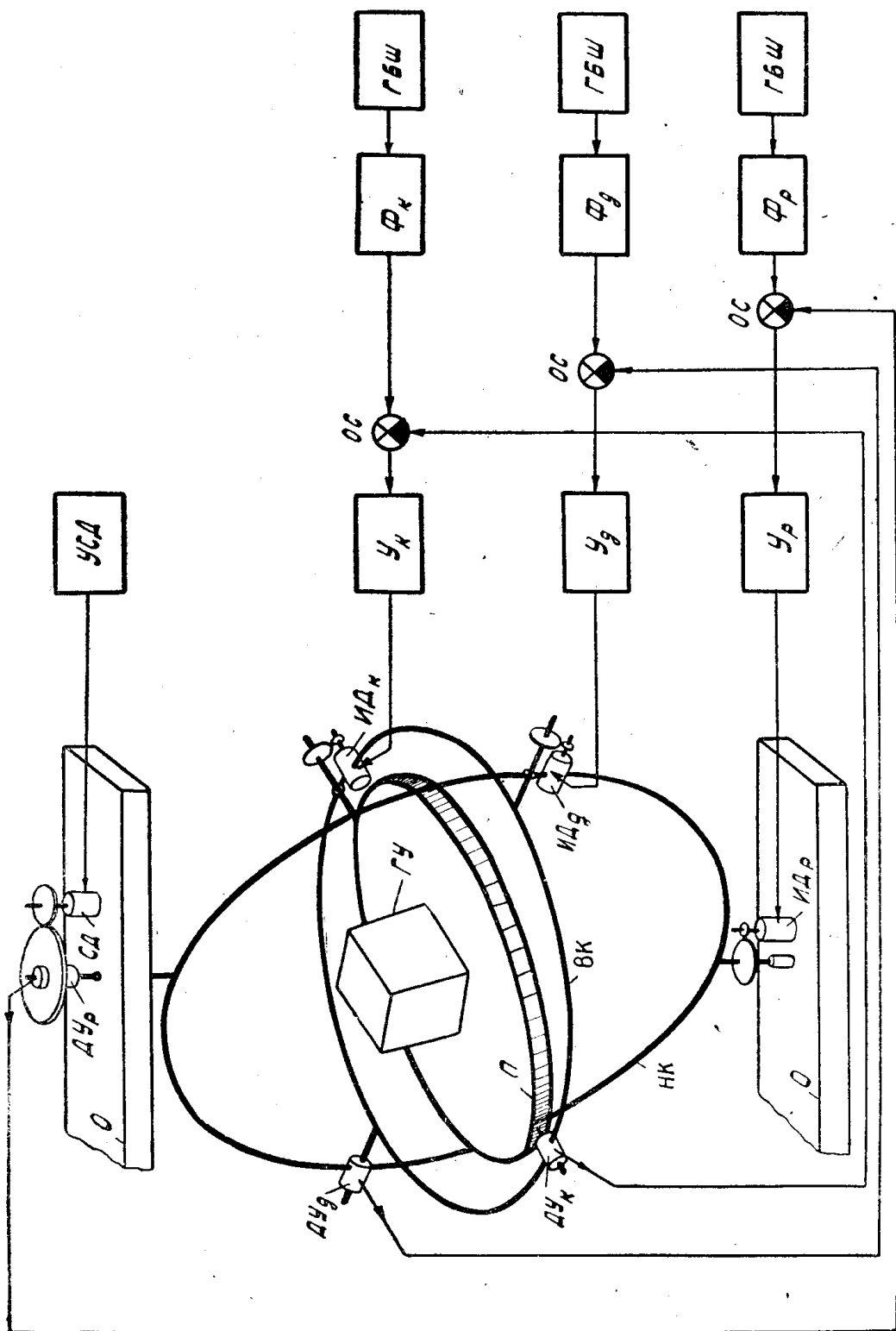


Рис. 4. Схема стенда для испытаний бортовых гироскопических устройств в режиме случайной качки

Стенд включает в себя платформу Π в трехступенном кардановом подвесе, на которую устанавливается испытуемое $ГУ$. Привод платформы и кардановых колец подвеса осуществляется с помощью трех подобных следящих систем ($СС$), которые состоят из исполнительных двигателей $ИД$, установленных на осях карданова подвеса, усилительных устройств $У$, датчиков углов поворота $ДУ$ и органов сравнения $ОС$.

Следящие системы обеспечивают угловые колебания платформы стенда в соответствии с законом изменения выходных сигналов фильтров Φ , преобразующих сигналы генераторов белого шума $ГБШ$. Выходные сигналы фильтров должны быть статистически эквивалентны углам качки и рыскания объекта. Обратная связь в $СС$ обеспечивается подачей сигналов датчиков углов $ДУ$ относительных поворотов платформы и кардановых колец на органы сравнения. Здесь производится их сравнение с выходными сигналами формирующих фильтров.

Следящая система привода наружного карданова кольца $НК$ должна обеспечивать его движения относительно основания $О$ по закону рыскания объекта. Следящая система привода внутреннего кольца $ВК$ должна работать в режиме воспроизведения дифферента (тангажа) объекта, а $СС$ привода платформы — в режиме воспроизведения крена объекта.

В связи с этим параметры фильтра задающих сигналов для первой $СС$ определяются по параметрам корреляционной функции углов рыскания объекта. Соответственно параметры фильтров двух других $СС$ определяются по параметрам корреляционных функций дифферента (тангажа) и крена. На рис. 4 все элементы следящих систем воспроизведения рыскания, дифферента и крена объекта имеют соответственно обозначения с индексами p, d, k .

При необходимости платформа может быть повернута относительно основания на угол, соответствующий выбранному курсу K движения объекта, путем поворота на угол K корпуса датчика $ДУ$, углов поворота наружного кольца. Установка курса может производиться через редуктор либо вручную, либо с помощью сервопривода, включающего в себя серводвигатель $СД$ и устройство для его управления $УСД$. Аналогичным способом и устройствами могут устанавливаться при необходимости постоянные составляющие углов поворота платформы, соответствующие математическим ожиданиям углов дифферента и крена.

Следует отметить, что следящие системы привода карданова подвеса сами являются фильтрами, и поэтому обеспечить точное воспроизведение сигналов генераторов качки следящими системами нельзя. Однако ошибка воспроизведения в данном случае будет невелика, так как в области инфранизких частот, соответствующей качке объекта, следящие системы будут иметь практически постоянный коэффициент передачи, близкий к 1, то есть будут достаточно точно воспроизводить входные сигналы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ю. Ишлинский. Механика гироскопических систем, Изд. АН СССР, 1963.
2. С. С. Ривкин. Теория гироскопических устройств, часть 1, Судпромгиз, 1962.
3. С. С. Ривкин. Об исследовании корабельных гироскопических приборов при нерегулярной качке корабля. Первая межвузовская научно-техническая конференция по проблемам современной гироскопии, Л., Судпромгиз, 1960.
4. И. Матыаш, Я. Шилханек. Генератор случайных процессов с заданной матрицей спектральных плотностей. Автоматика и телемеханика, т. XXI, № 1, 1960.
5. Н. М. Тетерич. Генераторы шума, Госэнергоиздат, 1961.
6. А. М. Петровский. Генератор флуктуационных шумов для инфразвуковых частот, Автоматика и телемеханика, т. XIV, № 4, 1953.
7. Ю. М. Романовский. Генератор шумов низкой частоты, Приборы и техника эксперимента, № 4, 1958.