

Отзыв

на автореферат диссертации Тохметовой Айгерим Бауыржановны
на тему «Повышение трибологических свойств смазочного масла легированием микро-/нанодобавками», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах

В настоящее время установлена эффективность масел с микро-/нанодобавками, в которых в качестве твёрдой фазы использовались микро-/наночастицы графита, молибденита, природных геомодификаторов трения, дисульфида вольфрама, наночастиц углерода. Препятствием к применению подобных продуктов является отсутствие критерия, позволяющего оценить ресурс функционирования смазочных масел легированных микро-/нанодобавками. В этой связи задача разработки комплексной методики подбора составов масел с микро-/нанодобавками, направленной на повышение ресурса смазочного слоя и обоснованной аналитическим определением его трибологических характеристик, является **актуальной**.

В работе определена **разработанность темы исследований** и отмечается преимущественно экспериментальный характер работ и отсутствие целенаправленного управления трибологическими характеристиками смазочных материалов на основе системного подхода, учитывающего влияние теплообменных процессов на параметры слоя смазки.

В автореферате в достаточной степени отражены все необходимые атрибуты, включая цель, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методы исследования и положения, выносимые на защиту.

В результате анализа автореферата можно констатировать, что **цель исследования**, связанная с разработкой комплексной методики исследования трибологических, температурных и вязкостных характеристик жидких смазочных материалов с твёрдыми микро-/нанодобавками, повышающими ресурс смазочного материала достигнута.

В диссертации сформулировано девять **задач для достижения поставленной цели**, которые в целом включают анализ состояния проблемы, предусматривают разработку математических моделей расчета слоя смазки с микро-/нанодобавками для определения средней температуры и ее градиента по высоте слоя при переменной скорости сдвига и вычисление момента трения. Указано на необходимость разработки критерия оценки ресурса смазочного материала, проведение экспериментальных исследований влияния трибологических свойств моторного масла с микро-/нанодобавками на коэффициент трения и температуру смазочного материала, степени осадки заготовки при обработке давлением, антифрикционного воздействия нанодобавок к полноформульному моторному маслу в условиях граничной смазки.

Результаты достижения поставленных целей в достаточной мере раскрыты в **основных выводах по диссертационной работе**.

Следует отметить, что в основных выводах квалификационных работ по техническим наукам принято приводить рекомендации по использованию полученных результатов.

Научные результаты, выносимые на защиту, в достаточной мере отражают оценку теоретической и практической значимости работы, сделанной автором.

Достоверность результатов и выводов подтверждается их сопоставимостью с экспериментальными данными, использованием апробированных методик при проведении исследований, сходимостью теоретических выводов с результатами экспериментальных испытаний.

Личный вклад автора, с учетом выполненных методических, теоретических, и экспериментальных разработок автора, отраженных в приведенных публикациях, является несомненным.

Работа получила **достаточную апробацию** на международных конференциях.

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, включая 8 публикаций в изданиях по перечню ВАК, 3 из которых помимо перечня ВАК включены в базы данных Web of Science и Scopus. В сборниках материалов конференций опубликовано 3 работы. Имеется также свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В первой главе приводится анализ публикаций по современным смазочным материалам

и их составам, включая добавки трибологического назначения. Особое внимание уделено трибологическим исследованиям масел с добавками геомодификаторов трения и углеродных нанодобавок. Трибологические свойства в режимах жидкостной и смешанной смазки для масел с указанными добавками мало изучены, поскольку их анализ требует обобщения теории гидродинамической смазки применительно к маслам с твердыми микро-/нанодобавками.

Во второй главе разработана математическая модель расчета средней температуры на основе энергетического баланса пары трения при переменной скорости сдвига в смазочном слое. Математическая модель расчета средней температуры в смазочном слое учитывает напряжение и скорость сдвига, геометрию смазочного слоя, теплопроводность, плотность и теплоемкость поверхностей трения.

К сожалению, автор не указывает авторство приведенной математической модели расчета средней температуры в смазочном слое.

Далее решается уравнение теплопроводности в частных производных с начальными и граничными условиями, учитывающее температуропроводность и распределение теплоты между смазкой и вращающейся металлической поверхностью, напряжения сдвига и теплопроводность смазочного материала.

К сожалению, задача была сформулирована для одномерных условий. Следует отметить, что подобные решения являются достаточно известными, причем именно с применением интегральных преобразований и, в частности, с применением операционного исчисления методом Лапласа. Например, в работах (Михайлов Ю.А. Вариационные методы в теории нелинейного тепло- и массопереноса/ Ю.А. Михайлов, Ю.Т. Глазунов. - Рига: Зинатне, 1985. 190 с. и Цой П.В. Методы расчета отдельных задач тепломассопереноса/ П.В. Цой. - М.: Энергия, 1971. 384 с.) приведены три варианта точного аналитического решения краевой задачи термовлагодпереноса (методом источников, методами интегральных преобразований Фурье и Лапласа, а также вариационным методом Бубнова — Галеркина) с граничными условиями второго рода, по отношению к которым решение автора является частным случаем. В статье (Плохотников К.Э. Вычислительные методы. Теория и практика в среде MATLAB. - М.: Горячая линия - Телеком, 2009.) приводится решение подобной задачи в среде MATLAB. В фундаментальной монографии (Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел/ Г. Карслоу, Д. Егер. - М.: Наука, 1964. - С. 292-321), в частности, приводятся постановки и решения задач теплопроводности в одномерной, двумерной и пространственной постановках для граничных условий первого, второго и третьего рода на основе применения интегрального преобразования Лапласа. В результате полученное решение выражается аддитивной функцией, включающей экспоненту и интегральную функцию ошибок. В статье (Федосов С.В. Автоматизация решения задачи теплопереноса в древесине стропильных конструкций с нагелем методом Лапласа/ С.В. Федосов, В.Г. Котлов, А.Г. Поздеев, Ю.А. Кузнецова// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии», 2021. - № 2(18). - С. 53-63) задача, практически тождественная по постановке задаче автора диссертации, решена методом преобразования Лапласа в прикладной среде MathCad.

Основная составляющая научной новизны диссертации состоит в разработке модели трения и вычислении средней температуры смазочного слоя с учетом переменной скорости сдвига, решении уравнения теплопроводности и определении на этой основе градиента температуры по высоте смазочного слоя с учетом скорости сдвига, использовании решения уравнения Рейнольдса с переменной вязкостью для составления программ автоматизированного расчета и определения условий оптимизации концентрации добавок в легированных смазках, реализованные в среде Delphi.

Правда термин «переменная вязкость» применяется к иным задачам, а в данном случае речь идет о термо- и пьезозависимости вязкости.

Отметим, однако, что модифицированного уравнения Рейнольдса, полученное из уравнения Навье — Стокса для тонкого смазочного слоя в полярной системе координат и включа-

яющее зависимость вязкости температуры и пьезокоэффициент вязкости достаточно известно (Кодонир Д.С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин/ Д.С. Кодонир. М.: Машиностроение, 1976. 304 с.).

Таким образом автору принадлежит честь применения динамического коэффициента вязкости по Бэтчелору, описывающему гидродинамическое взаимодействие между фуллереном C_{60} в смазочной композиции с учётом броуновского движения фуллерена.

Достаточно интересным является численное решение безразмерного уравнения энергии для тонкого слоя смазки с начальными и граничными условиями методом прогонки в программной среде Delphi, *которому автор мог бы уделить больше внимания в автореферате.*

Полезным с практической точки зрения является вывод критерия оценки ресурса смазочного материала с помощью анализа размерностей на основе параметрического уравнения.

В третьей главе приводятся методики получения композиционных смазочных материалов, лабораторное оборудование и приборы, использованные в данной работе.

Трибологические характеристики композиционных смазочных материалов в работе определялись на универсальной машине трения УМТ – 1 и маслоиспытательной машине КТ – 2 по методикам ИМАШ РАН, а также на лабораторном комплексе ОМД – 1 ЧПУ РТУ/МИРЭА. Эти результаты представляют несомненный интерес.

В четвертой главе представлены результаты оценки влияния серпентинита и шунгита на трибологические свойства масла для пар трения сталь – бронза, сталь – чугун, чугун – бронза на машине трения УМТ-1. В результате экспериментов было, в частности, установлено, что повышение содержания серпентинита с 0,05% до 0,1% заметно улучшает антифрикционные и противоизносные свойства смазочного материала. Кроме того, выявлено, что смазочные материалы с испытанными микродобавками целесообразно использовать при малых контактных нагрузках.

Интересными являются экспериментальные результаты показывающие, что коэффициент трения и температура смазочного слоя снижается с ростом концентрации C_{60} . Кроме того, отмечена тенденция снижения коэффициента трения с ростом нагрузки. Для смазочных материалов с C_{60} наблюдается эффект снижения температуры в зоне контакта в среднем на 18 °С по сравнению с моторным маслом.

На основе результатов эксперимента построена диаграмма Герси – Штрибека и предложена смазочная композиция для повышения антифрикционных свойств смазочного масла в режиме гидродинамической и смешанной смазки.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных испытаний осадки заготовки со смазочными материалами, содержащие фуллерен C_{60} и углеродные нанотрубки (УНТ) на лабораторном комплексе «Компьютеризированный пресс с ЧПУ» ОМД-1 ЧПУ РТУ/МИРЭА. Затем была проведена оценка влияния высоких температур на антифрикционные свойства масла с добавлением C_{60} и УНТ.

Шестая глава посвящена сравнительной оценке результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов.

В качестве замечания по этой главе можно указать, в автореферате не отражены вопросы планирования эксперимента и обработки результатов экспериментальных исследований в критериальной форме. По крайней мере, можно было бы использовать критерий Кохрена для проверки воспроизводимости данных, а критерий согласия Фишера - для определения адекватности регрессионных уравнений, получаемых в процессе эксперимента. Кроме того, в автореферате приведены результаты обработки экспериментальных данных в графической форме, а уравнения регрессии отсутствуют.

Отметим, что замечания к автореферату в тексте отзыва приведены курсивом.

Указанные замечания не влияют на положительную оценку рецензируемой диссертации. Работа по актуальности, научной новизне, практической значимости и ценности полученных результатов соответствует требованиям пунктов 8, 9 и 12 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Тохмето-

ва Айгерим Бауыржановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук

Рецензент:

Гаджиев Гасан Магамедрасулович, кандидат технических наук (05.21.01 - Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства), доцент кафедры Эксплуатации машин и оборудования, Института механики и машиностроения (ИММ) ФГБУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

"23" марта 2023 года

Гаджиев Г.М.

Адрес организации: 424000, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, пл. Ленина, 3

Контактные телефоны: 8(8362) 68 60 66

E-mail: GadzhievGM@volgatech.net



Шарафутдинова Э.Р.
23.03.2023г.