

«М. А. Гендельманнның 110 жылдыгына арналған «Сейфуллин окулары – 19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110 - летию М.А. Гендельмана» - 2023.- Т.І, Ч.ІІ.- С.65-68.

**УДК: 621.89.017**

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИЗНОСНОГО ИСПЫТАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ, РАБОТАЮЩИХ В АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ**

*Иргашев А. т.ф.д., профессор, Жураева Г. Ш. Доцент  
Ташкентский государственный технический университет им.  
И.Каримова, Узбекистан*

В народном хозяйстве республики используются различные машины и механизмы, подавляющее большинство которых эксплуатируется в сельском и водном хозяйстве, промышленном, социальном и дорожном строительстве.

Из-за того, что они работают в тяжелых условиях, в большинстве случаев, это бездорожье и сложные экологические условия, происходит интенсивное загрязнение смазочных материалов силовых передач. По этой причине происходит изнашивание деталей агрегатов с высокой скоростью, причём количество отказов, происходящих в агрегатах силовых передач составляет 43,3% от общего количества отказов, затраты средств на устранение отказов составляют 54,3% от общих затрат на ремонт машин. Поэтому требуется периодическая оценка технического состояния и экспресс диагностика износа деталей агрегатов вышеуказанных машин и механизмов в процессе их эксплуатации, позволяющая прогнозировать возникновение неисправности агрегатов из-за износа их деталей. Это требует полной или частичной разборки агрегата, которая в свою очередь приводит к возникновению неточности при установке детали на посадочную поверхность в процессе ее сборки, а также к большим затратам времени и материальных ресурсов на сборочные операции.

В процессе трения за каждом цикле нагружения зубьев шестерен, концентрация активных абразивных частиц в масле агрегата постоянно меняется. Это является результатом дробления и поступления свежей порции абразивных частиц из окружающей среды [1]. Поэтому при расчете продолжительности износного испытания зубьев шестерен необходимо учитывать закономерности изменения их активности в процессе замкнутой циркуляции масла в агрегате. Анализ состояния, данного вопроса показал, что в литературных источниках данный вопрос недостаточно освещен, в основном ограничиваются изучением процесса дробления абразивных частиц.

Методика расчета продолжительности износного испытания предусматривает приближении условия испытания к реальным условиям

эксплуатации агрегата. Исходя из общей концентрации абразивных частиц в масле при стендовом испытании, в масла агрегата периодически порциями добавляют абразивные частицы.

Масса одной порции абразивных частиц, добавляемые в масло, при испытании на износостойкость составляет:

$$G_1 = \delta_z k_l G_m, \text{ кг},$$

(1)

где  $\delta_z$  - изменение концентрации абразивных частиц в масле агрегата за один цикл нагружения зубчатой пары, когда в масла поступает новой порции абразивных частиц извне, %/об;  $G_m$ -количества масла, заливаемое в агрегат, кг;  $k_l$ - количество циклов нагружения за время испытания одной порции абразивных частиц[2,3].

Продолжительность износного испытания первой порции абразивных частиц в масле агрегата составляет:

$$t_1 = \frac{G_1}{3600 n_k \delta_z G_m}, \text{ ч},$$

(2)

где  $n_k$ - частота вращения ведомой шестерни агрегата, об/с.

Количество порций абразивных частиц, добавляемые в масла агрегата в процессе испытания на износостойкость, равно:

$$n_n = \frac{G_a}{G_1} = \frac{\varepsilon_{\max}}{3600 n_k \delta_z t_1}$$

(3)

где  $G_a$  – общее количество абразивных частиц в масле агрегата, кг.

Продолжительность испытания на износостойкость без учета соответствия концентрации активных абразивных частиц к эксплуатационным условиям агрегата:

$$t = t_1 n_n = \frac{\varepsilon_{\max}}{3600 n_k \delta_z}, \text{ ч}.$$

(4)

Рассмотрим закономерности изменения концентрации активных абразивных частиц в масле агрегата после добавления каждой порции, в зависимости от количества циклов нагружения.

Первой порции:  
до дробления

$$\varepsilon_{k1} = \varepsilon_1,$$

(5)

где  $\varepsilon_1$ - концентрация абразивных частиц в масле агрегата после добавления первой порции;  
после дробления,

$$\varepsilon_{k1(\partial)} = \varepsilon_1(1-B)^{k1}$$

(6)

где  $k1$ - количества циклов дробления абразивных частиц;  $B$  – доля раздробленных абразивных частиц в масле агрегата за один цикл нагружения ведомой шестерни,

$$B = \frac{2n_1 m d_{cp} L \gamma_m k_p}{G_m}$$

(7)

здесь  $n_1$ - количество пар шестерен в агрегате, окунающихся в масло;  $m$  - модуль зацепления,  $d_{cp}$  - средний размер абразивных частиц,  $\gamma_m$  - плотность масла,  $k_p$  - коэффициент учитывающий неоднородность размера абразивных частиц в масле агрегата,  $G_m$ - количества масла в агрегате.

Второй порции:

до дробления

$$\varepsilon_{k2} = \varepsilon_{k1(\partial)} + \varepsilon_1 = \varepsilon_1(1 + (1 - B^{k1}));$$

(8)

после дробления

$$\varepsilon_{k2(\partial)} = \varepsilon_{k2}(1-B)^{k1} = \varepsilon_1((1-B)^{k1} + (1-B)^{2k1})$$

(9)

Аналогично  $n$  - порции:

до дробления

$$\varepsilon_{kn} = \varepsilon_1(1 + (1-B)^{k1} + (1-B)^{2k1} + \dots + (1-B)^{(n-1)k1}),$$

(10)

из формулы суммы членов геометрической прогрессии имеем:

$$\varepsilon_{kn} = \frac{\varepsilon_1(1 - (1-B)^{(n-1)k1})}{1 - (1-B)^{k1}},$$

(11)

после дробления

$$\varepsilon_{kn(\partial)} = \frac{\varepsilon_1(1-B)^{k1}(1 - (1-B)^{nk1})}{1 - (1-B)^{k1}}$$

(12)

Для сравнения расчетной общей продолжительности испытания на износостойкость на стендовых испытаниях и в эксплуатационных условиях могут быть два нижеприведенных вариантов[4,5].

1. Когда концентрация абразивных частиц в масле агрегата в конце испытания меньше, чем в эксплуатационных условиях, она описывается выражением:

$$\frac{\varepsilon_{kn(\partial)}}{(1-B)^{k2}} = \varepsilon_k$$

(13)

где  $k2$  - количество, циклов нагружения ведомой шестерни агрегата, недостающих до эксплуатационного, соответствующих одному сроку замены масла в агрегате.

Решив выражение (2) относительно  $k2$ , получим:

$$k2 = \frac{\ln \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_{kn(\partial)}}}{\ln(1-B)}$$

(14)

Время, затраченное на совершение  $k2$  циклов нагружения,

$$t2 = \frac{k2}{3600n_k} = \frac{\ln \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_{kn(\partial)}}}{3600n_k \ln(1-B)}$$

(15)

Тогда общая продолжительность испытания на износостойкость будет:

$$t_{o1} = t + t_2 = \frac{\varepsilon_{\max}}{3600\delta_z n_k} + \frac{\ln \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_{kn(\partial)}}}{3600n_k \ln(1-B)} \quad (16)$$

где  $\varepsilon_{\max}$  - начальная концентрация абразивных частиц в масле агрегата, %.

2. Концентрация активных абразивных частиц в масле агрегата в конце испытания на износостойкость превышает эксплуатационную, т.е;

$$\frac{\varepsilon_{kn(\partial)}}{(1-B)^{k3}} = \varepsilon_k$$

(17)

где  $k3$  - количества циклов нагружения, превышающих эксплуатационную за один срок замены масла в агрегате.

Решив выражение (4) относительно  $k3$ , получим:

$$k3 = \frac{\ln \frac{\varepsilon_{kn(\partial)}}{\varepsilon_k}}{\ln(1-B)}$$

(18)

Время, затраченное на совершение  $k3$  циклов нагружения[6]

$$t_3 = \frac{k3}{3600n_k} = \frac{\ln \frac{\varepsilon_{kn(\partial)}}{\varepsilon_k}}{3600n_k \ln(1-B)}$$

(19)

Тогда общая продолжительность испытания на износостойкость,

$$t_{o1} = t - t_3 = \frac{\varepsilon_{\max}}{3600n_k\delta_z} - \frac{\ln \frac{\varepsilon_{kn(\partial)}}{\varepsilon_k}}{3600n_k \ln(1-B)}, \quad (20)$$

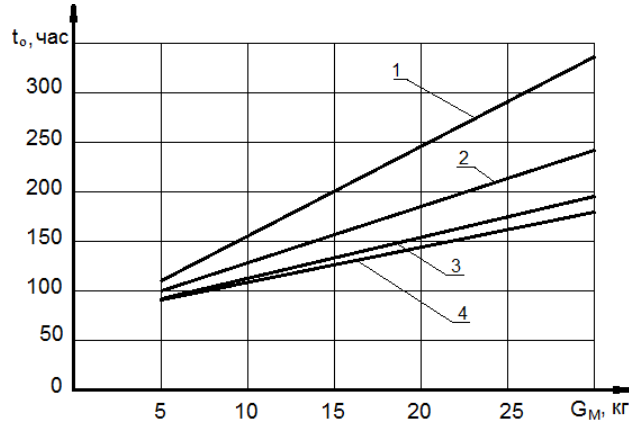


Рисунок 1 – Продолжительность испытания материалов зубчатых колес на износостойкость, при периодически изменяющихся концентрациях абразивных частиц, от массы заправки агрегата маслом:

1 -  $m=0,005$  м; 2 -  $m=0,010$  м; 3 -  $m=0,015$  м; 4 -  $m=0,020$  м

Зависимости на рисунке 1 получены из выражений (3) или (5) при следующих исходных данных:  $\varepsilon_{\max} = 1,3\%$ ;  $\varepsilon_1 = 0,16\%$ ;  $n_k = 5$  об/с;  $\varepsilon_k = 0,25\%$ ;  $\delta_z = 6,5 \cdot 10^7$  %/об;  $n_1 = 2$ ;  $n_n = 8$ ;  $d_{cp} = 0,000012$  м;  $L = 0,058$  м;  $\gamma_M = 910$  кг/м<sup>3</sup>;  $k_p = 0,5$ .

Таким образом, из полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что при стендовом испытании с периодическим добавлением абразивных частиц увеличение модуля зацепления приводит к уменьшению продолжительности испытания, в связи с увеличением доли раздробленных абразивных частиц за один цикл нагружения.

#### Список использованной литературы

1 Juraeva G., Mamasolieva M., Maxmudova N., Mathematical modeling of the theory of salt and salt dust IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1112(1), 012134

2 Mirzaev N.N., Zhuraeva G.Sh., Hamroev R.K. The use of soft wall containers for transporting vegetables international Conference of Young Scientists Energy Systems Research, E3S Web of Conferences, 2021, 289, 07029

3 Иргашев А. Методика расчета износостойкости зубчатых передач агрегатов машин, работающих в абразивной среде: Вестник ТашГТУ 2013. № 4 С.95-101.

4 Иргашев А, Мирзаев Н.Н., Иргашев Д. А. Оценка износа деталей агрегатов машин по концентрациям продуктов износа в масле. Монография – Ташкент, ТашГТУ, 2012. – 160 с.

5 Икрамов У.А., Иргашев А., Махкамов К.Х. Расчётная модель для оценки износостойкости зубчатых передач по концентрациям продуктов износа в масле. Журнал. Трение и износ. 2003. Том 24, № 6. 620-625с.