УДК 621.891

Оценка динамических показателей и повышение износостойкости эвольвентных зубчатых передач при использовании пленкообразующих смазочных материалов

С.А. Поляков[1,2], Л.И. Куксенова[1,2], Е.М. Кулешова[1], А.В. Медовщиков[1]

[1]*Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, г. Москва 105005, Россия*

[2]*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, г. Москва 101000, Россия*

Поступила в редакцию 30.05.2022.
После доработки 19.02.2023.
Принята к публикации 21.02.2023.

Рассмотрены проблемы существующих методик оценки долговечности эвольвентных зубчатых передач (ЭЗП), связанные с определением величины предельно допустимого износа и с прогнозированием возникновения внезапного отказа. Описана взаимосвязь динамических показателей с процессами изнашивания в ЭЗП, позволяющая прогнозировать ограничение ресурса по характеру роста коэффициента динамичности в связи с ростом вероятности заедания. Приведены результаты анализа амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) передачи методом быстрого преобразования Фурье, которые позволили оценить динамичность передачи с разными смазочными материалами (СМ) и ранжировать эти материалы по их противозадирному действию в зависимости от величины нагружающего момента. Показано, что по мере повышения антифрикционных свойств СМ происходит и снижение роста коэффициента динамичности по мере роста нагружающего момента (при использовании пленкообразующей добавки предельное значение коэффициента динамичности достигается при нагружающем моменте 2,47 Н·м, а в случае использования чистого синтетического масла предельное значение коэффициента динамичности достигается при нагружающем моменте 2,39 Н·м), это в свою очередь, приводит к повышению величины предельно допустимого износа и к увеличению ресурса по критерию изнашивания (в случае использования синтетического масла с пленкообразующей добавкой ресурс ЭЗП выше в 10—11 раз, чем в случае использования чистого синтетического масла). Выявлена зависимость амплитуды колебаний вращающего момента на быстроходном валу ЭЗП от вида СМ. Предложена новая методика прогнозирования ресурса ЭЗП, с учетом роста коэффициента динамичности.

Ключевые слова: эвольвентные зубчатые передачи, изнашивание, ресурс, коэффициент динамичности, интенсивность изнашивания, долговечность, смазочные материалы, пленкообразующие добавки, износ, заедание, износостойкость.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84

Адрес для переписки:
Е.М. Кулешова
Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, г. Москва 105005, Россия
e-mail: kuleshova.em@mail.ru

Address for correspondence:
E.M. Kuleshova
Moscow State Technical University, named after N.E. Bauman,
ul. 2-ia Baumanskaia, d. 5, Moscow 105005, Russia
e-mail: kuleshova.em@mail.ru

Для цитирования:
С.А. Поляков, Л.И. Куксенова, Е.М. Кулешова, А.В. Медовщиков.
Оценка динамических показателей и повышение износостойкости эвольвентных зубчатых передач при использовании пленкообразующих смазочных материалов.
Трение и износ.
2023. – Т. 44, № 1. – С. 76–84.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84

For citation:
S.A. Polyakov, L.I. Kuksenova, E.M. Kuleshova, and A.V. Medovshchikov.
[Evaluation of Dynamic Parameters and Improvement of Wear Resistance of Involute Gears when Using Film-Forming Lubricants].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 1, pp. 76–84 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84

Evaluation of Dynamic Parameters and Improvement of Wear Resistance of Involute Gears when Using Film-Forming Lubricants

S.A. Polyakov[1,2], L.I. Kuksenova[1,2], E.M. Kuleshova[1], and A.V. Medovshchikov[1]

[1]*Moscow State Technical University, named after N.E. Bauman,*
ul. 2-ia Baumanskaia, d. 5, Moscow 105005, Russia

[2]*Institute of Machines Science, named after A.A. Blagonravov, Russian Academy of Sciences,*
Malyi Haritonevskii pereulok, d. 4, Moscow 101990, Russia

Received 30.05.2022.
Revised 20.02.2023.
Accepted 21.02.2023.

Abstract

The article describes the problems of existing methods for assessing the durability of involute gears associated with determining the maximum permissible wear and predicting the occurrence of sudden failure. The relationship of dynamic indicators with wear processes in involute gears is described, which makes it possible to predict resource limitation by the nature of the growth of the dynamic coefficient due to the increase in the probability of jamming. The results of the analysis of the amplitude-frequency response of the transmission by the fast Fourier transform method are presented, which allowed not only to evaluate the dynamism of the transmission with different lubricants, but also to rank these materials by their extreme pressure action depending on the magnitude of the loading moment, at a given limit value of the dynamic coefficient. It is shown that as the antifriction properties of the lubricant increase, the growth of the dynamism coefficient decreases as the loading moment increases (when using a film-forming additive, the limiting value of the dynamism coefficient is reached at a loading torque of 2.47 N·m, and in the case of using pure synthetic oil, the limiting value of the dynamism coefficient is reached at a loading torque of 2.39 N·m), this in turn leads to an increase in the maximum permissible wear and to an increase in the resource according to the wear criterion (in the case of using synthetic oil with a film-forming additive, the resource of the involute gear is 10—11 times higher than in the case of using pure synthetic oil).The dependence of the amplitude of the torque oscillations on the high-speed shaft of the involute gear transmission on the type of lubricant is revealed. Analytical dependences of the dynamic coefficient on the load for different lubricants are obtained. The dependence of the wear limit on the type of lubricant is proposed. A new method of predicting the resource of an involute gear is proposed, taking into account the growth of the dynamic coefficient.

Keywords: involute gears, wear, service life, dynamic coefficient, wear intensity, durability, lubricants, film-forming additives, wear, jamming, wear resistance.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84

Адрес для переписки:
Е.М. Кулешова
Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, г. Москва 105005, Россия
e-mail: kuleshova.em@mail.ru

Address for correspondence:
E.M. Kuleshova
Moscow State Technical University, named after N.E. Bauman,
ul. 2-ia Baumanskaia, d. 5, Moscow 105005, Russia
e-mail: kuleshova.em@mail.ru

Для цитирования:
С.А. Поляков, Л.И. Куксенова, Е.М. Кулешова, А.В. Медовщиков.
Оценка динамических показателей и повышение износостойкости эвольвентных зубчатых передач при использовании пленкообразующих смазочных материалов.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 5. – С. 76–84.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84

For citation:
S.A. Polyakov, L.I. Kuksenova, E.M. Kuleshova, and A.V. Medovshchikov.
[Evaluation of Dynamic Parameters and Improvement of Wear Resistance of Involute Gears when Using Film-Forming Lubricants].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 5, pp. 76–84 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84

Список использованных источников

1. **Павлов В.Г.** Влияние контактно-кинематического проскальзывания в зубчатом зацеплении на износ и КПД цилиндрических эвольвентных зубчатых передач // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2010, № 4, 81—85
2. **Андриенко Л.А., Вязников В.А.** Влияние изнашивания на динамические нагрузки в червячной передаче. // Известия вузов. Машиностроение. — 2011, № 9, 18—22
3. **Решетов Д.Н.** Детали машин. Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. 4-ое издание, переработанное и дополненное. — М.: Машиностроение. — 1989
4. **Moshkovich A., Lapsker I., Feldman Y., and Rapoport L.** Severe Plastic Deformation of Four FCC Metals During Friction under Lubricated Conditions // Wear. — 2017 (**386—387**), 49—57
5. **Moshkovich A., Perfilyev V., and Rapoport L.** Effect of Plastic Deformation and Damage Development During Friction of FCC Metals in the Conditions of Boundary Lubrication // Lubricants. — 2019 (**7**), no. 5, 45
6. **Mai Y.J., Chen F.X., Zhou M.P., Xiao Q.N., and Jie X.H.** Anchored Graphene Nanosheet Films Towards High Performance Solid Lubricants // Materials & Design. — 2018 (**160**), 861—869
7. **Fontanari V., Benedetti M., Girardi C., and Giordanino L.** Investigation of the Lubricated Wear Behavior of Ductile Cast Iron and Quenched and Tempered Alloy Steel for Possible Use in Worm Gearing // Wear. — 2016 (**350—351**), 68—73
8. **Zakharov M.N. et al.** Improving Worm-Gear Performance by Optimal Lubricant Selection in Accelerated Tests // Russian Engineering Research. — 2015 (**35**), no. 4, 253—255. DOI: 10.3103/S1068798X15040206
9. **Поляков С.А., Бурумкулов Ф.Х., Куксенова Л.И.** Оценка работоспособности трибосистем на основе экстремальных показателей их динамической адаптации // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2009, № 10, 12—17
10. **Берестнев О.В., Гоман А.М., Ишин Н.Н.** Аналитические методы механики в динамике приводов. — Минск: Наука и техника. — 1992
11. **Куксенова Л.И., Поляков С.А., Кулешова Е.М., Рубцов С.В.** Влияние качества смазочного материала на показатели энергоэффективности эвольвентных зубчатых передач // Вестник научно-технического развития. — 2019, № 7(143), 30—35

References

1. **Pavlov V.G.** Effect of Contact-Kinematical Slippage in Toothing on Deterioration and Efficiency of Cylindrical Involute Gears // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2010 (**39**), no. 4, 371—374
2. **Andrienko L.A., Vyaznikov V.A.** Vliyanie iznashivaniya na dinamicheskie nagruzki v chervyachnoj peredache. // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. — 2011, № 9, 18—22 (in Russian)
3. **Reshetov D.N.** Detali mashin. Uchebnik dlya studentov mashinostroitel'ny'x i mexanicheskix special'nostej vuzov. 4-oe izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. — M.: Mashinostroenie. — 1989 (in Russian)
4. **Moshkovich A., Lapsker I., Feldman Y., and Rapoport L.** Severe Plastic Deformation of Four FCC Metals during Friction under Lubricated Conditions // Wear. — 2017 (**386—387**), 49—57
5. **Moshkovich A., Perfilyev V., and Rapoport L.** Effect of Plastic Deformation and Damage Development during Friction of FCC Metals in the Conditions of Boundary Lubrication // Lubricants. — 2019 (**7**), no. 5, 45
6. **Mai Y.J., Chen F.X., Zhou M.P., Xiao Q.N., and Jie X.H.** Anchored Graphene Nanosheet Films Towards High Performance Solid Lubricants // Materials & Design. — 2018 (**160**), 861—869
7. **Fontanari V., Benedetti M., Girardi C., and Giordanino L.** Investigation of the Lubricated Wear Behavior of Ductile Cast Iron and Quenched and Tempered Alloy Steel for Possible Use in Worm Gearing // Wear. — 2016 (**350—351**), 68—73
8. **Zakharov M.N. et al.** Improving Worm-Gear Performance by Optimal Lubricant Selection in Accelerated Tests // Russian Engineering Research. — 2015 (**35**), no. 4, 253—255. DOI: 10.3103/S1068798X15040206
9. **Polyakov S.A., Burumkulov F.Kh., Kuksenova L.I.** Otsenka rabotosposobnosti tribosistem na osnove ehkstremal'nykh pokazatelei ikh dinamicheskoi adaptatsii // Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmakh. — 2009, № 10, 12—17 (in Russian)
10. **Berestnev O.V., Goman A.M., Ishin N.N.** Analiticheskie metody mekhaniki v dinamike privodov. — Minsk: Nauka i tekhnika. — 1992 (in Russian)
11. **Kuksenova L.I., Polyakov S.A., Kuleshova E.M., Rubtsov S.V.** Vliyanie kachestva smazochnogo materiala na pokazateli ehnergoehffektivnosti envol'ventnykh zubchatykh peredach // Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya. — 2019, № 7(143), 30—35 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by