

КОНТАКТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Д. С. Коднир

ИТОГИ РАБОТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ «АВИАЦИОННЫЕ ПОДШИПНИКИ» К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В. И. ЛЕНИНА И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Основным научным направлением лаборатории является развитие контактной гидродинамики и ее применение к расчету и конструированию деталей машин, обладающих повышенной работоспособностью и долговечностью. За последние 12 лет выполнено:

1. Предложен новый метод решения контактно-гидродинамической задачи, в котором в отличие от ранее известных работ не применяется метод наложения друг на друга изолированных решений контактных и гидродинамических задач, а решается с самого начала контактно-гидродинамическая проблема, как совместная задача. При этом приближенное решение (на основе гипотезы Винклера) используется в виде приема для нахождения уточненного (без гипотезы Винклера). Показано, что обычно стационарная изотермическая контактно-гидродинамическая задача является функцией всего двух безразмерных параметров.

Впервые найдено решение контактно-гидродинамической проблемы при действии переменных нагрузок.

2. Получены инженерные методы расчета толщины смазочного слоя и сил трения для случая большой разности радиусов кривизны (подшипники качения, зубчатые передачи, упорные гребни и т. д.) и малой разности кривизны (подшипники скольжения металлические и неметаллические) при изотермическом процессе и вязкости жидкости, зависящей от местного переменного давления и средней температуры. Найден метод контактно-гидродинамического расчета шариковых подшипников (при точечном контакте).

3. Проведено экспериментальное исследование толщины и формы смазочного слоя в неметаллических подшипниках скольжения

с помощью оригинальной, специально разработанной аппаратуры (получено 2 авторских свидетельства). Сравнение наших теоретических и экспериментальных результатов показывает весьма близкое их соответствие. Сравнение результатов зарубежных экспериментов по толщине смазочного слоя и наших теоретических расчетов в широком диапазоне рабочих параметров привело к расхождению, не превышающему 10% или 0,07 мк.

4. Собраны данные по зависимости вязкости 12 масел от давления и температуры (до 15000 кг/см² и 150°C). Разработаны оригинальный метод и аппаратура для измерения вязкости и других реологических свойств жидких смазочных веществ от давления и температуры (до 10000 кг/см² и 250°C) при скоростях сдвига, характеризующих частотами, достигающими 10⁶ гц. Впервые получены при этих условиях численные значения, характеризующие неньютоновское поведение жидкости — их упругость.

5. Проведен анализ работы подшипников роторов авиационных двигателей, зубчатых передач и упорных гребней косозубых передач на основе контактной гидродинамики, причем обнаружена хорошая корреляция результатов расчета и практики эксплуатации. Следовательно, найден метод анализа влияния различных конструктивных и эксплуатационных параметров на работоспособность деталей.

6. На основе проведения стендовых испытаний более тысячи роликоподшипников найден предварительный метод расчета долговечности при коэффициенте надежности 90, 95 и 99%. При этом в зависимости от толщины смазочного слоя действительная долговечность может отличаться от ныне общепринятой расчетной даже в девять раз. Указанное объясняется тем, что поверхностная усталостная прочность определяется не только максимальными нормальными напряжениями, но и касательными нагрузками, прикладываемыми к трущимся поверхностям смазочным слоем, которые не учитывались до сих пор. Например, увеличение местного коэффициента трения с 0,05 до 0,1 уменьшает долговечность в несколько раз.

7. Получено решение неизоотермической контактно-гидродинамической задачи при качении со скольжением двух цилиндров. В результате определена теоретическая зависимость коэффициента трения от скорости скольжения, имеющая один максимум, качественно и количественно хорошо согласующаяся с экспериментальными данными, например, Генкина, Мишарина и Кузьмина. Таким образом, найдена теоретическая основа расчета долговечности деталей, работающих в контактно-гидродинамическом режиме.

8. Разработанная нами контактная гидродинамика послужила основой создания теории проскальзывания в быстрходных роликоподшипниках, а также метода устранения возникающего при проскальзывании износа подшипника. Полученные теоретические выводы подтверждены как лабораторными экспериментами, так и анализом работоспособности 10 подшипниковых узлов авиационных двигателей, где возникал дефект проскальзывания, и 8 узлов, где он был устранен или не возникал.

9. На основе контактной гидродинамики разработана теория и метод расчета всех кинематических параметров, усилий и напряжений, действующих в элементах двух-, трех и четырехточечных радиально-упорных шарикоподшипников при учете центробежных сил тел качения и перекосов колец, при смазке маслом, вязкость которого зависит от местного давления и средней температуры контакта. Показано, что соотношение скоростей вращения на внутреннем и наружном кольцах определяется контактно-гидродинамическими параметрами.

10. Исследования в области контактной гидродинамики позволили

разработать новые конструкции эластичных металло-пластмассовых подшипников (получено три авторских свидетельства) и определить оптимальные конструктивные параметры, а также оптимальный модуль упругости материала вкладыша. Предложенные конструкции подшипников скольжения обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными конструкциями подшипников, особенно при перекосах и вибрации. Новые подшипники успешно прошли лабораторные и стендовые испытания в редукторе турбозубчатой судовой установки. Кроме того, предложен ряд новых конструкций подшипников качения, подпятника скольжения, зубчатой передачи, фрикционной передачи и т. д.

11. Создается новый учебник по курсу «Детали машин», в котором теоретические основы расчета деталей, работающих в условиях контактного нагружения, базируются на наших разработках контактно-гидродинамической теории смазки.

Практическая и научная значимость выполненных работ может характеризоваться двумя примерами:

а) Применение выводов из теории проскальзывания и методов устранения дефекта проскальзывания (пункт 8) только в одном ОКБ, на одном изделии дало экономический эффект 338 тыс. руб. Эта методика устранения дефекта применяется сейчас и на других изделиях и в других ОКБ, что позволит получить большой экономический эффект.

б) Разработка контактно-гидродинамической теории смазки и создание новой конструкции эластичных подшипников скольжения (пункт 10) были отнесены в отчетном докладе главного ученого секретаря АН СССР академика Я. В. Пейве к числу важнейших достижений отечественной науки за 1966 год.

Основными перспективами наших дальнейших работ являются:

Разработка новых стандартов на инженерные методы расчета долговечности и работоспособности подшипников качения и зубчатых передач при 99 и 100% надежности, с учетом влияния смазки (расчет на усталостное выкрашивание, расчет на износ, расчет на заедание).

Создание каталогов-справочников подшипников качения и зубчатых передач, где их долговечность при определенном коэффициенте надежности будет функцией смазки, нагрузки, скорости, температуры, материала и термообработки детали.

Создание каталога-справочника по вязкостям и другим реологическим свойствам жидких, консистентных и твердых смазочных материалов и их фракций, а также криогенных жидкостей в зависимости от давления, температуры и скорости деформации.

Изыскание новых оптимальных конструкций и конструктивных параметров подшипников качения и скольжения, зубчатых передач и других деталей, обладающих повышенной работоспособностью и долговечностью, при работе в различных условиях.

Нахождение оптимальных расчетных характеристик смазочных материалов, определяющих повышение долговечности и надежности работы деталей машин, а также разработка рекомендаций по созданию требуемых новых смазочных материалов.

Для осуществления указанных целей предусматривается проведение ряда теоретических, конструкторских и экспериментальных работ.