

ВОЛОКОННЫЕ ДАТЧИКИ ВРАЩЕНИЯ КОМПАНИИ “ФИЗОПТИКА”

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ (методика расчета и оценка)

В документе проведена оценка основных показателей надежности волоконных датчиков вращения, выпускаемых компанией “Физоптика”.

1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ

Надежность является комплексным свойством, которое включает в себя такие свойства как: работоспособность, сохраняемость, долговечность.

Основные характеристики надежности для невозстанавливаемых изделий, не ремонтируемых после отказа (интегральные схемы, разъёмы и т.д.) перечислены ниже:

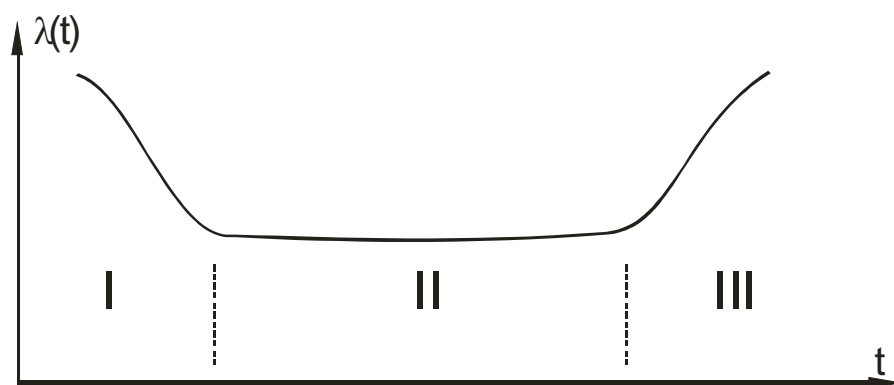
- вероятность безотказной работы за время t : $P(t)$;
- вероятность отказа за время t : $Q(t) = 1 - P(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$ – указывает среднее число отказов, возникающее за единицу времени эксплуатации изделия;
- среднее время наработки изделия до отказа T .

В расчетах времени до отказа t считается случайной величиной и используется аппарат теории вероятностей.

Свойства (аксиомы):

- $P(0)=1$ (рассматривается эксплуатация работоспособных изделий);
- $\lim_{t \rightarrow \infty} P(t)=0$ (работоспособность не может быть сохранена неограниченное время);
- $dP(t)/dt \leq 0$ (после отказа изделие не восстанавливается).

Типичная кривая изменения $\lambda(t)$ в течение срока эксплуатации (жизни) изделия имеет вид:



I – этап приработки $d\lambda(t)/dt < 0$

II – этап нормальной эксплуатации $\lambda(t) = \text{const}$

III – этап старения $d\lambda(t)/dt > 0$

Взаимосвязь между характеристиками надежности:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \text{ для этапа II } P(t) = \exp(-\lambda t)$$

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt \text{ для этапа II } P(t) = \exp(-t/T), \text{ где } T = 1/\lambda$$

Для невосстанавливаемого изделия, надежность характеризуется средним временем наработки до отказа T .

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Условия (предпосылки) расчета:

- расчет производится для этапа нормальной эксплуатации изделия, поэтому считают $\lambda(t) = \text{const}$;
- создают надежностную схему изделия, причем считают, что отказ элемента (группы элементов), включенных в надежностную схему, приводит к отказу всего изделия;
- каждый элемент, включаемый в надежностную схему, характеризуется интенсивностью отказов λ_i и вероятностью безотказной работы $P_i(t)$; считают, что отказы отдельных элементов независимы между собой (хотя бы в первом приближении), поэтому вероятность безотказной работы изделия $P_{\text{изд}}(t)$:

$$P_{\text{изд}}(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

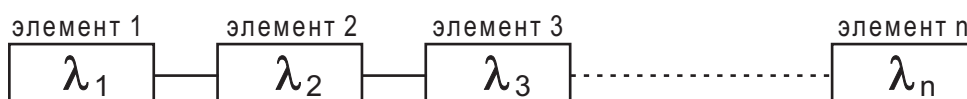
а интенсивность отказов изделия $\lambda_{\text{изд}}$

$$\lambda_{\text{изд}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

(складываются показатели степени в выражении $P = \exp(-\lambda t)$),

и тогда для среднего времени наработки на отказ имеем $T_{\text{изд}} = 1/\lambda_{\text{изд}}$.

Перед проведением расчета выбирается состав элементов (групп элементов), отказы которых наибольшим образом влияют на надежность блока и отказ которых приводит к отказу блока, составляется надежностная схема следующего вида



и вычисляется суммарная интенсивность отказов изделия.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

3.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

В состав волоконных датчиков угловой скорости, выпускаемых компанией “Физоптика”, входят два функциональных блока, размещенных в одном корпусе: оптический блок и электронный блок.

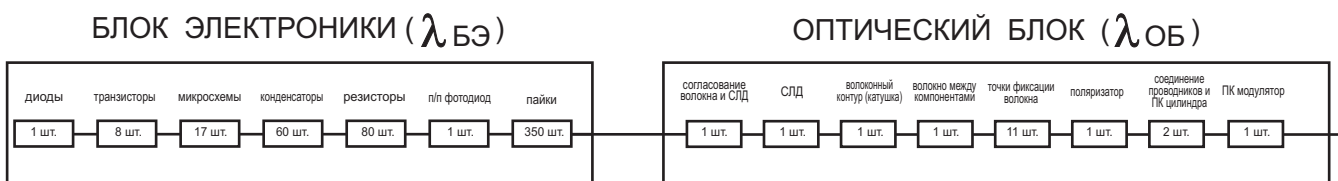
Для оценки использовались сведения о надежности комплектующих электронных компонентов из единых справочников по “Надежности изделий электронной техники и квантовой электроники” изд. ВНИИ “Электростандарт”, а также из стандарта MIL-HDBK-217F.

Использованные при расчете значения интенсивности отказов для основных компонентов и узлов оптического блока датчика основаны на информации от изготовителей и поставщиков оптических компонентов, а также на статистических данных, аккумулированных компанией “Физоптика” в процессе многолетнего производства волоконных датчиков вращения.

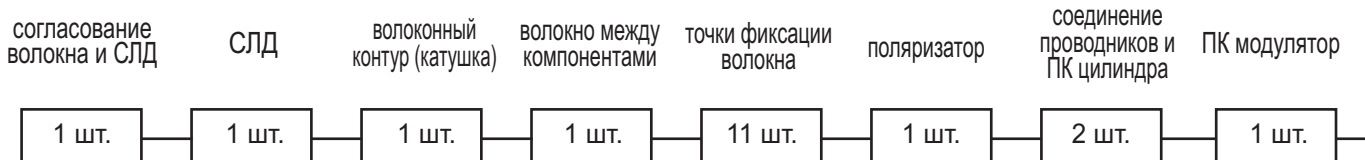
Расчет проводился с учетом внешних условий Ground Fixed Operation (GF) и для температуры окружающей среды +25°C без учета влияния фактора влажности. Для оценки параметров надежности датчиков с повышенным рабочим током (малошумящих) использовался коэффициент 2, увеличивающий значение интенсивности отказов СЛД.

3.2. НАДЕЖНОСТНЫЕ СХЕМЫ

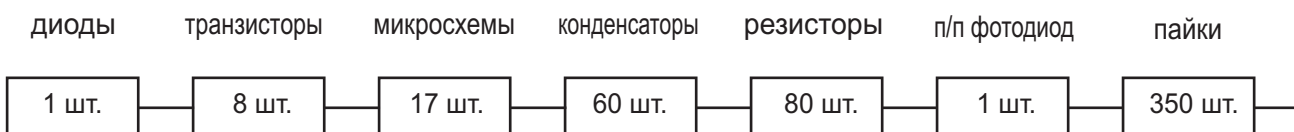
Надежностная схема волоконного датчика вращения выглядит следующим образом:



Надежностная схема оптического блока:



Надежностная схема блока электроники:



Интенсивность отказов компонентов блока электроники ОЕ141ФОС-3

Наименование компонента	Количество компонентов	Количество отказов за 1 млн. часов [$10^{-6}/ч$]
Диод	1	0.006
Транзистор	8	0.08
Микросхема	17	0.016
Конденсатор	60	0.016
Резистор	80	0.005
Полупроводниковый фотодиод	1	0.02
Пайки	350	0.0004

Интенсивность отказов компонентов оптического блока

Наименование компонента	Количество компонентов	Количество отказов за 1 млн. часов [$10^{-6}/ч$]
Согласование волокна и СЛД	1	0.4
СЛД (опция - увеличенный рабочий ток)	1	6.0 (12.0)
Волоконный контур (катушка)	1	0.3
Волокно между компонентами	1	0.12
Точки фиксации волокна	11	0.01
Поляризатор	1	0.95
Соединение проводников и ПК цилиндра	2	0.12
Пьезокерамический модулятор	1	0.02

3.3. ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА

Используя вышеприведенные данные по интенсивности отказов отдельных компонентов получаем следующие результаты:

- для оптического блока:

$$\lambda_{\text{ОБ}} = 1 \cdot 0.4 + 1 \cdot 6.0 + 1 \cdot 0.3 + 1 \cdot 0.12 + 11 \cdot 0.01 + 1 \cdot 0.95 + 2 \cdot 0.12 + 1 \cdot 0.02 = \mathbf{8.25 [10^{-6}/h]};$$

- для оптического блока датчиков с увеличенным рабочим током:

$$\lambda_{\text{ОБ}} = 1 \cdot 0.4 + 1 \cdot 12.0 + 1 \cdot 0.3 + 1 \cdot 0.12 + 11 \cdot 0.01 + 1 \cdot 0.95 + 2 \cdot 0.12 + 1 \cdot 0.4 = \mathbf{14.25 [10^{-6}/h]};$$

- для блока электроники:

$$\lambda_{\text{БЭ}} = 1 \cdot 0.006 + 8 \cdot 0.06 + 17 \cdot 0.016 + 60 \cdot 0.016 + 80 \cdot 0.005 + 1 \cdot 0.02 + 350 \cdot 0.0004 = \mathbf{2.44 [10^{-6}/ч]}.$$

Для итоговой оценки среднего времени наработки до отказа волоконного датчика вращения на основе вычисленных интенсивностей отказов для двух основных блоков датчика получаем

$$T = 10^6 / (\lambda_{\text{ОБ}} + \lambda_{\text{БЭ}}) = 93545 \text{ часов}$$

Для итоговой оценки среднего времени наработки до отказа датчиков с увеличенным рабочим током (малозумящих) получаем:

$$T = 10^6 / (14.25 + 2.44) = 59916 \text{ часов}$$

4. ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ

С точки зрения ограничения срока службы волоконного датчика вращения наиболее критичным компонентом является оптическое волокно, поскольку длинный кусок волокна (~ 100 м) находится внутри датчика в напряженном состоянии, что может приводить к росту микротрещин на его поверхности и в конечном итоге к разрушению волокна. Это явление называется статической усталостью стекла.

Для оценки срока службы оптического волокна обычно используют выражение

$$t = t_0 (\epsilon_n / \epsilon)^n,$$

где $n \approx 20$ – параметр статической усталости волокна, ϵ_n – относительное удлинение волокна при его перемотке под нагрузкой, ϵ – относительное удлинение волокна в процессе эксплуатации, t_0 – параметр, имеющий размерность времени.

Из приведенного выше соотношения следует, что если в процессе эксплуатации волокно удлинится до величины $\epsilon = \epsilon_n$, то его срок службы будет равен t_0 . Типичные значения этого параметра для отрезков волокна длиной **100 м** характеризуются величинами порядка секунды ($t_0 \approx 1 \text{сек}$).

Однако, если проводить оценку срока службы волокна для случая, когда его относительное удлинение в процессе эксплуатации ϵ составляет **0.3** и менее от относительного удлинения волокна при его перемотке под нагрузкой ϵ_n , то получаемая величина превышает десятки лет из-за большой величины параметра статической усталости n в показателе степени соотношения для вычисления срока службы оптического волокна.

Срок службы волокна увеличивается при уменьшении его относительного удлинения в процессе эксплуатации ϵ и стремится к бесконечности при ϵ стремящемся к 0.

Таким образом, если в процессе хранения/эксплуатации волокна его относительное удлинение ϵ не превышает **0.3 ϵ_n** , то срок службы в этом случае может быть оценен в десятки лет и более детальная оценка с практической точки зрения не требуется.

Деформация волокна в датчике вращения создается в процессе его изготовления (намотка чувствительного контура, укладка волокна и т.п.) и величина этой деформации сохраняется постоянной в течении всего периода хранения/эксплуатации датчика. Напряжение волокна возникает из-за того, что при намотке волокна на катушку или его укладке в корпус датчика волокно изгибается так, что внешний край оказывается длиннее оси волокна на πd , где d – диаметр кварцевой оболочки волокна. Учитывая, что длина одного витка волокна, намотанного на катушку диаметром D , равна примерно πD (при условии, что диаметр волокна в полимерном покрытии много меньше диаметра намотки), для относительного удлинения волокна ϵ получаем соотношение

$$\epsilon = d/D.$$

В датчиках вращения используется волокно, которое при изготовлении (вытяжке) перематывается на транспортные бобины с натяжением порядка **40 г**, обеспечивающем при этом относительное удлинение волокна $\epsilon_n = 0.5\%$. Чтобы обеспечить срок службы/хранения этого волокна более 15 лет, исходя из вышеизложенного, относительное удлинение волокна в процессе хранения/эксплуатации не должно превышать **0.15%**. Подставляя в соотношение для ϵ диаметр кварцевой оболочки волокна 40 мкм, получаем для минимально допустимого радиуса намотки волокна **D=2.5см**, что соответствует типичным радиусам намотки волокна в малогабаритных датчиках компании “Физоптика”.

Таким образом, приведенные данные позволяют прогнозировать срок службы/хранения, превышающий 15 лет, для волоконных датчиков вращения компании “Физоптика”.