

УДК 621.896

**Поповский А. Ю.¹, Алтмуз Б. А.², Бутенко А. Ф.², Конейка А.К.²,
Laurencas Raslavicius³**

¹ Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Украина, 65029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8

² Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова. Украина, 65082, г. Одесса, ул. Дворянская, 2

³ Kaunas University of Technology, Lithuania, 44312 Kaunas, Kęstučio g. 27
E-mail: alexejpopovskij57@gmail.com

Эксплуатационные характеристики новых смазочных материалов биологического происхождения

*В работе исследованы характеристики смазывающих сверхтонких слоев биосмазки СМО изготовленных из прибрежных водорослей *P. Morimorfis*. Одной из важных качеств масла является его маслянистость, смачиваемость им поверхностей пар трения. Она способствует формированию на последних необходим для надежной работы триады трения устойчивой разделительной пленки - поверхностному слою молекул с ориентационной упорядоченностью с прочностью, необходимой в режимах граничного трения. Структурные характеристики таких епитропно-жидкокристаллических (ЭРК) слоев являются существенно важными при выборе смазочного материала. Статическая пара трения исследовалась с помощью оптического метода измерения дихроизма примесного поглощения. Выявлено, что величина параметра порядка и равновесная толщина ЭРК слоя СМО значительно выше, чем в слоях алифатических углеводородов, которые являются основой современных минеральных масел. В динамической триаде трения исследовались реологические характеристики слоев этого слоя. Из полученных зависимостей эффективного коэффициента вязкости слоя (с ЭРК слоями) от температуры и скорости сдвига в нем, установленные эти же зависимости для толщины ЭРК слоя. Характерные структурные особенности ЭРК в слоях биосмазки связываются с особенностями формирования молекулярных ассоциатов олеиновой кислоты, которая является главной составной частью биосмазки.*

Введение. Современные мощные энергетические установки (главным образом на транспорте) являются крупными потребителями не только топлива, но и ряда других рабочих веществ, к которым в первую очередь относятся смазочные материалы. При этом надежная и эффективная эксплуатация установок невозможна без технического обслуживания ее элементов, связанной с необходимостью правильного подбора материалов для смазок некоторых узлов, как самих двигателей, так и технических средств их обслуживающих. Современные разрабатываемые технологические смазочные средства должны обладать не только достаточно высокими смачивающими, смазочными и охлаждающими свойствами, но и удовлетворять другим эксплуатационным требованиям – таким, как не токсичность, антикоррозионность, стабильности бактериостойкость [1,2]. Повышенный расход смазочных материалов обуславливает необходимость их рециркуляции (с дополнительной фильтрацией после первичного использования). Однако при этом такие материалы должны обладать темпера-

турной стойкостью, а процесс фильтрации не должен изменять их основные характеристики.

В настоящее время успешно развиваются новые технологии синтеза возобновляемых топливно-смазочных материалов. Исходные биоконпоненты обуславливают отличие их состава и характеристик от традиционных современных материалов, полученных переработкой ископаемых ресурсов [3], поэтому представляется важным и актуальным исследование свойств этих материалов. В частности, практический интерес представляет исследование влияния свойств особого приповерхностного состояния в прослойках смазки триад трения на характер их функционирования.

Известно [4], что в некоторых органических жидкостях, к которым относятся и смазочные материалы, при определенных условиях (наличие активных поверхностных адсорбционных центров и анизотропия формы молекул вблизи поверхности подложек возможно образование тонких ориентационно-упорядоченных приповерхностных слоев – эпитропно-жидкокристаллической (ЭЖК) фазы [5], которые состоят из олигомерных структур [6]. «Ворс» последних повышает упруго-демпфирующие свойства смазочного материала и, как следствие, его сопротивление нормальным нагрузкам (препятствуют продавливанию смазывающей прослойки в режиме как статическом, так и граничного трения в радиально нагруженном валу обойме, поскольку несущая способность смазывающих пленок исчисляется десятками тысяч килограмм на см² [7]).

Используемые в настоящее время минеральные смазочные масла обычно представляют собой механическую смесь неактивных углеводородов, включая органические кислоты, смолы и другие поверхностно-активных вещества. Поэтому почти все смазочные масла образуют на металлических поверхностях эпитропно-жидкокристаллическую граничную фазу, обладающую более или менее прочной связью с поверхностью и продольной когезией. Физические характеристики ЭЖК слоев в значительной степени зависят от элементного состава смазки. Молекулы и сформированные из них молекулярные ассоциаты смазочного материала ориентируются в ЭЖК слое обычно гомеотропно (перпендикулярно к твердой поверхности), что позволяет представить для наглядности такой слой в виде «ворса» (рис. 1). Эта гипотеза выдвинута в [8], нашла теоретическое обоснование в работе [6].

При относительном перемещении поверхностей трения "ворсинки" как бы изгибаются в противоположные стороны, вызывая деформацию продольного

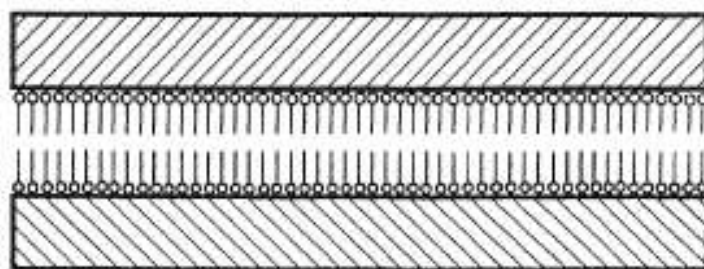


Рис. 1. Схематическая структура ориентации молекул в ЭЖК слое смазки

изгиба вектора директора (bendtypedeformation). Такой «перекос» обуславливает повышение сопротивления пленки скольжению, а на восстановление ориентации олигомерных ассоциатов в исходное до перемещения положение (по нормали к подложке) – требуется некоторое, иногда не малое, время. Анизотропность смазочного материала в граничном слое приводит к тому, что в тангенциальном направлении «ворс» изгибается, а часть оторвавшихся от него ассоциатов увлекаются течением, способствуя в динамическом функционировании трибосопряжения снижению эффективного момента трения.

Поэтому наличие в смазочных материалах ЭЖК слоев определяет условия безаварийной эксплуатации и повышения ресурса работы механизма за счет минимизации износа его узлов трения.

1. Исследуемые препараты. Исследуемая смазка биологического происхождения производилась путем переработки микроводорослей класса **P.morformis**. Её химический состав, определенный хроматографически, представлен в таблице 1 [9]. Как видно из таблицы, основным компонентом биосмазки является олеиновая кислота – $C_{17}H_{33}COOH$, молекула которой изогнута в виде бумеранга, поэтому очевидно, что многие физические характеристики данной смазки будут подобны свойствам олеиновой кислоты.

2. Методы исследования. Важнейшими структурными параметрами ЭЖК слоя является величина его равновесной толщины d_{s0} и значение параметра структурного порядка S . При установлении этих величин использовались модифицированные [5] методы исследования ориентационной упорядоченности, существующей в объеме классических термотропных ЖК. В наших исследованиях применялись две методики: 1) измерения дихроизма поглощения (как разрушающий метод оптического зондирования) и 2) ротационной вискозиметрии.

Как уже отмечалось в [10], структура матрицы основного соединения исследовалась путем измерения поглощения (в области атмосферного ультрафиолета) примесного красителя, растворенного в ней (т.н. метод «гость-хозяин»)¹.

Таблица 1. Состав биосмазки [9].

Название компонента – предельной жирной кислоты	Число углеродных атомов и двойных связей	Относительное содержание, %	Погрешность определения, 10^{-3} %
Пальмитиновая	C16:0	2.65	5
Пальмито-олеиновая	C16:1	0.48	2
Стеариновая	C18:1	1.14	9
Олеиновая	C16:0	90.81	18
Линолиевая	C18:2	3.72	3
Линоленовая	C18:3	1.19	4

¹Отказ от более информативного [5, 11] анализа электронных полос собственного поглощения исследуемых смазочных материалов связан с тем, что их молекулы не содержат двойных химических связей, вследствие чего эти полосы расположены в области вакуумного ультрафиолета ($\nu > 50000 \text{ cm}^{-1}$).

При достаточной степени изоморфности молекул матрицы и примеси (сопоставимости структурные характеристики их молекул) получаемая этим методом информация также является достоверной. Применяемый краситель должен характеризоваться высокими значениями экстинкции и растворимости. В отличие от использованного ранее в исследованиях ЭЖК слоев нормальных алканов популярного органического красителя «судана черного» в качестве гостя при исследованиях прослоек биомасла применялся другой известный краситель – «судан красный» (максимум полосы поглощения $\lambda_{\max} = 0.472 \mu\text{m}$). Этот краситель, хотя и обладает несколько худшей степенью изоморфности молекул, по отношению к основной матрице, но существенно лучше растворяется в ней. Благодаря высокой экстинкции этого красителя даже при низкой концентрации ($C \sim 1-2$ весовых %) было возможно производить надежные исследования структуры тонких микронных прослоек и при этом наличие внедренных молекул красителя при таких концентрациях практически не влияло на структуру матрицы исследуемых препаратов.

В обеих методиках использовались рабочие кюветы, моделирующие триаду трения: исследуемые жидкие прослойки препарата, были ограничены твердыми подложками – диэлектрическими (кварц) или проводящими (металл) по природе.

В спектральных измерениях (в отсутствии течения прослойки, т.е. в статическом режиме работы триады) величина примесного дихроизма препарата в прослойке определялась ее сканированием «на просвет» монохроматическим световым зондом. Разный тип подложек и разное число активных центров на них, которые играют определяющую роль в свойствах индуцируемых ЭЖК слоев [6], обуславливал существенно различную величину равновесной их толщины $d_{s,0}$. При этом в используемой геометрии эксперимента необходима прозрачность подложек. Для обеспечения прозрачности проводящих металлических подложек наносимый, вакуумным термическим напылением на кварц слой нихрома (С60: Ni40) был достаточно тонок ($h \sim 0.18 \mu\text{m}$). Во всех экспериментах предварительно формировалась клиновидная прослойка жидкости, однако способ ее формирования был различным в зависимости от величины равновесной толщины ЭЖК слоя $d_{s,0}$. При исследованиях субмикронной прослойки, ограниченной кварцевыми подложками, окна кюветы сжимались для образования клиновидного воздушного зазора. Профиль воздушного клиновидного зазора определялся интерферометрически сканированием вдоль клина узким монохроматическим ($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$) световым зондом. При исследованиях прослойки, ограниченной металлизированными подложками, применялись тонкие спейсеры ($H \sim 11.0 \mu\text{m}$), задающие при равномерном сжатии линейную клиновидность зазора в диапазоне $0 \div H$. Затем зазоры капиллярно заполнялись исследуемой жидкостью.

Полученные экспериментальные значения по светопропусканию прослойки на длине волны максимума поглощения примеси в зависимости от толщины зазора представлялись в полулогарифмических координатах с дополнительным нормированием на максимум светопропускания, отвечающее зоне оптического

контакта подложек. Из таких зависимостей определялась локальная (для каждой толщине d) величина оптической плотности прослойки $D_{opt} = f(d)$. Отклонение этой зависимости от линейной формы закона Бугера свидетельствует о неоднородной структуре – гетерофазности прослойки.

Одновременно с оптическими исследованиями структуры пристенных ЭЖК слоев в тонких смазывающих прослойках практически важным представлялось изучение их реологических характеристик, т.е. исследование динамического режима работы триады. Это связано с тем, что именно особенности реологических характеристик существенным образом влияют на работу узлов трения механизмов после пуска последних. Для проведения реологических измерений применялась ротационная пара специально сконструированного микровискозиметра [11, 12], моделирующая уже динамическую триаду трения. В режиме куэттовского течения измерялась зависимость эффективной вязкости тонких (толщиной $d \sim 1 \div 10$ мкм) прослоек препарата от скорости сдвиговой деформации $\dot{\gamma}$ (в диапазоне $\dot{\gamma} = 100 \div 15000$ с⁻¹). Толщина прослойки в процессе изотермического эксперимента (постоянство температуры прослойки фиксировалось с точностью 0.03 К электрическим термометром сопротивлений) контролировалась емкостным методом.

3. Полученные результаты и обсуждение. Экспериментальная толщинная зависимость оптической плотности препарата биомасла из *P. Moriformis* (РМО) была измерена нами для прослоек, ограниченных диэлектрическим и проводящими подложками, как это показано на рис.2.

Приведенная зависимость дает возможность определить среднее значение линейного коэффициента поглощения света $\mu = D / d$ прослойкой препарата. В области малых толщин прослойки этот коэффициент понижен и остается примерно (в пределах экспериментальной погрешности) постоянным, а затем, при превышении некоторой критической толщины прослойки начинает монотонно

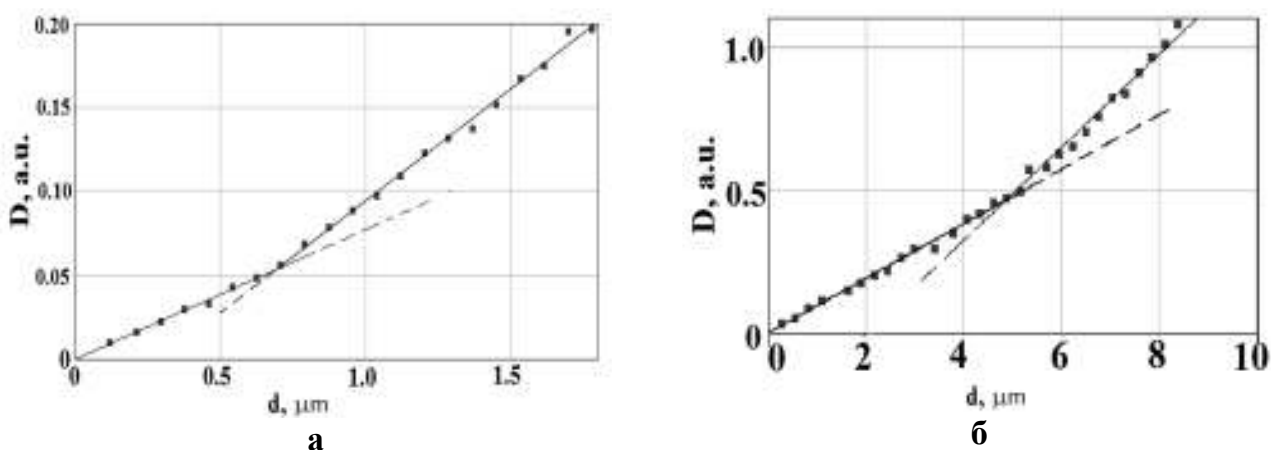


Рис. 2. Экспериментальные толщинные зависимости оптической плотности $D(d)$ раствора примесных молекул красителя «судан красный» в прослойке биомасла РМО. Температура – 20⁰ С. Прослойка ограничена кварцевыми (а) и металлизированными(б) подложками. Концентрация гостя c в первом случае составляла $\sim 1.2\%$, а во втором – $\sim 1.46\%$.

возрастать, асимптотически приближаясь к коэффициенту поглощения объемной изотропной жидкости. Логично предположить, что структура прослойки биомасла РМО может быть, как и ранее, промоделирована в виде слоистой гетерофазной структуры. Вблизи подложек формируются пристенные ориентационно упорядоченные ЭЖК слои с практически постоянным значением коэффициента поглощения и, соответственно, постоянным параметром порядка (как матрицы, так и внедренного в нее «гостя»). Эти слои разделены центральной прослойкой объемной жидкости с нулевым параметром порядка и также постоянным коэффициентом поглощения.

Экспериментальные кривые на рис. 2 дают возможность аппроксимировать их ломаными линиями (двумя линейными зависимостями). Угловые коэффициенты наклона прямых, которые соответствовали линейным коэффициентам поглощения, выбирались из условия минимума суммарной дисперсии аппроксимируемой экспериментальной зависимости $D(d)$. Численное дифференцирование экспериментальной зависимости с учетом выбранной формы аппроксимации позволила получить толщинную зависимость локального коэффициента светопоглощения в исследуемой прослойке биомасла РМО (рис.3).

Это позволило установить структурные параметры ЭЖК слоев в каждом из случаев. В случае диэлектрических ограничивающих подложек значения линейных коэффициентов поглощения пристенного ЭЖК слоя и объемной изотропной жидкости соответственно равны – $\mu_s = 0.077 \mu m^{-1}$, $\mu_{iso} = 0.134 \mu m^{-1}$ а равновесная протяженность удвоенного ЭЖК слоя биомасла РМО составляет $\sim 0.69 \mu m$. Тогда толщина каждого из ЭЖК слоев на подложках составляет $\sim (0.34 \pm 0.03) \mu m$ или ~ 180 молекулярных слоев олеиновой кислоты (как основного компонента смеси биомасла), а их упорядоченность (параметр порядка таких, уже структурированных слоев, составляет – $S_{матр} \leq S_{прим} = 1 - \mu_s / \mu_{iso} \approx (0.42 \pm 0.02)$. Если сравнить эти значения с результатами, полученными для ЭЖК слоев олеиновой кислоты на кварце [10] – $d_{0s} \sim 0.56 \mu m$ и

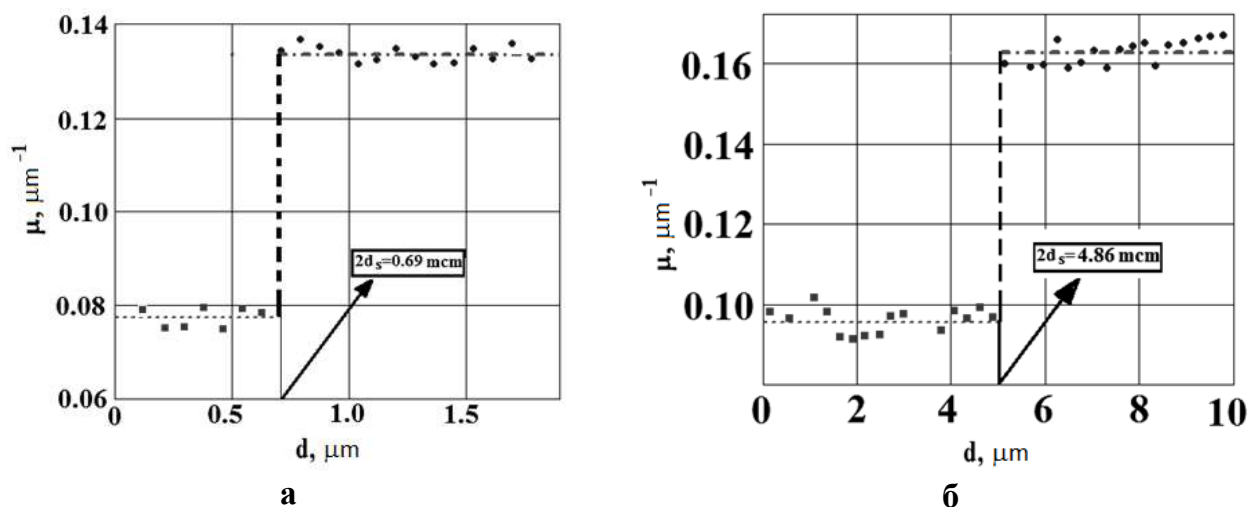


Рис. 3. Толщинная зависимость локального значения линейного коэффициента поглощения $\mu(d)$ прослойки биомасла РМО, ограниченной кварцевыми (а) и металлизированными подложками (б)

$S \sim (0.42 \pm 0.02)$, то можно отметить, что в ЭЖК слоях биомасла РМО на кварце наблюдается примерно такая же степень ориентационной упорядоченности, как и в чистом препарате олеиновой кислоты. Такая, аномально высокая, сравнительно с измеренными ранее значениями параметра порядка в углеводородах гомологического ряда предельных алканов [12-14], упорядоченность поясняется [15] особой изогнутой («бумерангоподобной») формой молекул олеиновой кислоты, которые способны эффективно димеризоваться в процессе формирования олигомерных ассоциатов при взаимодействии с подложкой. Вместе с тем, протяженность такого слоя в биомасле РМО оказалась на $\sim 60\%$ меньшей, что, по-видимому, связано с фактором дезориентирующего действия прочих компонентов биосмеси.

Подобный же анализ зависимости $\mu(d)$ для биомасла РМО, приведенный на рис. 2б позволили на металлизированной поверхности определить структурные параметры ЭЖК слоя. Значения коэффициентов поглощения составляют – $\mu_s = 0.092 \mu m^{-1}$, $\mu_{iso} = 0.163 \mu m^{-1}$, параметр ориентационного порядка в нем составляет $S = 1 - 0.092 / 0.163 \approx (0.44 \pm 0.04)$, а равновесная толщина пристенного слоя $d_{0s} \approx 4.86 / 2 \approx (2.43 \pm 0.15) \mu m$, что соответствует уже 1200 молекулярным слоям. Полученные величины очень близки к значениям структурных параметров ЭЖК слоя олеиновой кислоты на металлизированной подложке ($d_{0s} \sim 2.46 \mu m$, $S \sim 0.49$). Это доказывает, что основной компонент биосмазки – олеиновая кислота формирует высокоструктурированные и протяженные ЭЖК слои, которые играют важную роль в обеспечении высоких трибологических характеристик смазывающих прослоек из этого материала. В статике эти протяженные слои, благодаря гомеотропной ориентации молекул и высокой величиной параметра порядка в нем, препятствуя продавливанию смазывающей прослойки, предотвращают контакт подложек триады трения. То есть наличие таких слоев особенно важно для обеспечения безаварийности пусков в граничных режимах трения.

Вместе с тем эффект «срезания» пристенного ЭЖК слоя в процессе возрастания скорости сдвиговой деформации делает актуальным проведение реологических исследований прослоек смазывающих материалов. Изучение зависимости величины эффективной вязкости прослойки от скорости сдвига и температуры позволяет получить важную информацию о характеристиках структурного компонента прослойки – олигомерного «ворса», сформированного благодаря адсорбционному взаимодействию молекулярных димеров с активными центрами подложек. В настоящем сообщении представлены результаты реологических исследований в изотермическом режиме (при комнатной температуре).

На рис. 4 представлена зависимость эффективной (измеряемой в эксперименте) вязкости прослоек биомасла РМО различной толщины от скорости деформации $\dot{\gamma}$. Как видно из представленного рисунка с ростом скорости деформации происходит «срезание» пристенного слоя в результате чего величина эффективной вязкости падает. Одновременно эффективная вязкость убывает, приближаясь к объемному значению, при увеличении толщины прослойки, по-

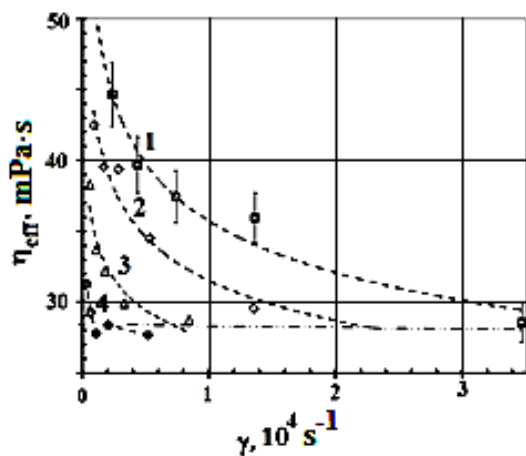


Рис.4. Зависимость эффективной вязкости прослоек биомасла различных толщин d , мкм (1 – 1.48; 2 – 3.0; 3 – 6.5; 4 – 12.0) от скорости сдвиговой деформации γ в стальной динамической триаде трения. Штриховые линии соответствуют трендам зависимостей, а штрихпунктирная – объемной вязкости препарата

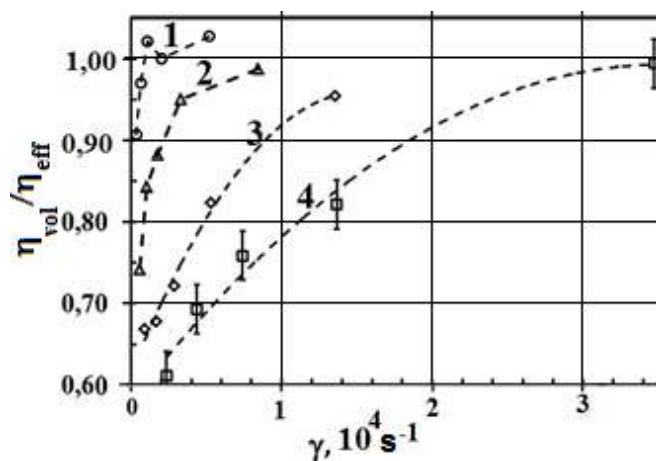


Рис. 5. Зависимость относительной вязкости прослоек биомасла РМО от скорости сдвига. Толщины прослоек для каждой из 4 кривых аналогичны предыдущему рисунку. Штриховые линии соответствуют трендам зависимостей

скольку в процессе ее утолщения увеличивается доля изотропной объемной жидкости, которая расположена в центральной части ее.

На рис. 4 представлены графики зависимости относительной эффективной вязкости биомасла РМО от скорости деформации для различных толщин прослоек в динамической триаде трения. Экстраполяция трендов экспериментальных зависимостей позволяла определить предельные (максимальные) значения эффективной вязкости η_{eff}^0 , которые зависели только от толщины прослойки d .

В соответствии с развитой в [16] гидродинамической моделью зависимости относительной вязкости от обратной толщины прослойки $\eta_{\text{vol}} / \eta_{\text{eff}}^0 = f(1/d)$ является линейной (но с разным угловым коэффициентом в различных диапазонах толщин прослоек). На рис. 6 приведена данная экспериментальная зависимость для биомасла РМО при комнатной температуре ($t = 20^\circ\text{C}$).

На аппроксимирующей зависимости наблюдаются две точки излома. Каждая из них соответствует превращению гетерофазной прослойки в гомогенную. В первой точке, для толщины $d = 2d_{0s}$, в центре прослойки исчезает изотропная жидкость и у каждой из ограничивающих подложек существуют не перекрытые ЭЖК слои. Для второй точки при толщине ее $d = d_{0s}$ сжатие привело к перекрытию двух ЭЖК слоев. Абсцисса второй точки излома графика на рис. 4 позволяет определить значение равновесной толщины ЭЖК слоя – $d_{0s} = (1/0.44) \sim (2.38 \pm 0.2)$, что практически совпадает с результатом найденным оптическим методом.

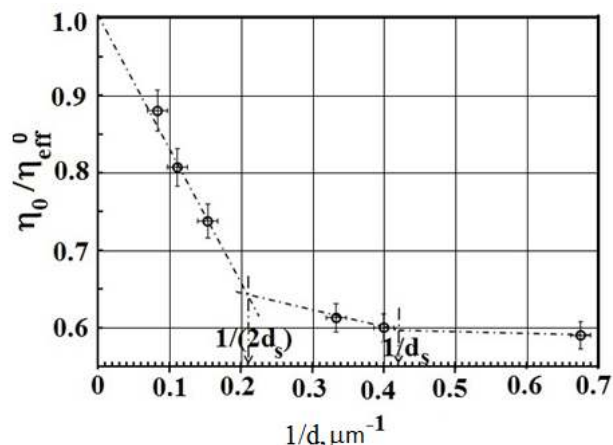


Рис. 6. Зависимость предельной относительной вязкости прослойки биомасла РМО от обратной ее толщины. Температура – комнатная.

Выводы. Результаты исследования ЭЖК слоев биомасла РМО показывают, что они обладают большой протяженностью и высокой степенью упорядоченности, что позволяет эффективно использовать их в качестве смазывающего материала в парах трения. Следует полагать, что повышенные значения структурных параметров ЭЖК слоя сравнительно с углеводородами гомологического ряда непредельных *n*-алканов, которые служат основой современных минеральных масел, обусловлены высоким содержанием олеиновой кислоты в этом соединении. Эти параметры обеспечивают высокую величину «маслянистости» данного соединения, т.е. способность создавать на контактирующих поверхностях разделительную пленку требуемой в режимах граничного трения прочности. Удовлетворительные значения плотности и показателя вязкости смазывающей прослойки на основе биомасла РМО также обуславливают возможность использования ее в практических целях. Вместе с тем, отсутствие данных по температурной зависимости физических характеристик исследуемых материалов – в первую очередь индекса вязкости (относительной величины, показывающей степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры), а также информации по термоокислительной стабильности (устойчивости к окислению при нагреве до максимальных рабочих температур) не дают пока возможности дать однозначные рекомендации по практическому использованию данного соединения и требуют проведения дальнейших исследований.

Литература:

1. Васильев Б. В., Ханин С. М. Надежность судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1989. – 184 с.
2. Поповский А. Ю., Сагин С. В. // Автоматизация судовых технических средств. 2016. С. 66.
3. Петров А. А. Углеводороды нефти. – М.: Наука. 1984.
4. Дерягин Б. В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – Москва, Наука, 1985.
5. Altoiz B. A., Popovskii Yu. M., Popovskii A. Yu. // MolecularMaterials. 1995. V. 95. P. 113.

6. Алтоиз Б. А., Бондарев В. Н. // ЖТФ. 2020. Т. 90, Вып. 5, С. 725.
7. Воскресенский В. А., Дьяков В. И. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник. – М.: Машиностроение, 1980.
8. Finch G.I. // Structure and Formation of Thin Films. – 1937. – Vol. 56. № 28. – P. 632.
9. Laurencas Raslavičius et al.// Fuel. – 2018. – Vol. 220. – P. 140.
10. Altoiz B. A., Popovskii A. Yu., Butenko A. F.// Физика аеродисперсних систем. – 2018. – № 55. – P. 3.
11. Михайленко В. И., Поповский А. Ю., Кузнецова А. А.// Журнал Прикладной Спектроскопии. – 2006. – Т.73, №4. – С. 443.
12. Алтоиз Б. А., Кириян С. В.// Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т.83, № 3. – С. 608 -613.
13. Кириян С. В., Алтоиз Б. А., Шатагина Е. А. // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Т. 86, № 2. – С. 371 -374.
14. Поповский А.Ю., Алтоиз Б. А., Бутенко А.Ф. // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92. № 3. – С. 727.
15. Поповский А. Ю., Алтоиз Б.А., Бутенко А. Ф. // Физика аеродисперсних систем. – 2019. – № 57. – С. 34-46.
16. Altoiz B. A., Butenko A. F., Kiriyan S. V.// Technical Physics. – 2018. – Vol. 63. –P. 1.

***Поповський О. Ю., Алтоїз Б. А., Бутенко О. Ф., Копійка О.К.,
Laurencas Raslavičius***

**Експлуатаційні характеристики нових мастильних матеріалів
біологічного походження**

АНОТАЦІЯ

*В роботі досліджено характеристики змащуючих надтонких прошарків біооливи РМО виготовлених з прибережних мікродоростей *P.Moriformis*. Однією з найважливіших якостей оливи є її маслянистість, змащуваність нею поверхень пар тертя. Вона сприяє формуванню на останніх необхідною для надійної роботи тріади тертя стійкої розділової плівки – поверхневому шару молекул з орієнтаційною впорядкованістю з міцністю, яка необхідна у режимах граничного тертя. Структурні характеристики таких епітропно-рідкокристалічних (ЕРК) шарів є істотно важливими при виборі мастильного матеріалу. Статична пара тертя досліджувалася за допомогою оптичного методу вимірювання дихроїзму домішкового поглинання. Виявлено, що величина параметру порядку η рівноважна товщина ЕРК шару РМО значно вище, ніж у шарах аліфатичних вуглеводів, які є основою для сучасних мінеральних мастил. У динамічній тріаді тертя досліджувались реологічні характеристики прошарків цього шару. З одержаних залежностей ефективного коефіцієнту в'язкості прошарку (з ЕРК шарами) від температури та швидкості зсуву у ньому, встановлені ці ж залежності для товщини ЕРК шару. Характерні структурні особливості ЕРК в прошарках біооливи пов'язуються з особливостями формування молекулярних асоціатів олеїнової кислоти, яка є головною складовою часткою біооливи.*

Popovskii A. Yu., Altoiz B. A., Butenko A. F., Kopeyka A.K., Laurencas Raslavicius
Operational characteristics of new biological lubricants

SUMMARY

The lubricating characteristics of ultrathin interlayers of bio-oil RMO made from coastal algae *P.Moriformis* are investigated in this work. One of the most important qualities of the oil is its lubricity of the friction surfaces. It determines the possibility of formation of a stable separating film between contact surfaces, with orientational ordering in wall adjacent layers, with the strength value required in the boundary friction regime. The structural characteristics of such epitropic-liquid crystal (ELC) layers are essential when choosing a lubricant. Static friction pair was studied by the optical method of admixed absorption dichroism. It was found that the value of the order parameter of ELC layer and its equilibrium thickness are much higher in compare with the layers of aliphatic hydrocarbons, which are the basis of modern mineral lubricants. The rheological characteristics of ultrathin interlayers were studied in a dynamic triad of friction. Processing of the effective viscosity coefficient dependence on the shear rate, interlayer thickness and temperature allowed us to estimate the value of equilibrium thickness of the ELC layer, which coincides with the results of optical measurements. The marked structural peculiarities of the ELC in the biooil interlayers are conditioned with the formation of molecular associates of oleic acid, which is the main component of studied oil.