



УДК 621.771.07

Е.А. Пузик
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: ekshalimova@mail.ru

А.А. Филатов
ГНЦ РФ АО АХК «ВНИИМЕТМАШ»
г. Москва, Россия
e-mail: smm93@list.ru
Дата поступления 18.04.2016

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЬЕЗОКОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ В НАГРУЖЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Аннотация

Описана методика определения пьезокоэффициента вязкости смазочного материала, которая, в отличие от существующих, позволяет определить значения данного коэффициента с учётом влияния высоких температур, генерируемых в масляном слое, разделяющем контактирующие тела в нагруженной зоне. Приведены результаты обработки экспериментальных данных и аналитические зависимости, позволяющие определить значения пьезокоэффициента вязкости смазочного материала для четырёх классов вязкости смазочного материала.

Ключевые слова: пьезокоэффициент вязкости минерального масла, коэффициент толщины масляной плёнки, эластогидродинамический расчёт, подшипник качения.

Введение

Целью эластогидродинамического (ЭГД) расчёта является выбор марки минерального масла, при котором достигается максимальный ресурс подшипника качения в условиях действующих внешних нагрузок и скоростей качения контактирующих поверхностей. Это возможно обеспечить формированием на контакте максимальной толщины масляного слоя, на величину которого существенное влияние оказывают вязкость и минерального масла. В настоящее время в литературе отсутствуют методики экспериментального определения пьезокоэффициента вязкости непосредственно в зоне контакта тел качения. Для определения величины пьезокоэффициента вязкости используется, предложенная более полувека назад корреляционная формула Вустера [1]:

$$\alpha = (0,6 + \lg v_t) * 10^{-2}, \quad (1)$$

где α - пьезокоэффициент вязкости, 1/МПа;
 v_t - кинематическая вязкость смазочного материала, мм²/с.

Проблема в использовании данной зависимости заключается в том, что необходимо знание вязкости минерального масла непосредственно в зоне контакта, что является отдельной проблемой.

В данной работе предлагается оригинальная методика экспериментального определения значения пьезокоэффициента вязкости непосредственно в нагруженной зоне контакта подшипников качения.

В результате проявления термоэффекта входной зоны, как показано в экспериментальных исследованиях [2, 3, 5], температура в зоне контакта подшипника качения может в несколько раз превышать температуру смазочного материала в узле трения, и поэтому необходимо знание фактических значений вязкости и пьезокоэффициента вязкости смазочного материала (СМ). Именно они определяют толщину масляной плёнки на контакте, величина которой влияет на коэффициент толщины масляной плёнки λ . Данный параметр является характеристикой режима трения, реализуемого в подшипнике качения, и определяет его ресурс [3]:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}}, \quad (2)$$

где h - толщина масляной плёнки на контакте трущихся поверхностей, мкм;

R_{a1}^2 и R_{a2}^2 - шероховатость контактирующих поверхностей, мкм.

В соответствии с формулой (2), при заданных характеристиках шероховатости поверхностей, величина коэффициента толщины масляной плёнки λ возрастает с ростом толщины масляной плёнки h . В связи с этим, уменьшение количества контактов микровыступов трущихся поверхностей приводит к повышению ресурса подшипника качения.

Значение толщины масляной плёнки определяется по формуле Ратнера, а значение коэффициента толщины масляной плёнки λ по зависимостям работы [3]. Необходимо отметить, что наиболее существенное влияние на пьезокоэффициент вязкости СМ, вязкость СМ и параметр λ оказывает температура масляного слоя разделяющего контактирующие тела в нагруженной зоне.

В работе [3] приведены рассчитанные по формуле Вустера значения пьезокоэффициента вязкости в зависимости от температуры минерального масла в узле трения, а не от температуры смазочного слоя непосредственного в зоне контакта, и охватывают ограниченное количество марок минеральных масел. Для минеральных масел: ИР 100 КВ 100, марки ТНК 522 КВ 220, марки Mobilgear 320 КВ 320, марки 460ПВ КВ 460, наиболее широко применяемых узлах трения прокатного оборудования, значения пьезокоэффициентов вязкости отсутствуют.

Для решения задачи по определению пьезокоэффициента вязкости минеральных масел были разработаны испытательный стенд (ИС) [9] и рассматриваемая методика.

Технические характеристики ИС приняты на основе физического моделирования режима ЭГД-смазки в подшипниках качения [6, 7].

Особенностью данного ИС является возможность фиксации, возникающего в подшипнике качения момента трения только от действия смазочного материала по методике представленной в работе [8],

исключая момент трения от действия нагрузки. Это позволяет, используя известную зависимость из работы [4], определить фактическую вязкость минерального масла на контакте в подшипнике качения

$$M = 10^{-7} f_0 (vn)^{2/3} D_0^3, \quad (3)$$

где $M = M_{\text{тр.см}}$ - измеренная величина момента трения в подшипнике качения от действия смазочного материала.

Принимая $v = v_\phi$, после преобразования получим зависимость для расчёта фактической вязкости минерального масла в зоне контакта трущихся поверхностей подшипника качения в зависимости от момента трения $M_{\text{тр.см}}$

$$v_\phi = M_{\text{тр.см}}^{\frac{3}{2}} \cdot K, \quad (4)$$

$$K = (n^{\frac{2}{3}} \cdot f_0 \cdot 10^{-7} \cdot D_0^3)^{-3/2},$$

где v_ϕ - фактическая вязкость смазочного материала на контакте поверхностей в подшипнике качения, мм²/с;

D_0 - средний диаметр подшипника, мм;

f_0 - коэффициент, зависящий от типа подшипника и условий смазывания;

n - частота вращения подшипника, мин⁻¹;

Одновременно, фактическую вязкость минерального масла можно найти воспользовавшись зависимостью Баруса:

$$v_\phi = v_t e^{\alpha p}, \quad (5)$$

где v_ϕ - фактическая кинематическая вязкость СМ, мм²/с при давлении p , МПа;

v_t - кинематическая вязкость СМ при температуре t на контакте в ПК, м²/с;

α - пьезокоэффициент вязкости СМ, 1/МПа.

Тогда пьезокоэффициент вязкости СМ:

$$\alpha = \frac{\ln v_\phi - \ln v_t}{p}. \quad (6)$$

Подставив в полученное выражение зависимость (4), получим выражение для определения пьезокоэффициента вязкости СМ в зависимости от величины момента трения в подшипнике качения от действия смазочного материала:

$$\alpha = \frac{1.5 \ln M_{\text{тр.см.}} + \ln K - \ln v_t}{p}. \quad (7)$$

Полученная зависимость позволяет получать значения пьезокоэффициента вязкости минерального масла, значение которого соответствует условиям реализуемым

в нагруженной зоне контакта подшипника качения.

Исследования, проведенные на ИС с использованием разработанной методики, позволили установить значения пьезокоэффициентов вязкости непосредственно в зоне контакта подшипника качения для минеральных масел классов вязкости КВ 460, КВ320, КВ220, КВ100 в зависимости от температуры минерального масла собственно в узле трения.

По результатам экспериментов для исследованных классов вязкости минеральных масел получена корреляционная зависимость для расчёта пьезокоэффициента вязкости:

$$\alpha = A \cdot T_{\text{вх}}^{A_x} \quad (8)$$

где $T_{\text{вх}}^{A_x}$ - температура минерального масла в узле трения °С ;

A, A_x - эмпирические коэффициенты для исследуемых КВ минеральных масел, табл. 1

Таблица 1

Значения эмпирических коэффициентов для определения пьезокоэффициента вязкости СМ

КВ СМ	при $U_{\Sigma}=2.9$ м/с		при $U_{\Sigma} 7.92$ м/с	
	A	A_x	A	A_x
КВ 100	0.0303	-0.111	0.0233	-0.039
КВ 220	0.0354	-0.38	0.0281	-0.086
КВ 320	0.0304	-0.09	0.0299	-0.102
КВ 460	0.0406	-0.16	0.0334	-0.126

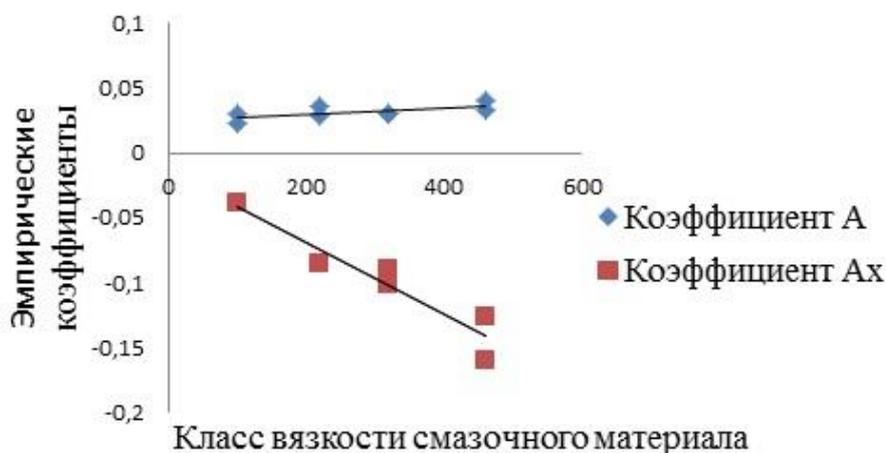


Рисунок 1. Зависимости эмпирических коэффициентов A и A_x от класса вязкости минерального масла.

После обработки экспериментальных данных и аппроксимации линий тренда были получены линейные функции с достоверностью результатов для коэффициента A 88%, для коэффициента A_x 89% (рисунок 1):

$$A = 3 \cdot 10^{-5} \cdot КВ + 0,0245, \quad (9)$$

$$A_x = -0,0003 \cdot КВ - 0,014,$$

Было выполнено сравнение значений пьезокоэффициента вязкости минерального масла при его температуре в узле трения, и при температуре смазочного слоя в зоне контакта, приведенное на рисунке 2.

Фактически реальное значение пьезокоэффициента вязкости в 1,5 раза ниже значения, определённого при температуре минерального масла в узле трения, и эта разница снижается с ростом температуры минерального масла в узле трения.

Заключение

Разработанная методика экспериментального определения пьезокоэффициента вязкости минерального масла и полученные экспериментальные зависимости показали, что использование зависимости Вустера по расчёту пьезокоэффициента вязкости без учёта фактической температуры масляной плёнки на контакте, ведёт к завышенным расчётным значениям толщины масляной плёнки. В свою очередь это, может привести к принятию неверного решения при выборе марки минерального масла, не обеспечивающей достижение максимального ресурса подшипников качения в конкретных условиях эксплуатации подшипниковых опор рабочих валков клетей «КВАРТО».

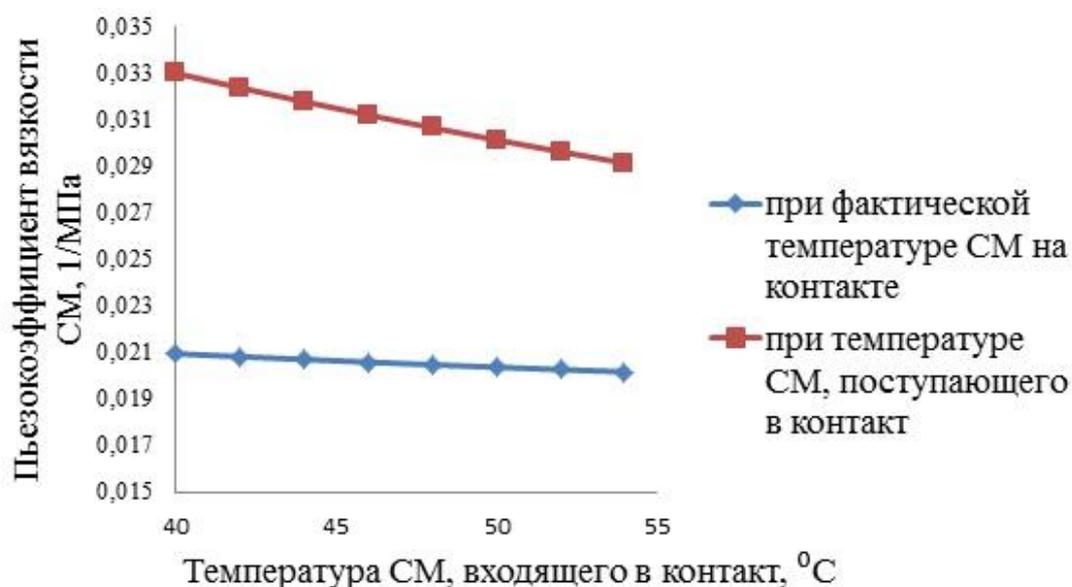


Рисунок 2. Сравнение значений пьезокоэффициента вязкости минерального масла класса вязкости KV460 при температуре в узле трения и при температуре непосредственно в зоне контакта

Библиографический список

- 1 Применение методов подобия и размерностей в экспериментальном исследовании контактно-гидродинамического трения / Мишарин Ю.А. // Машиноведение: научно-технический журнал / Академия наук СССР (АН СССР). — Москва: Наука, 1965. № 5. —С 89-100.
- 2 Аналитическо-экспериментальное определение параметров ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки. / Жиркин Ю.В., Пузик Е.А.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.- 2010.- № 4. - С. 52-56.
- 3 Коднир Д.С, Жильников Е.П., Байбородов Ю.И. Эластогидродинамический расчёт деталей машин.- М.: Машиностроение, 1988.-160с.
- 4 Перель Л.Я. Филатов А.А. Подшипники качения: расчёт, проектирование и обслуживание опор: Справочник. — Машиностроение, 1992, - 606 с.
- 5 Повышение долговечности подшипниковых опор прокатных клетей «кварто» при их техническом обслуживании / Жиркин Ю.В., Пузик Е.А. Филатов А.А.//Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, - 2015. - №3 - С.83-88
- 6 Физическое моделирование режима смазки подшипниковых узлов рабочих валков прокатных цехов/ Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И., Дудоров Е.А. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2007. - № 4. С. 54-56
- 7 Zhirkin Yu.V., Mironenkov E.I., Dudorov E.A. Lubrication of working-roller bearings in rolling mills // Steel in Translation. 2007. T. 37. № 4. С. 350-352
- 8 Методика определения момента сопротивления в подшипниках качения / Мироненков Е.И, Жиркин, Ю.В., Пузик Е.А., Султанов Н.Л.// Материалы 68-й международной научно-технической конференции: сб. докл. - Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2010. С. 273-275.
- 9 Стенд для определения вязкости смазочного материала: пат. 159511 Российская Федерация, от 22 января 2016. Опубликовано 10.02.2016 Бюл. № 4.