

А. В. ЗАХАРЧЕНКО, Национальный авиационный университет

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКИХ МАСЛАХ КАК НОСИТЕЛЯХ ПАКЕТОВ ПРИСАДОК (ОБЗОР)

На підставі сучасних трибологічних джерел пропонується аналітичний огляд функціонального призначення композицій присадок до технічних олів. Систематизовані фізико-хімічні та експлуатаційні вимоги до композицій присадок для трансмісійних олів.

The functional application of the additives arrangement to technical oils is suggested on the basis of analytical review of contemporary tribology sources. The physico-chemical and operational requirements to the additives arrangement for gear oils have been systematized.

Общая постановка проблемы. Прогресс в области машиностроения непосредственно связан с качеством применяемых смазочных материалов (СМ). Для получения масел оптимального углеводородного состава и с высокими эксплуатационными показателями, по мнению автора [1, с. 5], требуются в первую очередь подбор высококачественного сырья и усовершенствование технологии. Однако вместе с тем отмечается [2, с. 185], что природные углеводородные масла как таковые в настоящее время не в состоянии удовлетворять этим требованиям, так как возможности улучшения их качества (вязкостно-температурные характеристики, стойкость к старению и окислению) путем совершенствования производственных процессов очень ограничены. Полностью исключить касание поверхностей в начальный период (при запуске) и в процессе нормальной работы практически невозможно, и поэтому опасность проявления схватывания при вынужденных касаниях стараются свести к минимуму выбором материалов пар трения и введением в СМ активных компонентов, образующих прочные адсорбированные и хемосорбированные защитные плёнки [3, с. 242].

Анализ последних исследований и публикаций. Общеизвестно [2, с. 12], что свойства и качество СМ зависят от природы сырья и диапазона вязкости базового масла, процессов производства и глубины очистки. При этом БМ должны иметь хорошие вязкостные и вязкостно-температурные характеристики [2, с. 9]. Авторы [4, с. 110] отмечают, что очищенные нефтяные масла обладают слабым антикоррозионным действием на металлы и склонны к окислению. Известно, что вязкость возрастает с повышением давления и снижением температуры и в работе [5], например, приведены значения вязкости жидкостей при различных давлениях. Также сорт масла является важнейшим фактором, влияющим на процесс заедания [6, с. 37]. Не вызывает сомнения положительное влияние увеличения вязкости СМ на предотвращение заедания [7, с. 71], которое сопровождается ростом гидродинамического эффекта, толщины смазочного слоя и благотворно влияет на задиростойкость пар трения [8, 9]. С целью снижения сил трения и расхода горючего в ДВС разрабатываются [10] трансмиссионные масла на основе базовых масел с очень высоким индексом вязкости. Например, VHV14 [11] по своим свойствам отвечает возросшим требованиям к СМ, а современные технологии очистки открывают новые возможности при использовании таких масел. Результаты испытаний [12] показали, что чем выше вязкость СМ, тем ниже потери на трение в гипоидной передаче и при этом синтетические масла их снижают на 25-30% значительно, чем минеральные. Установлено также, что существует оптимальная вязкость масла, при которой минимизируются общие потери в гипоидной передаче, слабо зависящие от поверхностных обработок. Но при высоких нагрузках базовые масла, как правило, претерпевают фазу стеклования и СМ ведут себя в зоне контакта уже как прослойки “льда”, зачастую не выполняя функции, в результате чего при увеличенных нагрузках имеет место непосредственный контакт трущихся поверхностей. С этими эффектами можно бороться используя только “сухие” (обезвоженные в процессе изготовления) масла в “замкнутых системах”, подсмазочные износостойкие покрытия или материалы путём разгрузки, применяя двойные или тройные ведущие мосты, что уже используется ведущими автомобильными фирмами мира [13, с. 217-218]. При этом доминирующим режимом работы узла трения становится граничное трение, при котором вязкость масла теряет первостепенное значение [14, с. 153].

Сведения о классификациях СМ, об их ассортименте, составе и качестве приведены в специальной [2, 15-17] и новейшей справочной [18-24] литературе.

Необходимость улучшения служебных свойств СМ обусловила разработку так называемых товарных масел, которые готовят на основе базовых масел (основ) нефтяного или синтетического происхождения (иногда их смеси), в которые вводятся специальные вещества или их композиции. В зависимости от состояния и растворимости в масле эти вещества получили разное название [1, с. 8; 25, с. 86]. Современные жидкие легированные СМ состоят из основы – базового масла и маслорастворимых добавок органического происхождения – присадок, улучшающих природные свойства базового масла или придающих ему необходимые новые свойства, которых масла лишены от природы [2, с. 13; 15, с. 13; 26, с. 234; 27, с. 205]. По мнению автора [28, с. 218] присадки к маслам должны в них хорошо растворяться, не выпадать в виде осадка, не задерживаться на фильтрах смазочной системы и не оседать на поверхностях трения. В итоге в работе [29, с. 185] отмечается четыре требования, которым должны удовлетворять присадки к маслам:

- молекула присадок должна содержать активный радикал для прочной адгезии с несущей поверхностью;

- молекула должна также иметь длинную прямую цепь с активным радикалом на одном конце;
- присадка должна содержаться в концентрации на уровне нескольких процентов, чтобы не придать СМ другие нежелательные объёмные свойства (кислотность или смолистые отложения);
- температура “перехода” самой присадки или продуктов её реакции с несущей поверхностью должна быть выше максимально возможной рабочей температуры.

При выборе СМ для зубчатой передачи на стадии проектирования машины необходимо учитывать требования к физико-химическим, эксплуатационным и служебным характеристикам. Одним из основных, как отмечается в работе [30], является – выполнение роли носителя присадок. Базовые масла обладают к ним различной приёмистостью. В одних маслах присадки оказывают противозадирное действие, в других могут быть неэффективными. По данным [30], маловязкие базовые масла обладают более высокой приёмистостью к присадкам, чем высоковязкие. В то же время приёмистость к присадкам зависит от природы масел и присадок. Кроме того, известно [31, с. 74], что “приёмистость” масел к присадкам повышается с углублением степени их очистки. Высокоиндексные базовые масла обладают повышенной приёмистостью к различным композициям присадок, что благоприятно сказывается на качестве СМ при его применении и способствует снижению расхода присадок при его производстве [26, с. 254]. Одна и та же присадка [32] в различных базовых маслах ведёт себя и как поверхностно-активная, и как химически-активная присадка.

Введение химических присадок в базовое масло может привести к двум различным эффектам: 1) снижению коэффициента износа K' на некоторую величину $\Delta K'$ (значительно уменьшить величину износа [6, с. 83]) и 2) повышению несущей способности $F_{\text{крит}}$ на некоторую величину ΔF [33, с. 154]. Примеры совместного смазочного действия различной концентрации присадки Компадит-731 и базового масла приведены в работах автора [34-39]. Таким образом, при введении в два различных минеральных масла одних и тех же присадок показано [40, 41], что и поверхностно-активные и химически-активные свойства растворов существенно зависят от растворителя. Это ещё раз указывает на необходимость подбора присадок и базовых масел для выбора синергетических смазочных композиций.

Таблица 1

Задиростойкость зубчатых передач [8]

Смазочное масло	Диапазон влияния
Присадки (при постоянном базовом масле)	1 : 5
Вязкость масла, например удвоение вязкости при 50 °С	
нелегированные масла	1 : 1,5
легированные масла	1 : 15

Бурное развитие автомобилестроения и ужесточение требований к качеству СМ привели к не менее стремительному развитию работ по созданию и применению в смазочных композициях присадок различного функционального назначения [21, с. 64; 22, с. 22]. Ниже приведены из работы [8] сводные данные (табл. 1), показывающие степень влияния различных трибологических параметров на задиростойкость ЗП.

Использование критерия заедания [17, с. 66; 42; 90, с. 208] для расчёта зубчатых колёс угольных машин, смазываемых как легированными, так и нелегированными маслами, можно найти в работе [43]. Большое количество экспериментальных работ на зубчатом стенде FZG проведено Ниманом, Лехнером, Реттингом [8, 44, 45]. На процесс заедания оказывают существенное влияние физико-химические характеристики СМ и окружающей среды, число и качество присадок к базовому маслу, способ смазывания и другие факторы [6, с. 35]. Эти данные можно сравнить с результатами исследования Форбса [46], который также показал влияние структуры серии дисульфидов на их способность снижать заедание и износ при трении. Систематические исследования, выполненные ещё Г. В. Виноградовым и его школой [47-49], позволили сделать обобщающее заключение о весьма важном значении при различных режимах трения действия химически-активных элементов, содержащихся в смазочных композициях [32, с. 22].

Для определённого типа зубчатых передач, давления в зоне зацепления и температуры СМ имеется соответствующий состав присадок [25, с. 89], различающийся по действию. Как известно, в базовые масла добавляются присадки различного функционального назначения – уменьшающие потери при смешанном трении (противозадирные и противоизносные) [50-54], подавляющие окислительные процессы (антиокислительные) [55-59] и т.д. [60, с. 41].

При тяжёлых режимах работы трущихся сопряжений (высокие нагрузки и скорости скольжения) на практике давно ощутимое повышение долговечности зубчатых колёс трансмиссий достигается использованием противоизносных и противозадириных присадок в смазочных композициях [26, с. 238, с. 243], предотвращающих схватывание и задиры поверхностей, а также снижающих их износ путём химического модифицирования поверхностного слоя металла в результате химической реакции присадки с ним [32, с. 79]. Например, японская фирма Ниппон роккутайто [61] выпускает две марки СМ с противозадириными присадками, используемыми для смазывания узлов трения (например, цепей, зубчатых колёс), работающих с перегрузкой или в условиях повышенной или пониженной температуры. Эти присадки, диффундируя к поверхности из объёма смазочной среды и химически модифицируя её, образуют защитные плёнки, снижающие адгезионное сцепление и трение в контакте. Природа защитных плёнок в

этом случае также является неорганической. Обобщая результаты подобных исследований, авторы [62] приходят к выводу, что в качестве присадок используют множество соединений, которые в целом подразделяются на два класса – вещества первого из них способствуют улучшению основных смазочных характеристик базовой среды, а соединения, относящиеся ко второму классу, часто ещё называемые антизадирными присадками, обеспечивают смазочное действие за счёт образования плёнок при повышенных скоростях и контактных нагрузках, например, в таких узлах как тяжело нагруженные зубчатые передачи.

Следует отметить, что в англоязычной литературе условия повреждаемости принято называть “extreme pressure (EP) - regime”, т.е. режим сверхвысокого давления, а условия нормального изнашивания - “antiwear (AW) – regime”, т.е. противоизносный режим. Соответственно противозадирные присадки называют “EP-additives”, противоизносные - “AW-additives”, а противоизносно-противозадирные - “AW\EP-additives” [21, с. 76]. Многие присадки являются многофункциональными, то есть улучшают несколько эксплуатационных свойств масла одновременно [63, с. 156], поэтому деление присадок на противоизносные, противозадирные и антифрикционные весьма условно и провести резкую грань между этими присадками очень трудно. Специальные исследования в области синтеза антифрикционных присадок в настоящее время почти не проводятся [1, с. 102], так как противоизносные и противозадирные присадки одновременно обладают антифрикционными свойствами. Однако учитывая, что некоторые соединения одновременно улучшают несколько эксплуатационных качеств СМ, распределение их осуществляется по принципу более характерного для них функционального действия [1, с. 6]. При этом сочетание присадок в некоторых случаях оказывает действие, отличное от действия каждой из них в отдельности; усиливая или ослабляя его эффективность [64, 65].

Практикой установлено, что отдельные виды присадок не могут обеспечить получения высококачественных СМ, удовлетворяющих современным требованиям к ним. Улучшить в достаточной степени их эксплуатационные свойства возможно лишь путём использования присадок, содержащих различные функциональные группы, или компаундированием присадок различных типов [1, с. 214]. Ещё Б. И. Костецкий отмечал [66, с. 253], что показатели антифрикционности и противозадирной стойкости при трении сталей в среде, содержащей комплексную присадку, заметно повышаются. В случае, когда используется композиция присадок нескольких органических соединений, содержащих различные функциональные группы, при расходовании одного компонента другие компоненты композиции продолжают выполнять свои функции. Кроме того, при составлении смазочных композиций можно подобрать различные соединения с отдельными функциональными свойствами с учётом их совместимости. При этом снижается возможность взаимодействия различных присадок между собой, приводящего к возникновению эффекта антагонизма [2, с. 185]. При разработке композиции присадок нельзя не учитывать синергизма и взаимного химического воздействия компонентов смазочной композиции в условиях эксплуатации, где, по мнению автора [1, с. 10], сказывается влияние температуры, давления, а также поверхности металла, оказывающей каталитическое и химическое воздействие на присадки. Проявление синергизма присадок, выражающееся в значительном повышении эффективности действия смеси присадок по сравнению с каждой из них в отдельности, представляет большой интерес как при изучении механизма действия присадок, так и при создании смазочных композиций, обладающих высокой работоспособностью. Характерным примером этого является, например, приведённое в работе [67] исследование влияния на смазочную способность минерального масла совместного действия моющей и антиокислительной присадок.

Следует заметить, что далеко не всякое химическое соединение, обладающее определёнными функциональными свойствами, может быть использовано в качестве присадки к базовому маслу. Именно поэтому среди многих десятков тысяч исследованных соединений в качестве присадок используется достаточно ограниченное количество продуктов [21, с. 63-64]. По своей активности и возможности использования наибольший интерес представляют химические элементы V, VI и VII групп системы Менделеева, в частности элементы III ряда этих групп (P, S, Cl) [68, с. 13]. До настоящего времени исследования возможности модифицирования металлических поверхностей были обращены в первую очередь к химическим соединениям этих элементов. Однако по чистоте поверхности и коррозионным свойствам хлорированные поверхности значительно уступают поверхностям, модифицированным соединениями с элементами VI группы, и не могли рассчитывать на широкое применение [68, с. 63]. Однако, к примеру, фирма OKS разрабатывает специальные смазочные композиции с присадками соединений хлора, серы и фосфора [69], которые вызывают микровыглаживание поверхностей трения за счёт химических реакций, давления и температуры.

Наибольшее распространение получили характерные противоизносно-противозадирные (AW\EP) присадки (соединения), содержащие одновременно типичные противозадирные и противоизносные активные элементы - серу и фосфор (эфирные кислоты фосфора, содержащие серу); серу, фосфор и металлы (дитиофосфаты различных металлов, прежде всего дитиофосфаты цинка); серу, фосфор и азот (аминные соли дитиофосфорной кислоты); серу, азот и металлы (дитиокарбаматы металлов) и др. [21, с. 77; 27, с. 210; 32, с. 79]. Среди них диалкилдитиофосфат цинка (ДДФЦ), который широко используется в качестве присадки в смазочных композициях уже более 40 лет [70, с. 718], и его противоизносные характеристики исследованы более полно, чем других присадок [71-78]. Так же к ним относятся ксантогенаты [79, с. 177; 80, с. 120; 81, с. 62], тритиокарбонаты, сульфиды и дисульфиды, серосодержащие высокомолекулярные

соединения и многие другие [1, с. 102].

Присадки вводят в смазочные композиции в различном виде [82, с. 168]: ультрадисперсные порошки Sn, Cu, Zn, Al, Ni и др.; порошки благородных металлов Au, Ag [83]; ультрадисперсные порошки сплавов Cu-Sn (РиМЕТ [84, 85]); Sn-Pb, Zn-Sn, Bi-Sn, Cu-Zn и др. [86]; смеси порошков металлов и неметаллов и их соединений (УДПЛЛ, УДПБр-К [87, 88]); соли металлов, а также их органических соединений (КТЦМС, СУРАД, СУРМ и др. [89]).

Выводы по проведенному исследованию. Таким образом, использование высокоэффективных СМ с вязкостью, слабо зависящей от температуры, позволяет улучшить условия смазки и уменьшить вероятность выхода из строя деталей машин и оборудования.

Только высококачественные минеральные или синтетические базовые масла пригодны для производства высококачественных СМ. Хорошо разработаны способы целенаправленного изменения свойств высококачественных очищенных базовых масел с помощью комбинаций присадок (поверхностно-активных и химически активных), образующих на поверхностях прочные защитные плёнки в самом процессе трения. Для смазки коробок передач, редукторов и планетарных передач в трансмиссиях мобильной техники применяют масла с различными присадками, снижающими износ и способствующими устранению или повышению нагрузки заедания. Следовательно, механизмы, работающие в условиях качения со скольжением, со смазкой, могут функционировать без внезапного катастрофического износа и заедания в некотором диапазоне скольжений.

В заключение можно сказать, что с помощью присадок можно придать СМ совершенно особые свойства. В этой области существует широкое поле деятельности для исследований.

Список литературы: 1. Кулиев А. М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. - 2-е изд., перераб. - Л.: Химия, 1985. - 312 с. 2. Кламман Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты: Пер. с англ. / Под ред. Ю. С. Заславского. - М.: Химия, 1988. - 488 с. 3. Семёнов А. П. Схватывание металлов и методы его предотвращения при трении // Трение и износ. - 1980. - Т. 1, № 2. - С. 236-246. 4. Богданович П. Н., Прушак В. Я. Трение и износ в машинах: Учебн. для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1999. - 374 с. 5. Жоховский М. И. Теория и расчёт приборов с неуплотнённым поршнем. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 182 с. 6. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник / Ю. Н. Дроздов, В. Г. Павлов, В. Н. Пучков. - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с. 7. Дроздов Ю. Н., Арчегов В. Г., Смирнов В. И. Противозадирная стойкость трущихся тел. - М.: Наука, 1981. - 140 с. 8. Ниман Г., Лехнер Г. Предельная нагрузка на заедание цилиндрических стальных зубчатых передач // Экспресс-информация: Детали машин. - 1967. - № 36. - 52 с. 9. Розенберг Ю. А. Влияние смазочных масел на надёжность и долговечность машин. - М.: Машиностроение, 1970. - 312 с. 10. Базовые масла для смазочных материалов с низким коэффициентом трения. Base oils for low friction lubricants / Niskala Jorma // Tribologia. - 1999. - Vol. 18, № 4. - P. 3-12. 11. Новое базовое масло с высоким индексом вязкости. VHVI base oils / Niskala Jorma // Tribologia. - 1997. - Vol. 16, № 3. - P. 24-30. 12. Изучение потерь на трение в гипоидных зубчатых передачах. Haizuka Shoji, Henmi Masahiko, Kawai Daisuke. Nihon kikai gakkai ronbunshu. C = Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C. - 2000. - Vol. 66, № 651. - P. 3740-3747. 13. Гайворонский А. Т., Гайворонская М. В., Прокотьев Г. А. О необходимости учёта изменения баротермических свойств смазочных материалов при больших нагрузках // Трение и износ. - 2000. - Т. 21, № 2. - С. 213-218. 14. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. изд. / К. М. Бадыштова, Я. А. Берштадт, Ш. К. Богданов и др.; Под ред. В. М. Школьниковой. - М.: Химия, 1989. - 432 с. 15. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: Справочник / Р. М. Матвеевский, В. Л. Лаихи, И. А. Буяновский и др. - М.: Машиностроение, 1989. - 224 с. 16. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. В 3 т. - М.: Машиностроение, 1990. - Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. - 416 с. 17. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В. Д. Зозуля, Е. Л. Шведков, Д. Я. Ровинский, Э. Д. Браун; Отв. ред. И. М. Федорченко. АН УССР. Ин-т проблем материаловедения. - 2-е изд., перераб. и доп. - К.: Наук. думка, 1990. - 264 с. 18. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатов и др.; Под ред. В. М. Школьниковой. Изд. 2-е перераб. и доп. - М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. - 596 с. 19. Моторные масла / Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергалис. - Москва-СПб.: Альфа-Лаб, 2000. - 272 с. 20. Трансмиссионные масла. Пластичные смазки. / Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергалис. - СПб.: ООО «Изд-во ДНК», 2001. - 208 с. 21. Караулов А. К., Худольный Н. Н. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: Справочник. - К.: Журнал «Радуга», 2000. - 436 с. 22. Мир ТСМ 2002. Каталог топливно-смазочных материалов. Топлива, масла, смазки и технические жидкости / Под ред. А. К. Караулова. - Киев: Журнал «Радуга», 2002. - 256 с. 23. Синельников А. Ф., Балабанов В. И. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости: Краткий справочник. - М.: ЗАО КЖИ «За рулём», 2003. - 176 с. 24. Синельников А. Ф., Синельников Р. А. Автохимия: Краткий справочник. - М.: ЗАО КЖИ «За рулём», 2003. - 152 с. 25. Кирпиченко Ю. Е., Трофименко А. Ф. Основы трибологии: Теория. Лабораторный практикум. Упражнения. - Гомель: Инфотрибо, 1995. - 224 с. 26. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алипина. - М.: Машиностроение, 1978. - Кн. 1. 400 с. 27. Фукс И. Г., Буяновский И. А. Введение в трибологию: Учебн. пособ. - М.: Нефть и газ, 1995. - 278 с. 28. Гаркунов Д. Н. Триботехника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 328 с. 29. Мур Д. Основы и применения трибоники: Пер. с англ. С. А. Харламова; Под ред. И. В. Крагельского. - М.: Мир, 1978. - 488 с. 30. Бонер Ч. Дж. Редукторные и трансмиссионные масла: Пер. с англ. - М.: Химия, 1967. - 539 с. 31. Роундс Ф. Г. Влияние присадок на трение стали по стали. Взаимодействие присадок с базовым маслом // Новое о смазочных материалах: Пер. с англ. Ю. Я. Подольского. - М.: Химия, 1967. - С. 74-88. 32. Матвеевский Р. М. Температурная стойкость граничных смазочных слоёв и твёрдых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. - М.: Наука, 1971. - 228 с. 33. Чихос Х. Системный анализ в трибонике: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. - 352 с. 34. Запорожец В. В., Билякович О. Н., Захарченко А. В. Оценка эффективности действия пакета присадок Компадит-731 // Нефть и газ Украины. - Ивано-Франковск: Факел, 2000. - Т. 3. - С. 139-143. 35. Запорожец В. В., Билякович О. Н., Захарченко А. В. Оптимизация концентрации химически активных веществ в трансмиссионных маслах // Проблемы трибологии (Problems of Tribology), 2000. - № 2. - С. 35-41. 36. Запорожец В. В., Билякович О. Н., Захарченко А. В. Оптимизация концентрации пакета присадок при дегазировании трансмиссионных масел // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ, 2000. - № 109. - С. 208-216. 37. Запорожец В. В., Билякович О. Н., Захарченко А. В. Сравнительная оценка эффективности смазочного действия различных трансмиссионных масел // Авиационно-космическая техника и технология. - Харьков: Гос. авиационно-космический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000. - № 19. - С. 473-477. 38. Запорожец В. В., Билякович О. М., Захарченко А. В. Оцінка мастильної дії трансмісійних олив в залежності від матеріалу трибосполучень // Проблеми трибології (Problems of Tribology), 2000. - № 4. - С. 90-93. 39. Запорожец В. В., Билякович О. М., Захарченко А. В. Підвищення мастильної дії трансмісійних олив в умовах граничного режиму тертя // Авіа-2001. - Київ: НАУ, 2001. - Т. 1. - С. 14.110-14.113. 40. Sharma J. P., Cameron A. Surface roughness and load in boundary lubrication // ASLE Trans. - 1973. - Vol. 16, № 4. -

P. 258-264. **41.** Исследование противозадирных и трибохимических свойств некоторых масел и присадок температурным методом / *Р. М. Матвеевский, Д. К. В. Шульце, К. Шауэрхаммер, И. А. Буяновский* // Исследования по триботехнике. - М.: НИИМаш, 1975. - С. 146-152. **42.** Дроздов Ю. Н. Уточнённый метод расчёта на задр пар трения в тяжело нагруженных механизмах // Вестн. машиностр. - 1971. - № 4. - С. 25-29. **43.** *Онищенко В. П.* Влияние легированной смазки на долговечность зубчатых колёс угледобывающих комбайнов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Донецк. политехн. ин-т. - Д., 1972. - 32 с. **44.** *Niemann G., Lechner G.* The measurement of surface temperatures on gear teeth // *Pap. Amer. Soc. Mech. Eng.* - 1964. - № 17. - P. 152-163. **45.** *Retting H.* Die Fresslastgrenze von Getriebeölen // *VDI-Z.* - 1962. - В. 104, № 28, Teil 2. - S. 210-221. **46.** *Forbes E. P.* The load-carrying action of organo-sulphur compounds. A review. // *Wear.* - 1970. - Vol. 15, № 2. - P. 87-96. **47.** *Павловская Н. Т., Виноградов Г. В., Безбородько М. Д.* О противозадирных свойствах и окисляемости нафтино-парафиновых фракций вязких и маловязких нефтяных масел // Состав и свойства высокомолекулярной части нефти. - М.: Изд-во АН СССР, 1958. - С. 196. **48.** Особенности совместного действия воздуха (молекулярного кислорода) и тио-, фосфор-хлорорганических соединений как присадок к нефтяным маслам различной вязкости / *Г. В. Виноградов, Лян Го Линь, Ю. Я. Подольский, П. И. Санин, Е. С. Шепелева.* - М.: Нефтехимия, 1961. - С. 3, 433. **49.** *Vinogradov G., Korepova J. V., Podolsky Ju. Ja.* Effect of oxidation on boundary friction of steel in hydrocarbon media and critical friction dates under which cold and hot seizure (or welding) develop // *Trans. ASME, Journ. Basic Eng., Ser. D.* - 1965. - № 3. - P. 741. **50.** *Friedrich D.* Über die Abhängigkeit des Verschleißes an Bauteilen des Zylinder-Kolben-Komplexes von Dieselmotoren bei Verwendung unterschiedlich legierter Motorenöle // *Schmieringstechnik.* - 1978. - В. 9, № 4. - S. 107-110. **51.** *Vamos E., Valasek I.* Reibungsvermindernde Wirkung von Mehrbereichsmotorenölen im Flüssigkeitsbereich // *Schmieringstechnik.* - 1976. - В. 7, № 6. - S. 167-171. **52.** *Meyer K., Keil G.* Zur Wirkungsweise von reib- und verschleißmindernden Zusätzen in Schmierölen // *Chemische Technik.* - 1979. - № 8. - S. 411-415. **53.** *Bohlmann H., Saxe H.* Kennzeichnung der Detergent-Eigenschaften von Motorenölen // *Schmieringstechnik.* - 1974. - В. 5, № 5. - S. 272-276. **54.** *Jäger G., Knispel G.* Beurteilung von Additiven unter dem Gesichtspunkt ihres Wirkungsmechanismus, dargestellt am Beispiel der Detergent-Dispersant-Zusätze // *Schmieringstechnik.* - 1977. - В. 8, № 1. - S. 24-28. **55.** *Autorenkollektiv.* Standard Handbook of Lubrication Engineering. - New York: McGraw Hill Co, 1968. **56.** *Pavelescu D.* *Neuere Anschauungen, Berechnungen und Anwendungen auf den Gebieten Reibung und Verschleiß* - Bukarest: Verlag der Sozialistischen Republik Rumänien, 1971. **57.** *Розенберг Ю. А., Виноградова И. Э.* Смазки механизмов машин. - М.: Гостоптехиздат, 1960. - 340 с. **58.** *Chemical Modification of Friction Surfaces / П. И. Санин, Е. С. Шепелева, А. О. Маник, Е. Ф. Клейменов.* - *Trans. of ASME, Ser. D.* - 1965. - № 9. - S. 771-777. **59.** *Виноградов Г. В., Подольский Ю. Я., Безбородько М. Д.* Использование машин с точечным контактом тел трения для оценки износа металлов, противозадирных и антифрикционных свойств смазочных материалов. Методы испытания на изнашивание. - М.: АН СССР, 1962. **60.** *Матвеевский Р. М., Буяновский И. А., Лазовская О. В.* Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. - М.: Наука, 1978. - 192 с. **61.** Смазочные масла с противозадирными присадками // *Puranto enjinia = Plant Eng.* - 1998. - Vol. 30, № 11. - P. 22. **62.** *Kawai N.; et al.:* The Frictional Characteristics of Mineral Oils in Sheet Metal Drawing // *Bull. Jap. Soc. Mech. Eng.* - 1972. - Vol. 15, № 83. - P. 635-641. **63.** *Райко М. В.* Смазка зубчатых передач. - К.: Техніка, 1970. - 196 с. **64.** *Виноградова И. Э., Кожемякина Н. Н., Тужилкина В. Г.* О синергизме некоторых присадок к маслам // Проблемы трения и изнашивания. - Киев: Техніка, 1973. - № 4. - С. 105-110. **65.** *Vunper A. B., Крейн С. Э., Бауман В. Н.* Влияние концентрации присадок на их солибилизирующую способность // *Нефтехимия.* - 1968. - Вып. 6, № 8. - С. 922. **66.** Поверхностная прочность материалов при трении / *Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, А. К. Караулов* и др.; Под общ. ред. д-ра техн. наук *Б. И. Костецкого.* - К.: Техніка, 1976. - 296 с. **67.** *Матвеевский Р. М., Буяновский И. А., Лаиши В. Л.* О синергизме присадок в граничном слое и в объёме // *Нефтепереработка и нефтехимия.* - 1975. - № 1. - С. 23-24. **68.** *Виноградов Ю. М.* Трение и износ модифицированных металлов. - М.: Наука, 1972. - 152 с. **69.** Новые смазочные материалы. Das Know-how liegt in der Additivierung // *Produktion: Die Wochenzeitung für das technische Management.* - 2000. - № 21. - S. 15. **70.** *Чой У. С., Ан Б. Г., Квон О. К.* Противозадирные характеристики дибутил-3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксibenзилфосфоната, используемого в качестве новой присадки к маслам для контактов скольжения и качения // Трение и износ. - 1993. - Т. 14, № 4. - С. 718-724. **71.** *Rowe C. N., Diskert J. J.* // *ASLE Trans.* - 1967. - Vol. 10. - P. 85-90. **72.** *Rounds F. G.* // *ASLE Trans.* - 1967. - Vol. 10. - P. 243-255. **73.** *Gallopoloulos N. E., Murphy C. K.* // *ASLE Trans.* - 1971. - Vol. 14. - P. 1-7. **74.** *I-Ming Fieng* // *Wear.* - 1960. - Vol. 3. - P. 309-311. **75.** *Dorinson A.* // *ASLE Trans.* - 1978. - Vol. 22, № 2. - P. 190-192. **76.** *Rounds F. G.* // *ASLE Trans.* - 1980. - Vol. 24, № 4. - P. 431-440. **77.** *Spedding H., Watkins R. C.* // *Tribology Int'l.* - 1982. - Vol. 15. - P. 9. **78.** *Barcroft F. T., Bird R. J., Hutton J. F., Park D.* // *Wear.* - 1982. - Vol. 26. - P. 355. **79.** Совершенствование технологии производства присадок. - К.: Наукова думка, 1976. - 276 с. **80.** *Виноградова И. Э.* Противозадирные присадки к маслам. - М.: Химия, 1972. - 272 с. **81.** Присадки к смазочным маслам // *Труды ИХП АН АзССР.* - Баку: Изд-во АН АзССР. - 1967. - Вып. 1. - 298 с. **82.** Структурно-энергетический подход к оценке влияния смазочных композиций на износостойкость трибосопряжений. Ч. 1. Структурно-энергетическая модель изнашивания // Трение и износ. - 2001. - Т. 22, № 2. - С. 168-172. **83.** Металлоплакирующая смазка: А. с. 179409 СССР, МКП С10М С1/02 / *Д. Н. Гаркунов, В. Н. Лозовский, В. Г. Шимановский* (СССР). - Бюл. изобр., 1966. - № 21. **84.** Пат. 1639040 СССР, С10М 63/00, 1991. Металлоплакирующий смазочный концентрат для ДВС / *И. В. Фришберг, Н. В. Кишкопаров, О. Ю. Субботина, Н. И. Латош* (СССР). **85.** Влияние ультрадисперсного порошка сплава Cu-Sn на массоперенос при трении скольжения / *В. В. Харламов, Л. В. Золотухина, И. В. Фришберг* и др. // Трение и износ. - 1999. - Т. 20, № 3. - С. 333-338. **86.** Антифрикционная смазка: А. с. 255465 СССР, МКП С10Т С1/01 / *В. Г. Шимановский, Р. М. Матвеевский, М. Н. Шепер* (СССР). - Бюл. изобр., 1969. - № 23. **87.** Пат. 2123030 РФ, МКИ 125/00, 1998. Смазочная композиция / *В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, А. Г. Сёмин* и др. (РФ). **88.** Пат. 210790 РФ, МКИ С10М 125/00, 1998. Трансмиссионное масло / *В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, В. В. Венскийтис* и др. (РФ). **89.** *Радин Ю. А., Сулов П. Г.* Безызносность деталей машин при трении. - Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1989. - 352 с.

Поступила в редакцию 10.01.2005