
Инженерно-технические науки

Engineering and technical sciences

УДК 621.8

КОНЦЕПЦИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Б.Р. Киселев, А.А. Мельников.

Ивановский государственный химико-технологический университет

Рассматривается концепция комплексного решения задачи повышения антифрикционных свойств зубчатых передач. Эта проблема заключается, с одной стороны, в рассмотрении относительного ускорения скольжения поверхностей зубьев, с другой – в применении специального смазочного материала в зоне зацепления. Ускоренное скольжение зубьев является причиной выталкивания смазки и засасывания ее из свободной зоны в зону непосредственного контакта зубьев. В этот момент происходит резкий переход от гидродинамического к граничному трению. Возникают силы инерции в твердых добавках смазочного материала. Они способствуют транспортировке частиц в зону контакта, заполняя впадины шероховатостей зубьев и образуя адгезионные связи со стальными поверхностями за счет давления и температуры. Для повышения антифрикционных свойств данной трибосистемы создана эффективная смазочная композиция, в составе которой содержатся поверхностно-активные вещества и модифицированный слоистый вермикулит.

Ключевые слова: зубчатая передача, скорость, ускорение, скольжение, трение, смазочный материал, вермикулит.

Зубчатые передачи являются наиболее распространенными в машинах и технологическом оборудовании, так как применение этих передач оказывается технико-экономически целесообразным. Благодаря фундаментальным исследованиям в области кинематики, динамики, технологий нарезания и изготовления зубчатых колес, в новых конструкциях надежность работы передач поднялась на более высокий качественный уровень [1,2,3]. Вместе с тем, современная промышленность предъявляет к машинам новые требования, связанные с повышением производительности, а значит, скоростных и нагрузочных параметров. В этой связи, задачи повышения противо-

задирной стойкости и заедания зубчатых передач остается актуальной. Триботехнические условия взаимодействия зубьев передач оказывают весьма существенное влияние на их ресурс. Современные задачи повышения работоспособности, износостойкости зубчатых передач решаются более успешно в комплексной системе исследуемого объекта, то есть представление «слона» должно быть целиком, а не по отдельным его частям: «хобот», «клык», «ухо» и т.д. Имеется в виду, что исследуемый объект должен быть рассмотрен не только с трибологической точки зрения, но и с кинематической, динамической, условиями зацепления, на-

резания, регулированием качественных и др. показателей зубчатой передачи.

Практика нуждается в некотором объективном показателе, который бы позволил определить величину взаимного скольжения профилей зубьев передачи, так как данный фактор является основной причиной изнашивания. Скорость скольжения $V_{СК}$ эвольвентных профилей зубьев внешнего зацепления определяется выражением [4]:

$$V_{СК} = L_K(\omega_1 + \omega_2), \quad (1)$$

где L_K – расстояние от точки контакта до полюса зацепления;

ω_1, ω_2 – угловые скорости, соответственно шестерни и колеса.

Для количественной оценки износа рассматривается понятие коэффициента скорости скольжения λ , для произвольной точки, каждого из сопряженных профилей:

$$\lambda = V_{СК}/V_K, \quad (2)$$

где V_K – касательная составляющая скорости точки профиля, находящейся в данный момент в контакте.

Характер изменения коэффициента скольжения, в процессе зацепления одной пары зубьев, представлен на графике (рис. 1, а и б)

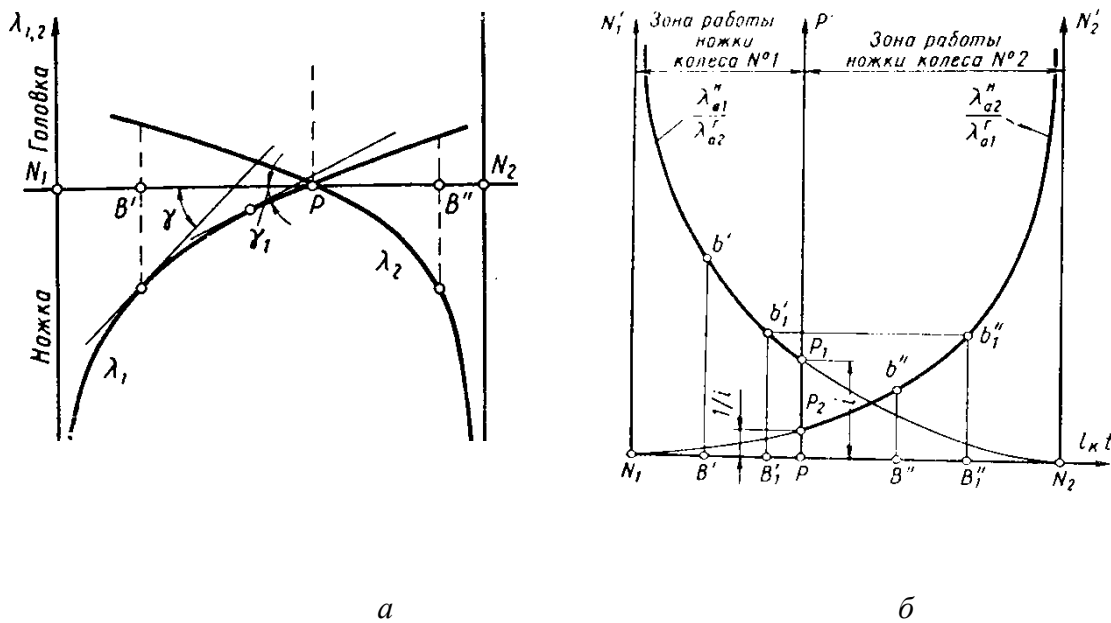


Рис. 1. Закономерность изменения коэффициентов скольжения (а) и ускоренного скольжения внешнего зацепления (б)

Кривые λ_1 и λ_2 показывают, что коэффициенты скольжения у ножек колес возрастают, при приближении к точкам рабочей линии зацепления B', B'' , обращаясь в бесконечность в точках N_1 и N_2 , а в полюсе равны нулю. Однако опыт эксплуатации эвольвентных зубчатых передач показывает, что износ происходит всегда в околуполюсной зоне и всегда на ножках зубьев, особенно у шестерни. К

сожалению, теория скупко объясняет такое положение вещей. Анализ технической литературы подтверждает, что закономерность (рис.1,а) не дает ответа, в отношении истирания зубьев. По мнению В.А. Гавриленко [5], в этой проблеме основную роль играет не коэффициент скольжения, а ускоренное скольжение зубьев λ_a , которое является первой производной λ по времени t ($d\lambda/dt$). Геомет-

рически λ_a есть $\operatorname{tg} \gamma$ кривых $\lambda_{1,2}$ к оси абсцисс (линии зацепления $N_1 - N_2$, рис.1,а). Закономерность изменения коэффициентов ускоренного скольжения представлена на рис.1,б. Для того, чтобы было возможно сравнить закономерности работы зацепления колес, на рис.1,б представлены кривые отношений $\lambda_{a1}^H / \lambda_{a2}^H$ и $\lambda_{a2}^H / \lambda_{a1}^H$. Интенсивность износа в околополюсной зоне теоретически обоснована скачком $P_1 - P_2$ и практически доказана Г.К. Трубиным [6]. Если рабочий участок линии зацепления расположен так, как на графике (рис.1,б), то можно утверждать, что ножка шестерни – 1 имеет большее ускорение скольжения, чем ножка колеса – 2. Очевидно, что, путем подбора смещения нарезания зубьев колес, можно уравнивать коэффициенты ускоренного скольжения ножек зубьев обоих колес. Это один из способов регулирования износа зубьев у колес передачи, так как чем больше относительное ускорение зубьев, тем больше износ. Второй способ – триботехнический фактор, зависящий от первого [7]. Масляный слой есть третье тело (два тела - трущиеся поверхности) в рассматриваемой трибосистеме, оно ускоренно перемещается относительно боковой поверхности зуба, что с одной стороны способствует выталкиванию смазки из контакта зубьев и, с другой стороны, ее засасыванию из свободной зоны в контакт зацепления. В этот момент происходит резкий переход от гидродинамического к гра-

ничному трению. Можно предположить, что масло, при ускоренном относительном движении, будет нагнетаться в трещины и впадины шероховатости. Этот процесс во многом зависит от скорости, давления, температуры и от приведенного радиуса кривизны сопрягаемых поверхностей зубьев.

Из вышесказанного можно принять гипотезу: повышения антифрикционной эффективности смазочного материала за счет внесения твердых модифицированных добавок, для повышения износостойкости работы зубчатых передач. Теория заключается в том, что в динамическом процессе смазывания, под действием сил инерции, твердые частицы принудительно транспортируются в зону контакта зубьев, внедряясь во впадины шероховатости и, тем самым заполняя свободные объемы, приликая к стальным поверхностям.

Результаты исследований смазочной композиции с поверхностно-активными веществами и добавкой модифицированного вермикулита [8] подтвердили гипотезу повышения антифрикционной эффективности в испытаниях на машине трения. Результаты испытаний модели зубчатой пары трения, о влиянии на показатели антифрикционности смазочной композиции с ПАВ и добавками модифицированного вермикулита, представлены на рис. 2.

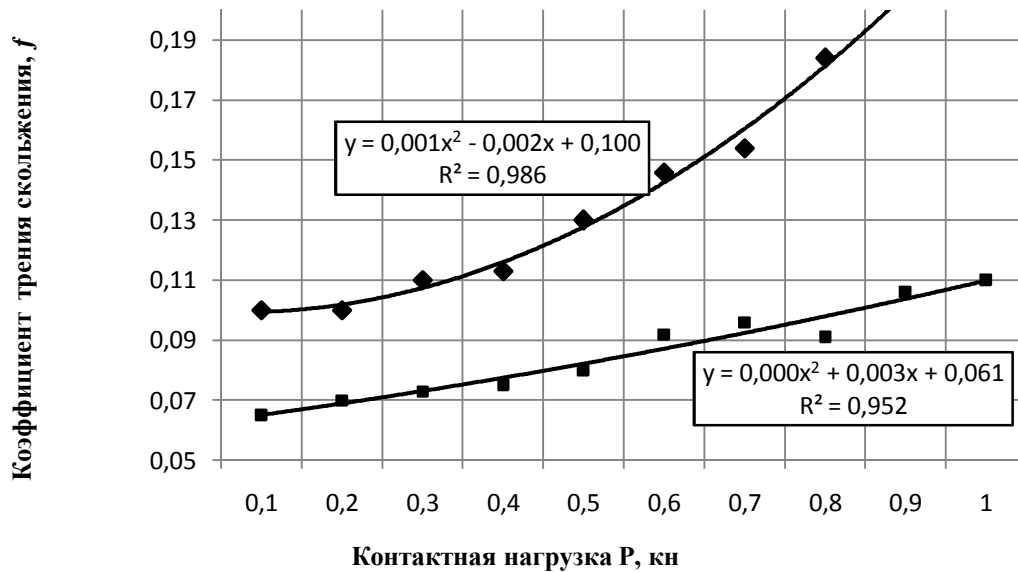


Рис. 2. Закономерности изменения коэффициента трения скольжения трибосистемы в зависимости от контактной нагрузки при скорости $V_S = 1\text{ м/с}$:

◆ – масло И-40А; ■ – новая смазочная композиция

Для описания экспериментальных кривых, зависимости коэффициента трения от нагрузки в трибоконтакте, предложена модель типа (3):

$$f = aP^2 \pm bP + c, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения;

P – контактная нагрузка, кН;

a, b, c – коэффициенты модели.

Коэффициент « a » модели отражает зависимость напряжения сдвига от нагрузки приповерхностных слоев, участвующих в процессе трения. Коэффициент « b » показывает зависимость упругости (восстанавливающей способности) граничных слоев от нагрузки. Коэффициент модели « c » показывает состояние поверхностей трения, которые, независимо от нагрузки, имеют определенное строение (шероховатость, волнистость и т.п.).

Анализируя модели $f = f(P)$ можно сделать вывод, что модифицированный вермикулит в смазочной композиции уменьшает напряжение сдвига припо-

верхностных слоев, способных к относительному слоистому скольжению между стальными поверхностями. Напряжение сдвига, в сравнении с базовым маслом И-40А, уменьшается в 15 раз. Упругость граничных слоев соответствует коэффициенту $b = 0,0034$. Предполагаем, что связь частиц модифицированного вермикулита со стальной поверхностью является адгезионной. Коэффициент « c » в моделях показывает, что модифицированный вермикулит улучшает состояние поверхностей трения.

Таким образом, модельные испытания смазочной композиции, с ПАВ и добавками модифицированного вермикулита, подтвердили теоретические предпосылки повышения антифрикционности стальной пары трения. Это дает основание прогнозировать работу зубчатой передачи, при использовании разработанной смазочной композиции, для получения высоких антифрикционных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
2. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991. 318 с.
3. Гришко В.А. Повышение износостойкости зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
4. Машков А.А. Теория механизмов и машин. Минск: Высшая школа. 1971, 469 с.
5. Гавриленко В.А. Основы теории эвольвентной зубчатой передачи. М.: Машиностроение, 1969. 531 с.
6. Трубин Г.К. Контактная усталость материалов для зубчатых колёс. М: Mashgiz. 1962. 404 с.
7. Бойцова В.В., Замятина И.И., Киселев Б.Р. Адаптивные свойства качественной и ускоренной приработки червячной передачи // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2017. №2 (50). С. 76-85.
8. Киселев Б.Р., Замятина И.И., Колобов М.Ю., Мельников А.А., Смирнов Д.В., Аллавердиев Р.Э. Способ получения смазочной композиции. Патент на изобретение РФ № 2604202, Бюл. № 34, 2016.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.2018

THE CONCEPT OF THE TRIBOTEHNICHESKY DECISION OF THE PROBLEM OF INCREASE OF ANTI-FRICTIONAL PROPERTIES OF TOOTH GEARINGS

B. Kiselyov, A. Melnikov

The concept of the complex decision of a problem of increase of anti-frictional properties of tooth gearings is considered. This problem consists, on the one hand, in consideration of relative acceleration of sliding of surfaces of teeth, with another - in application of special lubricant in a gearing zone. The accelerated sliding of teeth is at the bottom of pushing out of greasing and suction it from free zone in a zone of direct contact of teeth. At this moment there is a sharp transition from hydrodynamic to a boundary friction. There are forces of inertia in firm additives of lubricant. They promote transportation of particles in a contact zone, filling hollows of roughnesses of teeth and forming adhesive communications with steel surfaces at the expense of pressure and temperature. For increase of anti-frictional properties of given tribosystem the effective lubricant composition, in which structure surface-active substances and modified layered vermiculite. contain is created.

Key words: gear drive, speed, acceleration, sliding, friction, lubricant, vermiculite.

References

1. Drozdov YU.N., Pavlov V.G., Puchkov V.N. Trenie i iznos v ehkstreml'nyh usloviyah. M.: Mashinostroenie, 1986. 224 s.
2. Kogaev V.P., Drozdov YU.N. Prochnost' i iznosostojkost' detalej mashin. M.: Vysshaya shkola, 1991. 318 s.
3. Grishko V.A. Povyshenie iznosostojkosti zubchatyh peredach. M.: Mashinostroenie, 1977. 232 s.
4. Mashkov A.A. Teoriya mekhanizmov i mashin. Minsk: Vyshehshaya shkola. 1971, 469 s.
5. Gavrilenko V.A. Osnovy teorii ehvol'ventnoj zubchatoj peredachi. M.: Mashinostroenie, 1969. 531 s.
6. Trubin G.K. Kontaktnaya ustalost' materialov dlya zubchatyh kolyos. M: Mashgiz. 1962.404 s.
7. Bojцова V.V., Zamyatina I.I., Kiselev B.R. Adaptivnye svojstva kachestvennoj i uskorennoj prirabotki chervyachnoj peredachi. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, Regional'noe prilozhenie. 2017. №2 (50). S. 76-85.
8. Kiselev B.R., Zamyatina N.I., Kolobov M.YU., Mel'nikov A.A., Smirnov D.V., Allahverdiev R.EH. Sposob polucheniya smazochnoj kompozicii. Patent na izobretenie RF № 2604202, Byul. № 34, 2016.