

ВИРОБНИЦТВО ОБТ

УДК:629.19

В.В. Чиковани¹, С.П. Маляров²

¹Национальный авиационный университет

²ОАО НПК «Киевский завод автоматики им. Г.И. Петровского»

МЕТОДИКА И РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ КОРИОЛИСОВОГО ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА

В данной работе используется метод расчета надежности кориолисового вибрационного гироскопа, основанный на анализе воздействий внешних стресс-факторов на прибор и вычисления коэффициентов ускоренной деградации. Представлена методика расчета среднего времени наработки на отказ с использованием коэффициентов ускоренной деградации. Для вычисления коэффициентов ускоренной деградации использовались модели: Аррениуса – воздействия высокой температуры, Коффина-Менсона – воздействия циклически изменяющейся температуры и модель Холберга-Пека – воздействия влажности. Сначала вычисляется интенсивность отказов и средняя наработка на отказ при работе прибора в нормальных условиях, а затем на основе полученной оценки вычисляются параметры надежности при работе прибора в других условиях окружающей среды с использованием коэффициента окружающей среды π_E для конкретных условий эксплуатации. В результате среднее время наработки на отказ кориолисового вибрационного гироскопа с металлическим резонатором в нормальных условиях эксплуатации составило 2 509 145 часов.

Ключевые слова: надежность, гироскоп, интенсивность отказов.

Постановка проблемы

Цель данной работы состоит в том, чтобы помочь как разработчикам, так и производителям гироскопов убедиться в правильности принятых технических решений, подбора радиотехнических компонент, используемых материалов для изготовления чувствительного элемента и конкретной выбранной конструкции. Зная такой параметр, как среднее время наработки на отказ как производители гироскопов, так и его пользователи могут с большей уверенностью принимать решение об использовании данного гироскопа и системы, построенной на его основе, в тех или иных условиях эксплуатации. Другой, не менее важной, целью расчета надежности является оценка периодичности ремонта или замены прибора в целом или необходимости наличия запасных частей и организации проведения ремонтных работ, формирования ремонтных бригад и соответствующие этим работам расходы.

В данной работе принят метод расчета надежности кориолисового вибрационного гироскопа (КВГ), основанный на анализе влияния воздействий внешних стресс-факторов на прибор и вычислении коэффициентов ускоренной деградации. Представлена методика расчета среднего времени наработки на отказ с использованием коэффициентов ускоренной деградации. Для вычисления коэффициентов ускоренной деградации использовались модели:

Аррениуса – воздействия высокой температуры, Коффина-Менсона – воздействия циклически изменяющейся температуры и модель Холберга-Пека – воздействия влажности. Сначала вычисляется интенсивность отказов и средняя наработка на отказ при работе прибора в нормальных условиях. Затем на основе полученной оценки вычисляются параметры надежности при работе прибора в других условиях окружающей среды с использованием коэффициента окружающей среды π_E для конкретных условий эксплуатации, взятые из стандарта США [1] для прибора ближайшего аналога, из имеющихся в этом стандарте.

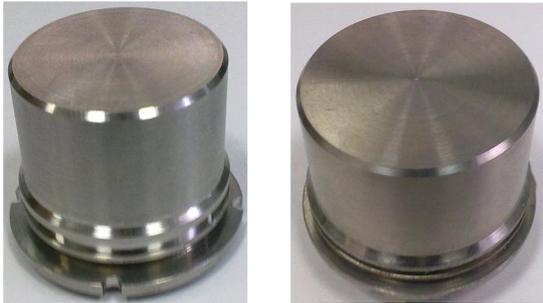
Показано, что кориолисовый вибрационный гироскоп с металлическим резонатором имеет точность, не уступающую точностям известных современных гироскопов, таких как волоконно-оптические и кольцевые лазерные гироскопы, при значительно более высокой надежности.

Изложение основного материала

Характеристики КВГ с металлическим резонатором

На фигуре 1 показаны два типа датчиков КВГ с диаметром цилиндрического резонатора 25 мм (КВГ25) и 43 мм (КВГ43). Вес датчика КВГ25 составляет 80 гр., а КВГ43 – 165 гр. Оба гироскопа

имеют одинаковые электронные блоки, состоящие из трех плат общим весом 30 гр., включая плату вторичных источников питания, принимающую напряжение от первичного источника питания в диапазоне от 10 до 30 В.

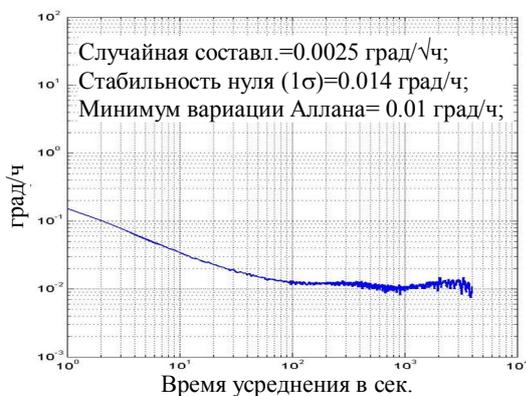


KVГ25 Ø40×27мм

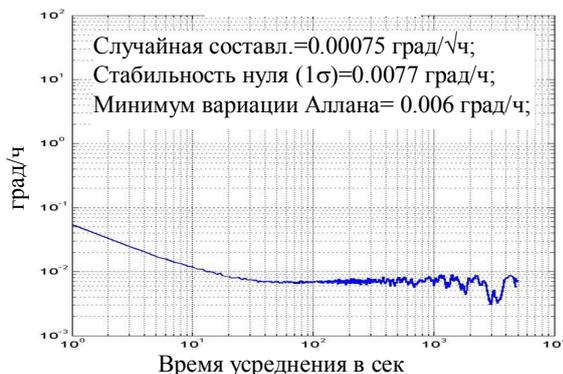
KVГ43 Ø58.5×33.6мм

Фиг. 1. Датчики KVГ25 и KVГ43

На фигурах 2 и 3 представлены выходные сигналы этих гироскопов и расчет их точностных характеристик при стабильной температуре +50°C. Как видно из представленных данных, стабильность нуля (дрейф) KVГ25 равна 0.014 град/ч при времени усреднения 100 с, а случайная составляющая, определяемая по кривой вариации Аллана, равна 0.0025 град/√ч. Для KVГ43 имеем стабильность нуля (дрейф), равную 0.0077 град/ч, а случайную составляющую 0.00075 град/√ч. Как показывают представленные результаты, точность вибрационных гироскопов находится на уровне лучших образцов волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов.



Фиг. 2. Вариация Аллана KVГ25 при +50°C



Фиг. 3. Вариация Аллана KVГ43 при +50°C

Оценка надежности методом воздействия стресс-факторов

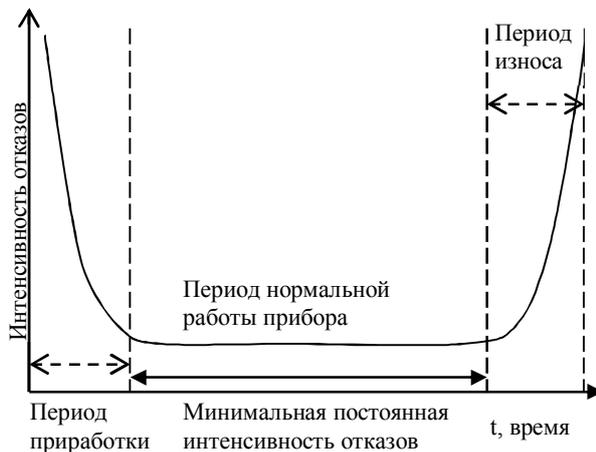
Оценка надежности методом воздействия стресс-факторов позволяет получать оценку надежности прибора в комплексе, включая все его компоненты и соединения, по данным испытаний прибора в «утяжеленных» условиях внешних воздействий (стресс-факторов). Данный метод может применяться при серийном производстве прибора, не нарушая производственный процесс, а используя данные приемочных испытаний и испытаний входного контроля у потребителя. Оценка надежности производилась по данным испытаний достаточно большого количества (около 40 шт.) KVГ25, но так как KVГ43 отличается от KVГ25 только размерами (используемые материалы, технологии изготовления компонент и др. одинаковые), то полученную оценку можно в равной мере отнести и к KVГ43. Методика расчета интенсивности отказов основана на расчетах коэффициентов ускоренной деградации, с использованием моделей Аррениуса, Коффина-Менсона и Холберга-Пека [2]. При этом такой параметр, как энергия активации гироскопа, был взят из стандарта США [1] для эквивалентного прибора (наиболее близкого по составу из имеющихся), а именно носителя информации на цилиндрическом магнитном домене, который, как и KVГ, имеет цилиндрический чувствительный элемент (носитель) и электронный блок. Используя хи-квадрат распределение, вычисляется интенсивность отказов λ с учетом коэффициента π_E , характеризующего условия окружающей среды, также взятые из стандарта [1] для эквивалентного прибора (прибора на поверхностных акустических волнах), так как принцип работы KVГ также использует акустические волны. Коэффициент качества изготовления принят равным $\pi_Q=1$, что означает – не превышает качество лучшего гражданского производства по уровню II, согласно стандарта [3].

Определим основные термины, которыми будем пользоваться и на которых основан расчет надежности KVГ. Среднее время наработки на отказ (СВНО) – среднее время между отказами, суммарное время работы гироскопа, деленное на суммарное количество отказов за это время. Интенсивность отказов (λ) – число отказов на один прибор за суммарный период функционирования в единицах времени, событий, циклов или количества приборов. Отметим, что СВНО=1/λ. Надежность прибора есть вероятность того, что прибор может непрерывно работать без сбоев в течение определенного периода времени в установленных условиях окружающей среды. Энергия активации (касательно надежности) – минимальное количество энергии, которое необходимо для запуска механизма температурной деградации прибора.

Ограничения и предположения метода

Ограничения метода состоят в том, что модель интенсивности отказов определяет точечную оценку, основанную на имеющихся данных. Следовательно, такая оценка справедлива для условий, при которых получены данные испытаний, и для приборов, которые прошли испытания. Конечно, возможно использовать экстраполяцию на другие аналогичные приборы, но эмпирическая природа моделей Аррениуса, Коффина-Менсона и Холберга-Пека ограничивает возможности метода.

Оценка СВНО делается в предположении, что интенсивность отказов есть постоянная величина. Это означает, что оценка надежности не отражает реальную надежность при работе прибора в период приработки (начальный период после сборки прибора или в начальный период его эксплуатации), когда интенсивность отказов не может считаться постоянной. На фиг. 4 представлен график



Фиг. 4. Зависимость интенсивности отказов от времени

интенсивности отказов [2], из которого видно, что интенсивность отказов — постоянная величина только на периоде нормальной жизни прибора, на котором интенсивность отказов минимальная. Таким образом, в период приработки и в период износа (конечный период работы прибора) предлагаемая здесь оценка надежности не справедлива.

Модели коэффициентов ускоренной деградации

Метод воздействия стресс-факторов использует данные испытаний при воздействиях, сокращающих время жизни прибора или ускоряющих процесс его деградации. Цель таких испытаний состоит в том, чтобы получить данные, которые дадут разумную оценку работоспособности прибора в нормальных условиях эксплуатации, когда коэффициент окружающей среды $\pi_E=1$. Влияние таких стресс-факторов можно математически описать моделями, которые дают возможность рассчитать коэффициенты

ускоренной деградации для различных типов стресс-воздействий. Стресс-фактор, который наиболее сильно влияет на работоспособность гироскопа (как и на любой электронный прибор), является термоциклированием — быстрым изменением температуры во всем рабочем температурном диапазоне. Коэффициент ускоренной деградации для стресс-воздействия — термоциклирование и стресс-воздействия — влажности определяется комбинированной моделью Коффина-Менсона [2]

$$A_F^{\Delta T, RH} = \left(\frac{\Delta T_l}{\Delta T_f} \right)^{1.9} \left(\frac{F_f}{F_l} \right)^{1/3} \left(\frac{RH_t}{RH_u} \right)^3 \times \exp \left\{ \frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_{max f}} - \frac{1}{T_{max}} \right) \right\}, \quad (1)$$

где $A_F^{\Delta T, RH}$ — коэффициент ускоренной деградации при комбинированном воздействии изменения температуры и влажности;

ΔT_l — разность максимальной и минимальной температур при термоциклировании;

ΔT_f — максимальная разность температур при включенном и выключенном приборе;

F_f — частота термоциклирования (количество циклов в сутки) в условиях эксплуатации. Минимальное значение равно 6;

F_l — частота термоциклирования (количество циклов в сутки) при испытаниях. Минимальное значение равно 6;

RH_u — относительная влажность окружающей среды в нормальных условиях;

RH_t — относительная влажность окружающей среды при испытаниях;

E_a — энергия активации в электрон-вольтах (эВ);

k — постоянная Больцмана;

$T_{max f}$ — максимальная температура в градусах Кельвина в нормальных условиях, $T_{max f} = 298^\circ\text{K}$;

T_{max} — максимальная температура в градусах Кельвина при испытаниях.

Коэффициент ускоренной деградации при воздействии повышенной температуры определяется моделью Аррениуса

$$A_F^T = \exp \left\{ \frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_{test}} \right) \right\}, \quad (2)$$

где $T_f = 298^\circ\text{K}$ для $\pi_E=1$ (нормальные условия), T_{test} — температура воздействия (испытания) в градусах Кельвина.

Значение энергии активации для КВГ25 берется из стандарта [1] для эквивалентного прибора — носителя информации на цилиндрическом магнитном домене. В указанном стандарте даются два значения энергии активации — для блока управления и детектирования $E_a=0.88$ эВ/°К и для цилиндрического домена $E_a=0.55$ эВ/°К. Для оценки СВНО КВГ25 возьмем меньшее значение энергии активации, равное $E_a=0.55$ эВ/°К.

Для вычисления интенсивности отказов используется хи-квадрат распределение, так как это распределение определяет связь между наблюдениями и ожидаемыми значениями. Соотношение для расчета интенсивности отказов представляется в следующем виде [2]

$$\lambda = \frac{\chi^2(\alpha, \beta)}{2tA_F}, \quad (3)$$

где λ – интенсивность отказов; $\alpha = (100 - CL)/100$, CL – доверительная вероятность, при уровне доверия 95%, $\alpha = 0.05$, для 99%, $\alpha = 0.01$, для 99,9%, $\alpha = 0.001$; β – степень свободы, определяемая как $\beta = 2 \times$ количество отказов + 2, при количестве отказов равному нулю, $\beta = 2$; t – длительность воздействия стресс-фактора.

При различных видах испытаний для разного количества гироскопов результирующая интенсивность отказов λ_{res} и СВНО определяются по следующим выражениям

$$\lambda_{res} = \frac{\chi^2(\alpha, \beta)}{2 \sum_{i=1}^p n_i t_i A_{F_i}^{\Delta T, RH} + 2 \sum_{j=1}^s m_j t_j A_{F_j}^{T_{test, j}}}, \quad (4)$$

$$СВНО_{res} = 1/\lambda_{res}.$$

где n_i – количество гироскопов на i -ом испытании термодурирования и влажности в течение времени t_i ; m_j – количество гироскопов на j -ой температуре $T_{test, j}$ длительностью испытаний t_j ; p – количество термоциклов; s – количество испытаний на повышенной температуре.

Результаты испытаний и расчет надежности

Обычно производитель проводит испытания для определения параметров выпускаемых гироскопов в температурном диапазоне для их занесения в технический паспорт на прибор. При испытаниях приборы проходят период приработки, и результаты этих испытаний могут быть использованы для расчета надежности прибора. Именно так использовались результаты испытаний 30 гироскопов КВГ25, которые прошли испытания в термокамере в диапазоне температур $[-40 +50]^{\circ}\text{C}$ при скорости изменения температуры $\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ в течение 120 ч. При этом ни один из 30 КВГ не вышел из строя.

Кроме того специально для расчета надежности 10 КВГ были испытаны в термокамере в диапазоне температур $[-40 +75]^{\circ}\text{C}$ в течение 120 ч. со скоростью изменения температуры $\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. и при постоянной температуре $+70^{\circ}\text{C}$ в течение 120 ч. Сбоев обнаружено не было.

Еще один гироскоп без сбоев прошел испытания на повышенную постоянную температуру $+85^{\circ}\text{C}$ в течение 240 ч.

Во время проведения испытаний с изменением температуры относительная влажность воздуха в термокамере изменялась в диапазоне $[100-70]\%$,

относительная влажность 70% считалась нормальной. Таким образом, для расчета СВНО следует использовать среднюю относительную влажность, равную 85% . Вся информация об испытаниях кратко представлена в таблице 1.

Таблица 1

Условия и количество испытаний		
Условия испытаний	Количество гироскопов	Длительность испытаний (час)
$[-40+50]^{\circ}\text{C}$, $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, Относ. влажность 100-70% (средняя влажность 85%)	30	120
$[-40+75]^{\circ}\text{C}$, $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ Относ. влажность 100-70% (средняя влажность 85%)	10	120
$+70^{\circ}\text{C}$, постоянная температура	10	120
$+85^{\circ}\text{C}$, постоянная температура	1	240

Основываясь на результатах испытаний, представленных в табл. 1, можно вычислить интенсивность отказов и СВНО, используя выражения (1), (2) и (4).

Коэффициенты ускоренной деградации для испытаний на термоциклирование и влажность вычисляются по выражению (1)

$$A_F^{-40:+50} = \left(\frac{85}{70}\right)^3 \left(\frac{90}{10}\right)^{1.9} \times \exp\left\{\frac{0.55}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{323}\right)\right\} = 763$$

$$A_F^{-40:+75} = \left(\frac{85}{70}\right)^3 \left(\frac{115}{10}\right)^{1.9} \times \exp\left\{\frac{0.55}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{348}\right)\right\} = 3942$$

В этих расчетах $\Delta T_f = 10^{\circ}\text{C}$, потому что максимальная разность температур КВГ в выключенном и включенном состоянии равна 10°C . Влажность воздуха в нормальных условиях принималась равной 70% . Отношение F_j/F_1 полагалось равным 1.

Коэффициенты ускоренной деградации для испытаний на повышенную температуру вычисляются по выражению (2)

$$A_F^{+70} = \exp\left\{\frac{0.55}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{348}\right)\right\} = 21.25$$

$$A_F^{+85} = \exp\left\{\frac{0.55}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{358}\right)\right\} = 56.01.$$

Интенсивность отказов вычисляется по выражению (4).

Для доверительной вероятности 95%

$$\lambda_{res} = \frac{\chi^2(0.05, 2)}{15032285} = \frac{5.991}{15032285} = 3.99 \times 10^{-7}$$

$$СВНО_{res}=1/\lambda_{res}=2\,509\,145 \text{ часов}$$

Для доверительной вероятности 99%

$$\lambda_{res} = \frac{\chi^2(0.01, 2)}{15032285} = \frac{9.21}{15032285} = 6.13 \times 10^{-7}$$

$$СВНО_{res}=1/\lambda_{res}=1\,632\,170 \text{ часов.}$$

Для доверительной вероятности 99.9%

$$\lambda_{res} = \frac{\chi^2(0.01, 2)}{15032285} = \frac{13.82}{15032285} = 9.19 \times 10^{-7}$$

$$СВНО_{res}=1/\lambda_{res}=1\,087\,719 \text{ часов.}$$

Приведенные расчеты соответствуют СВНО при работе прибора в нормальных условиях при стандартном качестве изготовления, т.е. $\pi_E = \pi_Q = 1$. Для расчета СВНО при работе в других условиях, т.е. в конкретных условиях применений, необходимо оценку СВНО, полученную при работе в нормальных условиях, разделить на коэффициент окружающей среды π_E , соответствующий конкретному применению (при этом коэффициент качества π_Q принимается равным единице, $\pi_Q = 1$). Значения коэффициентов π_E для наиболее интересных областей применения гироскопов были взяты из стандарта [1] для ближайшего аналога - прибора на ПАВ (поверхностных акустических волнах). Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

СВНО КВГ25 для различных применений

Условия окружающей среды по применениям	СВНО Доверит. вероятн. 95% часов (лет)	СВНО Доверит. вероятн. 99% часов (лет)	СВНО Доверит. вероятн. 99.9% часов (лет)
Наземные неподвижные объекты, контролируемые условия $G_B, \pi_E=1.0$	2 509 145 (286)	1 632 170 (186)	1 087 719 (124)
Наземные неподвижные объекты, неконтролируемые условия $G_E, \pi_E=2.0$	1 254 572 (143)	816 085 (93)	543 859 (62)

Методика і розрахунок середнього часу напрацювання на відмову за результатами випробувань коріолісового вібраційного гіроскопа

В.В.Чиковани, С.П.Маляров

У даній роботі використовується метод розрахунку надійності коріолісового вібраційного гіроскопа, заснований на аналізі впливів зовнішніх стрес-факторів на прилад і обчислення коефіцієнтів прискореної деградації. Надана методика розрахунку середнього часу напрацювання на відмову з використанням коефіцієнтів прискореної деградації. Для обчислення коефіцієнтів прискореної деградації використовувалися моделі: Арреніуса – дії високої температури, Коффіна-Менсона – впливу температури, що циклічно змінюється, і модель Холберга-Пека – впливу вологості. Спочатку обчислюється інтенсивність відмов і середнє напрацювання на відмову при роботі приладу в нормальних умовах, а потім на основі отриманої оцінки, обчислюються параметри надійності при роботі приладу в інших умовах навколишнього середовища з використанням коефіцієнта навколишнього середовища π_E для конкретних умов експлуатації. У результаті середній час напрацювання на відмову коріолісового вібраційного гіроскопа з металевим резонатором в нормальних умовах експлуатації склав 2509145 годин.

Ключові слова: надійність, гіроскоп, інтенсивність відмов.

Наземные подвижные объекты $G_m, \pi_E=4.0$	627 286 (71)	408 042 (46)	271 929 (31)
Морские объекты, в помещении $N_S, \pi_E=4.0$	627 286 (71)	408 042 (46)	271 929 (31)
Самолеты с экипажем, грузом, истребители $A_{IC}, A_{IF}, \pi_E=5.0$	501 829 (57)	326 434 (37)	217 543 (24)
Вертолеты, $A_{RW}, \pi_E=8.0$	313 643 (36)	204 021 (23)	135 964 (15)
Космические объекты на орбите $A_{RW}, \pi_E=0.5$	5 018 290 (572)	3264340 (372)	2 175 438 (248)
Ракеты в полете $M_F, \pi_E=5.0$	501 829 (57)	326 434 (37)	217 543 (24)
Ракеты, разгонный участок $M_U, \pi_E=12.0$	209 095 (24)	136 014 (15)	90 643 (10)

Выводы

Вибрационный гироскоп с металлическим резонатором является высоконадежным прибором со средним временем наработки на отказ 2 509 145 часов в нормальных условиях эксплуатации. Он не требует ремонта и наличия запасных частей при его эксплуатации в большинстве применений. Кориолисовые вибрационные гироскопы имеют лучшее соотношение цена/качество, чем его ближайшие конкуренты – волоконно-оптические и лазерные гироскопы, при значительно более высокой надежности.

Список литературы

1. "Military Handbook for Reliability Prediction of Electronic Equipment".- MIL-HDBK-217F Notice 2.
2. Scott Speaks "Reliability and MTBF Overview".- Vicor Reliability Engineering.
3. "Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment".- Telcordia Technical Reference TR-332.

Рецензент: доктор технічних наук, старший науковий співробітник В.М. Корольов, Академія сухопутних військ, Львів.

Methods and calculation of mean time to failure based on Coriolis vibratory gyroscope test results.

V.V. Chikovani, S.P. Maliarov

This paper uses the method of calculating the reliability of Coriolis vibrating gyroscope, based on an analysis of effects of external stress factors on the device and calculation the accelerated degradation coefficients. Methods to calculate mean time between failures with the use of accelerated degradation coefficients are presented. To calculate the coefficients of accelerated degradation the following models were used: Arrhenius model for high temperature, Coffin-Manson model for thermocycle and Holberg-Peck model for humidity. First, the failure rate and mean time between failures in operation of the gyro under normal conditions are computed and then, on the basis of these estimates, reliability parameters for the instrument in other environmental conditions are calculated with the use of environmental factors π_E for specific operating conditions. As a result, the mean time between failures of Coriolis vibratory gyroscope with a metal resonator under normal operating conditions is 2,509,145 hours.

Keywords: reliability, gyroscope, failure rate.

УДК 539.4+517.8

Б.І. Сокіл¹, А.М. Стащук²

¹Академія сухопутних військ, Львів

²ПП «Сфера плюс», Львів

ОЦІНКА КРИТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ РУЙНУВАННЯ ПРУЖНОГО ТІЛА З ПОРАМИ ТА ТРІЩИНАМИ

У роботі з використанням прикладної теорії катастроф проведена аналітична оцінка механічних та міцнісних характеристик композиту з урахуванням його пористості. Досліджено питання стабільного докритичного росту короткої тріщини при переході до макроскопічних розмірів, в результаті чого оцінено якісні зміни потенціальної енергії щілини із зонами передруйнування в її вершинах. Також теоретично встановлено аналітичні співвідношення для визначення критичних параметрів мікротріщини та межі її стабільного росту до макроскопічних розмірів.

Ключові слова: теорія катастроф, композитний матеріал, пористість, тріщина, критичні навантаження.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

При стрімкому розвитку сучасної науки, зокрема прикладної механіки, достатньо ефективною у аналізі класичних і розвиненні сьогоденних результатів виявилась теорія катастроф [1]. Значного розвитку ця теорія набула у вивченні низки питань теорії пружної стійкості, яка вивчає реакцію пружних тіл і конструкцій на діючі механічні навантаження. Прогнози теорії катастроф мають важливе технічне застосування для оцінювання критичних сил, які ініціюють втрату стійкості пружних тіл та інженерних споруд.

Теорія катастроф є прикладною математичною теорією, яка останнім часом активно розвивається та разом з методами системного аналізу стала ефективним інструментом якісних досліджень надійності та довговічності деталей машин і конструкцій. Ця наука поєднує теорію особливостей гладких поверхонь Х. Уїтні, теорію стійкості та біфуркацій динамічних систем А. Пуанкаре, А. Ляпунова, А. Андропова. Її поява та назва є результатом досліджень французького математика Р. Тома [1]. Інтенсивний вплив на розвиток методів

теорії катастроф зробили праці В.І. Арнольда [2,3], Т. Постона, І. Стюарта [4], А. Кампо [5,6], Є.С. Зімана [7], Р. Гілмора [8], Дж. М.Т. Томпсона [9] та інших.

Теорія катастроф вивчає раптову, стрибкоподібну зміну стану системи, викликану реальними змінами зовнішніх впливів, і містить для опису явищ втрати її стійкості значні потенційні можливості.

У математичній постановці теорія катастроф вивчає якісну природу залежності розв'язків $y_i(t, x, c)$ ($i = 1, 2, \dots, n$, $x = (x_1, \dots, x_n)$, $c = (c_1, \dots, c_n)$) системи рівнянь

$$F_i(t, y_j, x, \frac{dy_j}{dt}, \dots, \frac{dy_j}{dx_k}, \dots, \int y_j dx_k, \dots) = 0 \quad (1)$$

від параметрів c_α , які мають назву керуючих параметрів. У спрощеному варіанті предметом теорії катастроф є вивчення залежності стану рівноваги y_i потенціальної функції $V(y_i, c_\alpha)$ від зміни параметрів c_α .

Застосування теорії катастроф в науці та техніці є не рідкісним [4,9]. В той же час її розвиток в напрямі досліджень питань руйнування пружних тіл, зокрема теорії міцності, майже відсутній.

Значна кількість випробувань матеріалів на міцність та руйнування вказує на те, що характер