УДК 621.81.(075)

К РАСЧЕТУ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ГЕНЕРАТОРОВ

Белуян З.А., Шемян Г.Г.

Ջ.Ա. Բելույան, Հ.Հ. Շեկյան

Գեներատորների առանցքակալային հանգույցների
նուսալիության և երկարակեցության հաշվարկի վերաբերյալ

Աշխատանքում բերված է սինխրոն գեներատորների առանցքակալային հանգույցների
նուսալիության և երկարակեցության հաշվարկման եղանակ, որը հաշվի է առնում վնասվածքների և
քայքայումների զարգացումը դեֆորմացիայի և մայան ընթացքում փոփոխական ուժերից և
չերմաստիճանից:

Ստացված են առանցքակալային հանգույցի անխափան աշխատանքի հավանականությունն ու
երկարակեցությունը հաշվարկելու ռեկուրենտ արտահայտություններ:

Z.A. Bellyan, G.G. Shekyan

On calculation of reliability and longevity of bearing packs of synchronous generators

В работе приведена методика расчета надежности подшипниковых узлов синхронных
генераторов мощностью до 100квт с учетом развития повреждения и разрушения в процессе
деформирования и изнашивания при переменных нагрузках и температурах.

Получены рекуррентные выражения для расчета вероятности безотказной работы и срока
службы подшипникового узла.

Вероятность безотказной работы подшипников узла синхронных
генераторов является одним из основных показателей при расчете на
надежность.

Статистическую оценку вероятности безотказной работы можно
получить, имея результаты испытаний на надежность достаточно больших
выборок. Вероятность отказа на отрезке $[0, t]$ можно выразить [1]

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (1)$$

где $P(t)$ – надежность рассматриваемого узла.

В расчетах на надежность широко применяется еще один показатель
– интенсивность отказа, который связан с функцией надежности
выражением [1].

$$\lambda(t) = -P'(t)/P(t) \quad (2)$$

Поскольку подшипники являются невосстанавливаемыми изделиями, то
время до первого отказа приобретает смысл срока службы. Тогда, считая
интенсивность отказа заданным при начальных условиях $P(0) = 1$, будем
иметь

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (3)$$

Ресурсные испытания и наблюдения над большими выборками
подшипниковых узлов синхронных генераторов показывают, что
интенсивность отказа изменяется по закону распределения Вейбулла и
имеет вид:

$$\lambda(t) = (t/t_c)^{\beta} \quad (4)$$

где t — назначенный срок службы подшипника, t_c — математическое ожидание плотности вероятности отказов.

Для подшипниковых узлов электрических машин математическое ожидание случайной величины будет [1]:

$$t_c = \sum_{i=1}^n t_{ci} t_i \quad (5)$$

где n — число наблюдений,

t_{ci} — вероятность случайной величины за время $t_i = \alpha_i T_p$,

T_p — расчетное время наработки подшипника.

Для генераторов мощностью до 100 квт при выборке 100 из каждого типоразмера получены следующие распределения вероятности случайной величины t_{ci} , приведенные в табл. 1.

Согласно значениям табл. 1 математическое ожидание t_c будет

$$t_c = 5.112 T_p$$

С учетом (3) и (5) надежность подшипникового узла выразится соотношением [2]

$$P(t) = \exp \left[- \frac{1}{5.112 T_p} t \right]^{\beta} \quad (6)$$

Таблица 1

Распределение вероятности t_{ci} для подшипниковых узлов генераторов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
t_{ci}	0.998	0.979	0.969	0.9588	0.95	0.9387	0.9287	0.9191	0.9097	0.9

Имея экспериментальные значения надежности подшипникового узла для произвольно выбранных i -ых промежутков времени, можно определить усредненное значение показателя β .

Усредненное значение показателя β с учетом (6) имеет вид [3]

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i(t))}{\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{t_i}{5.112 T_p} \right)} \quad (7)$$

где $P_i(t)$ — надежность подшипникового узла для i -го промежутка времени,

t_i — i -ый промежуток времени в долях T_p .

Усредненное значение β для синхронных генераторов мощностью до 100 квт будет $\beta = 1.34$.

Тогда окончательное выражение надежности подшипникового узла генераторов будет:

$$P_i = \exp \left[- \frac{t}{5112T_p} \right]^{24} \quad (8)$$

Здесь расчетное время наработки подшипника T_p с учетом динамических перегрузок и температурных воздействий определяется выражением [4]

$$T_p = L_n \exp \left[2 - \left(\frac{\Pi_k - \Pi_p}{\Pi_k - \Pi_0} \right)^{m_1} - \left(\frac{t_k - t_p}{t_k - t_0} \right)^{m_2} \right] \quad (9)$$

где Π_k – предельное число оборотов для данного типа подшипников.

Π_0 – минимальное число оборотов, при котором образуется масляная пленка, для испытываемых машин $\Pi_0 = 250 \div 300$.

Π_p – рабочая скорость вращения ротора.

t_0 – максимальная температура смазки, которая не влияет на срок службы подшипников данного типа смазки, $t_0 = 70^\circ \text{C}$.

t_k – температура каплепадения для данной смазки.

t_p – рабочая температура.

$$L_n = \frac{10^6}{60\Pi_p} \cdot \left(\frac{C}{Q} \right)^3 \text{ – долговечность подшипника:}$$

Q – эквивалентная нагрузка.

m_1, m_2 – постоянные, которые зависят от типа смазки и скорости вращения подшипника [3].

Для реализации методики расчета долговечности и надежности подшипниковых узлов генераторов составлена программа расчета на ЭВМ.

Сравнительные результаты расчетов и экспериментальных значений долговечности и надежности подшипниковых узлов генераторов серии ЕСС, ЕСС5, ОС и 2С приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты расчетов и экспериментальных значений долговечности подшипниковых узлов генератора

Тип двигателя	Расчетная долговечность по ГОСТу 18855-82 тыс.час	Расчетная долговечность по предложенной методике тыс.час	Экспериментальное значение долговечности тыс.час
ЕСС	1250	24.2	22.5
ЕСС	975	24.0	23.0
ОС	772	23.8	22.0
2С	652	24.0	20.0

Как видно из табл. 2 и 3, предложенная методика позволила за счет учета температурных и динамических воздействий на подшипниковый

узла уменьшить погрешность расчетной оценки долговечности и надежности.

Таблица 3

Результаты расчетов и экспериментальных значений надежности подшипниковых генераторов

Тип генератора	Расчетные значения ВБР по существующим методикам за 10.000 час	Расчет ВБР по предложенной методике	Экспериментальные значения ВБР
ЕСС	0.996	0.905	0.9
ЕСС5	0.994	0.91	0.9
СС	0.995	0.93	0.9
2С	0.999	0.9	0.89

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С., Овчеров Л.А. Теория вероятности. М.: Наука, 1973. 364с.
2. Шекян Г.Г. Расчет долговечности подшипников электрических машин. // Изв. ВУЗов. Электромеханика. №8. М.: 1989. С.38-41.
3. Шекян Г.Г. Выбор подшипников качения высокоскоростных электрических машин. //Электротехническая промышленность (ЭП). Сер. ЭМ, №10. Энергия, 1973. С.15-17.
4. Шекян Г.Г. Надежность подшипниковых узлов электрических машин, как функции от собственных вибраций. // Изв. АН Арм ССР. Сер. тех. наук. 1990. Т.ХLIII. №1. С.29-32.

Институт механики
НАН Армении
Государственный инженерный
университет Армении

Поступила в редакцию
4.12.2004