

ческой задачи к определению толщины и формы масляной пленки при качении шарика по желобу со скоростью до 1,5 м/сек.

3. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения контактно-гидродинамической теории смазки при напряжениях, достигающих  $17000 \text{ кг/см}^2$  [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Petrousevitch A. I., Kodnir D. S., Salukvadze R. G., Bakashvili D. L. and Schwarzman V. Sh. The investigation of oil film thickness in lubricated ball-race rolling contact, *Wear*, 19 (1972) 369—389.

2. Бакашвили Д. Л., Салуквадзе Р. Г., Шварцман В. Ш. Интерферометрический метод определения толщины смазочного слоя в точечном контакте. Научная конференция ТГУ, 21—24 апреля 1971 г.

3. Foord C. A., Hammann W. C. and Cameron A. Evaluation of lubricants using optical elastohydrodynamics. *ASLE Transactions*, VII, p. 31—43. (1966).

4. Wedeven L. D. and Cameron A. A study of elastohydrodynamic lubrication in rollinс bearings using optical interference. *Proc Instn Mech Engrs* 1967—68. Vol 182 pt 3 G.

5. Коднир Д. С. Определение толщины смазочного слоя в контакте качения. Куйбышев, 1970.

**Е. Ш. ШВАРЦМАН**

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МАСЕЛ ПРИ СКОЛЬЖЕНИИ ШАРИКА

Высокая точность оптического метода, основанного на интерференционной технике [1, 2], определила выбор его в нашей работе для прямых измерений толщины и формы смазочного слоя при скольжении шарика по плоскости.

Для экспериментов была создана аппаратура собственной конструкции на базе микроскопа МБИ-6.

Экспериментальные материалы, полученные на этой установке, позволили провести сравнение с теоретическим расчетом и показали хорошее качественное и количественное соответствие. Результаты этих исследований опубликованы в работе [3].

Для изучения реологических свойств смазочных масел при высоких герцевских напряжениях и больших скоростях скольжения была создана новая установка, приведенная на рис. 1а.

Принципиальная схема установки показана на рис. 1б. Нить источника света коллектором, линзой и отражательной пластинкой направляется в зрачок объектива. От объектива, освещенного отраженным светом лучи попадают в фокальную плоскость фотоокуляра, проектирующего изображение на фотопленку. Объектом исследования является зона контакта между стандартным шариком диаметром 9,5 мм с чистой обработки поверхности  $\nabla 14$  и прижимаемой к нему грузом стеклянной пластинкой, укрепленной в каретке перемещающейся в V-образных направляющих. Шарик приводится во вращение гибким тросом от реверсивного электро-

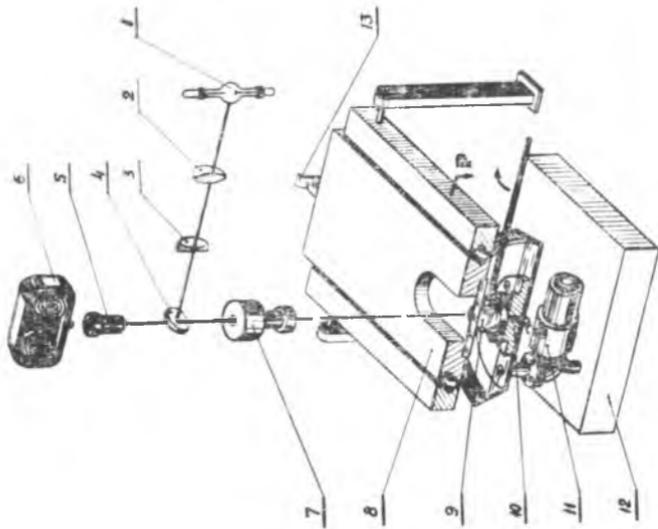


Рис. 1, а — установка для исследования масел при скольжении шарика; б — схема экспериментальной установки.  
 1 — источник света; 2 — коллектор; 3 — линза; 4 — отражательная пластина; 5 — фотокуляры; 6 — кинокамера;  
 7 — фотообъектив; 8 — V-образные направляющие; 9 — стальной шарик; 10 — гнездо; 11 — масляный насос;  
 12 — сливной резервуар

двигателя с регулируемой скоростью вращения. Нижняя часть шарика сидит в гнезде, куда непрерывно подается насосом исследуемое масло. В результате под шариком создается масляная подушка, на которую он опирается. Это позволяет исключить фрикционный нагрев шарика о поверхность опоры, устранить опасность его повреждения. Из гнезда масло сливается в резервуар и идет на циркуляцию.

Источником света для получения интерференционной картины служит ртутная лампа с фильтром, пропускающим строго параллельный пучок света с определенной длиной волны. Стеклопластиковая пластина покрыта тонким слоем нитрида кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , обеспечивающим хорошую контрастность интерференционных полос и высокую износостойчивость слоя, что необходимо при больших напряжениях и скоростях.

Максимальная нагрузка, прикладываемая к шарiku, равнялась 10 кг. Это соответствует максимальным герцовым напряжениям  $14000 \text{ кг/м}^2$ , т. к. приведенный модуль упругости стали и стекла  $E_{\text{пр}} = 10^6 \text{ кг/см}^2$ . Следует отметить, что в подшипниках, использующих комбинацию «сталь по стали» приведенный модуль упругости  $E_{\text{пр}} = 2,12 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ . Поэтому при тех же величинах контактных деформаций максимальные герцовские напряжения равнялись бы  $25000 \text{ кг/см}^2$ . При установившейся нагрузке под действием силы трения, возникающей при вращении шарика, каретка перемещается в направляющих и давит на упругий элемент, на который наклеены тензодатчики. При помощи тензометрического усилителя сигналы тензодатчиков усиливаются и записываются электронным потенциометром. Измерение скоростей осуществляется при помощи тахометра магнитного типа. Посредством термисторов производится измерение температуры масла.

Таким образом, одновременно с киносъемкой интерференционных картин контакта шарика с плоскостью ведется запись силы трения, скорости и температуры.

Для исследования были отобраны девять масел, обеспечивающих широкий диапазон характеристик. По результатам экспериментов построены кривые изменения коэффициента трения и толщины масляной пленки в центре контакта  $h_0$  от скорости скольжения (рис. 2). Эти зависимости приведены для пяти масел. Причем, температура масла, подаваемого в зону контакта, была равна  $20^\circ\text{C}$ . Анализ кривых показывает, что во всех случаях коэффициент трения уменьшается с увеличением скорости скольжения. Кроме того, очевидно, что при увеличении удельной контактной нагрузки коэффициент трения возрастает.

Примерно десятикратная разница в вязкости масел (например МС-20 и маслосмесь 75% МК—8+25% МС-20) при скорости скольжения выше  $0,7 \text{ м/сек}$ , изменяет коэффициент трения не более чем на 10%. Это объясняется тем, что выбранные масла обеспечивают сравнимую толщину масляной пленки в центре контакта. На рис. 3 показано влияние температуры масла, подаваемого в зо-

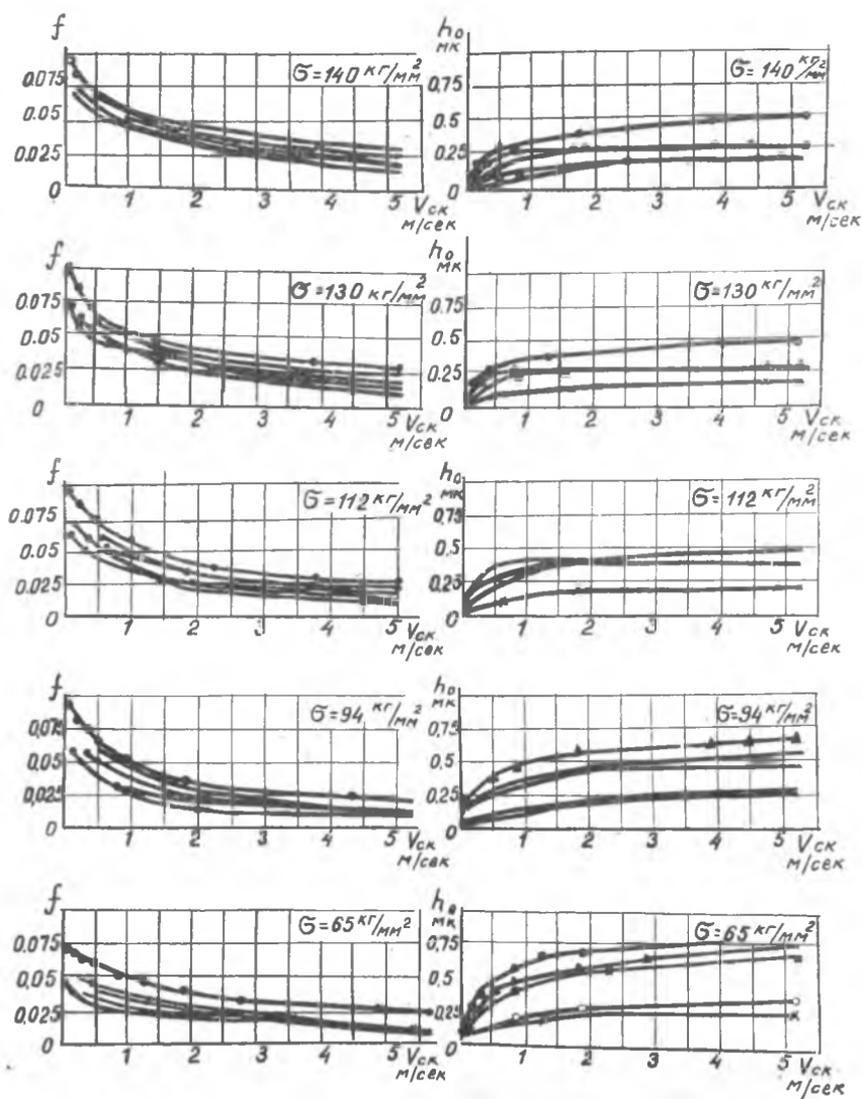
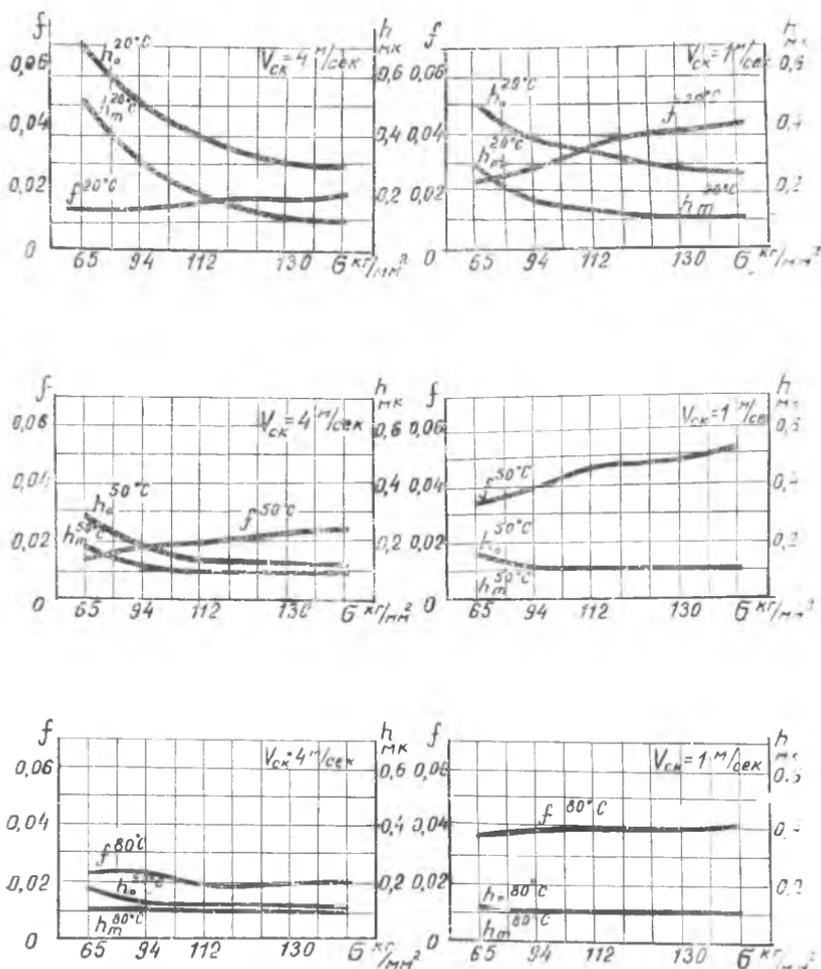


Рис. 2. Кривые зависимости коэффициента трения и толщины масляной пленки в центре контакта от скорости скольжения для пяти масел



Маслосмесь 75% МС-20+25% МК8

Рис. 3. Графики влияния температуры подаваемого масла и удельной контактной нагрузки на величину трения и толщину масляной пленки при скоростях скольжения 1 м/сек и 4 м/сек.

ну контакта и удельной контактной нагрузки на величину коэффициента трения при смазке маслосмесью 75% МС—20+25% МК—8. Полученные зависимости свидетельствуют о возрастании коэффициента трения при подаче маслосмеси в зону контакта с температурой  $50^\circ\text{C}$ . При повышении температуры подаваемого масла до  $80^\circ\text{C}$  коэффициент трения снижается. Толщина масляной пленки в центре контакта  $h_0$  и минимальная толщина  $h_{\text{мин}}$  с повышением температуры снижаются. При скорости выше 1 м/сек и температуре подаваемого масла  $80^\circ\text{C}$ , толщина смазочного слоя в центре

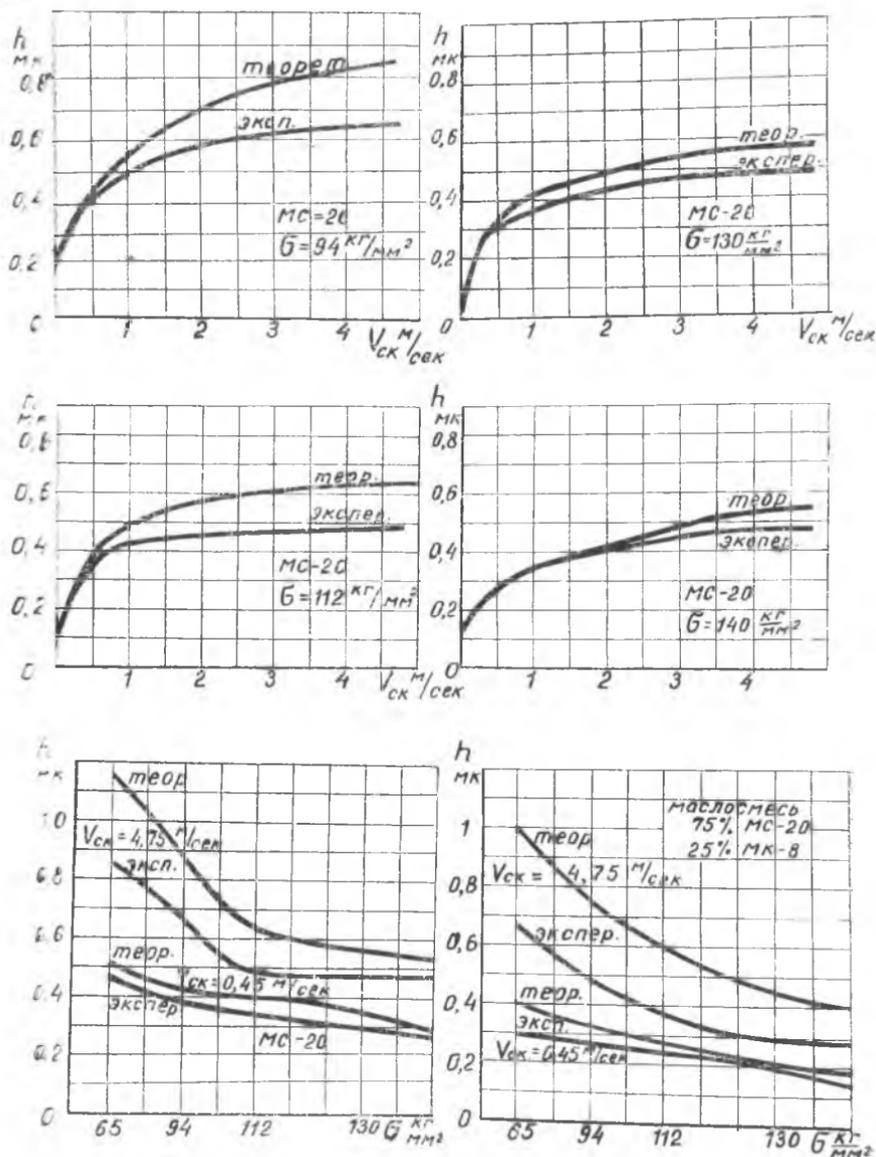


Рис. 4. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов зависимости толщины масляной пленки от удельной контактной нагрузки при скоростях скольжения 0,45 м/сек и 4,75 м/сек.

контакта  $h_0$  и минимальная толщина  $h_{min}$  изменяются незначительно в зависимости от удельной контактной нагрузки. Такая же тенденция наблюдается и для других масел.

Наличие высоких герцовских напряжений и больших скоростей обуславливает неизотермичность процесса трения. Поэтому провести сравнение экспериментальных материалов с теоретическим расчетом для изотермического случая, строго говоря, затруднительно.

Нами сделана попытка сравнить теоретические расчеты при изотермическом процессе с экспериментами, для чего принято, что температура масла  $t_M = t_{\text{общ}} + \alpha \Delta t$ , где  $0 < \alpha < 1$ . Для ориентировочных расчетов принято  $\alpha = 0,2 \div 0,5$  и проведены соответствующие расчеты согласно методике, изложенной в работе [4]. При этом экспериментальные значения толщины смазочного слоя в центре контакта  $h_0$ , практически легли в указанную вилку рис. 4. Это свидетельствует о качественном совпадении теоретических и экспериментальных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gohar R., Cameron A. The Mapping of Elastohydrodynamic Contacts, ASLE Trans., Vol. 10, pp. 215—225, 1967.
2. Сэнборн, Винер. Влияние реологических свойств жидкости на упруго-гидродинамический точечный контакт при скольжении в условиях неустановившейся нагрузки. Проблемы трения и смазки, № 2 и 3, 1971 г., изд-во «Мир».
3. Petrousevitich A. L., Kodnir D. S., Salukvadze K. G., Bakashvili D. L. and Schwarzman V. Sh. The investigation of Oil Film Thickness in Lubricated Ball-race Rolling Contact. Wear, 19 (1972) 369—389.
4. Применение контактно-гидродинамической теории смазки к исследованию деталей машины. Труды Куйбышевского Авиационного института, вып. 40, 1969 г.

В. Н. ПАВЛОВ

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ МЕЖДУ КОНТАКТИРУЮЩИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ (аппаратура, результаты измерений)

Контактирующие поверхности многих деталей машин (зубчатые и червячные передачи, подшипники и другие), работающие в условиях трения качения или трения качения с проскальзыванием, разделены слоем смазки, который полностью или частично несет нагрузку, приходящуюся на зону контакта. Создание оптимальных условий смазки трущихся контактных поверхностей является в настоящее время наиболее радикальным средством снижения износа. Поэтому, как отмечается в работе [1], при решении вопросов износостойкости в машинах одной из основных задач является создание методов измерения толщины пленки при различных условиях трения.

Сложность процессов, протекающих в смазываемом контакте, придает экспериментальным методам исследований исключительно большое значение в этой области.