

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЛИТОЛА-24 С МЕЗОГЕННЫМИ ПРИСАДКАМИ*

Л.В. Ельникова¹, А.Т. Пономаренко², В.Г. Шевченко²

¹ФГБУ «ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Аликханова»
НИЦ «Курчатовский институт»

д. 25, ул. Большая Черемушкинская, Москва, 117218, Россия
тел.: +7 (906) 086-25-82; e-mail: elnikova@itep.ru

²Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН

д. 70, ул. Профсоюзная, Москва, 117393, Россия
тел.: +7 (495) 333-94-70; e-mail: anapon@ispm.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.10-12.060-069

Заключение совета рецензентов: 28.03.18 Заключение совета экспертов: 05.04.18 Принято к публикации: 12.04.18

Для повышения износостойкости деталей машин в промышленности и сельском хозяйстве применяются разнообразные синтетические смазки с мезогенными присадками, так как добавление присадки в базовую смазку приводит к снижению коэффициента трения и уменьшению износа детали. Такие многокомпонентные системы, как смазки, с присадками являются лиотропными жидкими кристаллами (ЖК) и демонстрируют богатый мезоморфизм, который также влияет на их трибологические характеристики. Построение фазовых диаграмм ЖК смазок с присадками в зависимости от концентрации и термодинамических величин является важной исследовательской задачей в связи с необходимостью оптимизации компонентного состава смазок и выяснения режимов их наиболее эффективного функционирования. В этой связи кроме проведения механических испытаний деталей в присутствии смазочных композиций необходимо изучать физико-химические свойства и проводить структурные исследования многокомпонентных смазок.

Настоящее исследование было проведено с целью дополнить имеющиеся данные оптической и рентгеновской спектроскопии, электронной микроскопии и теоретические оценки термодинамических параметров смазочных композитов результатами диэлектрической спектроскопии. С помощью данного метода впервые исследованы электрические свойства смазочных композиций на основе Литола-24, включающие в себя мезогенные присадки в виде гомологов карбоксилатов меди (II), валерата и изовалерата меди, с концентрацией 1 масс. %, 5 масс. %, 10 масс. % и 20 масс. %. Получены частотные зависимости диэлектрической проницаемости, электропроводности, тангенса угла потерь, температурные и концентрационные зависимости электрических величин смазочных композиций при использовании измерительного электрического поля в диапазоне частот 100 Гц – 1 МГц и при нагреве от комнатной температуры до температур, превышающих температуры плавления Литола-24. Подтверждена возможность возникновения фазовых переходов между колончатой и изотропной жидкокристаллическими фазами при концентрациях присадок 1 масс. %, 5 масс. % и 10 масс. %, по порядку величин оценены энергии активации смазочных композиций. Полученные результаты применимы для анализа трибологических показателей смазочных композиций.

*Ельникова Л.В., Пономаренко А.Т., Шевченко В.Г. Релаксационные и диэлектрические свойства смазочных композиций на основе литола-24 с мезогенными присадками // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018;(10-12):60-69.

Ключевые слова: смазочные композиции на основе Литола-24; присадки; карбоксилаты меди; диэлектрические измерения.

RELAXATION AND DIELECTRIC PROPERTIES OF LUBRICANT COMPOSITIONS BASED ON LITOL-24 WITH MESOGENIC ADDITIVES

L.V. Elnikova, A.T. Ponomarenko, V.G. Shevchenko

¹Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics, NRC Kurchatov Institute
25 Bolshaya Cheremushkinskaya St., Moscow, 117218, Russia
tel: +7 (906) 086 25 82, e-mail: elnikova@itep.ru

²Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials, Russian Academy of Sciences
70 Profsoyuznaya St., Moscow, 117393, Russia
tel.: +7 (495) 333 94 70, e-mail: anapon@ispm.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.10-12.060-069

Referred 28 March 2018 Received in revised form 5 April 2018 Accepted 12 April 2018

In order to improve the wear resistance of machine parts in industry and agriculture, the various synthetic lubricants with mesogenic additives are used. It is established that adding an additive to the base lubricant leads to a decrease in the friction coefficient and a decrease in the wear of the machine parts. Such multi-component systems, lubricants and additives, are lyotropic liquid crystals (LC) and exhibit rich mesomorphism which also affects their tribological characteristics. The composing of phase diagrams of LC lubricants with additives depending on the concentration and thermodynamic quantities is an important research task in connection with the need to optimize the composition of lubricants and to determine the regimes of their most effective employment. In this regard, in addition to mechanical testing of specimens in the presence of lubricant compositions, it is necessary to study the physico-chemical properties and carry out structural studies of multicomponent lubricants.

We were motivated by the possibility to complement the existing data on the optical and X-ray spectroscopy, electron microscopy and theoretical studies of the thermodynamic parameters of lubricant composites by dielectric spectroscopy (DE). Using the method of DE spectroscopy, we first investigated the electrical properties of lubricating compositions based on Litol's-24 comprising mesogenic additives as homologues carboxylates of copper (II), valerate and isovalerate copper in the concentration range 1, 5, 10 and 20 wt. %. We found the frequency dependence of the dielectric permeability, conductance, dielectric loss, as well as the temperature and concentration dependence of the electrical quantities of lubricant compositions in the measuring electric field of the frequency range 100 Hz – 1 MHz and at heating from room temperature to temperatures exceeding Litol's-24 melting temperature. The paper confirms the possibility of the occurrence of phase transitions between the columnar and isotropic liquid-crystalline phases at the concentrations of additives of 1, 5 and 10 wt. %, and estimates the activation energies of the lubricant compositions in order of magnitude. The obtained results are applicable for the analysis of tribological characteristics of lubricant compositions.

Keywords: Litol-24 based lubricant composites; additives; карбоксилаты меди; dielectric measurements.



Лилия Вячеславовна
Ельникова
Liliya Elnikova

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, ФГБУ «ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова» НИЦ «Курчатовский институт».

Образование: НИЯУ МИФИ (1998 г.).

Область научных интересов: физика конденсированных сред; геометрия, топология.

Публикации: 67.

h-index: 2

ORCID: 0000-0003-4525-5755

Information about the author: Ph.D. in Physics and Mathematics, Scientific Researcher, Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics, NRC "Kurchatov Institute".

Education: MPhI National Research Nuclear University, 1998.

Research interests: condensed matter; geometry, topology.

Publications: 67.



Анатолий Тихонович
Пономаренко
Anatoliy Ponomarenko

Сведения об авторе: д-р хим. наук, профессор, действительный член Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, главный научный сотрудник Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН.

Образование: Киевский технологический институт; инженер-технолог (1958 г.).

Область научных интересов: физическая химия; кинетика полимеризационных процессов; современное материаловедение в электромагнитных полях; функциональные структуры с применением полимерных материалов.

Публикации: более 300, в том числе 2 монографии и 1 учебное пособие.
h-index: 11

Information about the author: D.Sc. in Chemistry, Professor, Full Member of Prokhorov Academy of Engineering Science, Principal Researcher at N.S. Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials.

Education: Kiev Institute of Technology, 1958.

Research interests: physical chemistry; polymerization kinetics; materials science in electromagnetic field; polymer-based functional structures.

Publications: more than 300 including 2 books and a textbook.



Виталий Георгиевич
Шевченко
Vitaliy Shevchenko

Сведения об авторе: д-р хим. наук, ведущий научный сотрудник Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН.

Образование: Московский физико-технический институт (1974 г.).

Область научных интересов: полимерные нанокмозиты; диэлектрическая спектроскопия; функциональные наноматериалы.

Публикации: 163.
h-index: 11
ORCID: 0000-0002-1895-9872

Information about the author: D.Sc. in Chemistry, Leading Researcher at N.S. Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials.

Education: Moscow Institute of Physics and Technology, 1974.

Research interests: polymer nanocomposites; dielectric spectroscopy; functional nanomaterials.

Publications: 163.

1. Введение

Для повышения износостойкости деталей машин применяются смазочные композиции, состоящие из базовых смазок и мезогенных присадок. Такие многокомпонентные системы являются лиотропными жидкими кристаллами и могут проявлять мезоморфизм нематического, смектического, дискотического типа [1–3]. Промышленные смазки на основе Литола-24 используются в машинах и механизмах более века, их характеристики и состав стандартизированы [4]. В результате многократных испытаний изделий на машинах трения в присутствии смазочных композиций [1–3] установлено, что добавление присадок к базовым смазкам влияет на их физико-химические свойства и эксплуатационные показатели (в частности, повышается температура плавления, а также улучшаются трибологические характеристики: уменьшается коэффициент трения и износ, увеличивается срок службы деталей машин). Физические свойства присадок, определяющие мезоморфизм в смазочных композициях, изучались методами ин-

фракрасной Фурье-спектроскопии [5] и другими методами, а самоорганизация композитных колончатых фаз предсказывалась в теории [6].

В настоящей работе методом диэлектрической спектроскопии впервые изучены частотные зависимости электрических величин композитов на основе Литола-24 с присадками валерата и изовалерата меди(II) в различных концентрациях в температурных диапазонах от нормальных условий до температур, превышающих температуры плавления. В исследуемых смазочных композициях при изменении концентрации присадки происходит лиотропный переход между изотропной и дискотической фазами [2]. Цель диэлектрических измерений – установление термодинамических и концентрационных зависимостей фазовых диаграмм композитов на основании соотношений электрических величин. Это позволяет детально охарактеризовать мезоморфизм в смазочных композициях с карбоксилатами меди (KM) и решить задачи поиска их перспективных индустриальных и сельскохозяйственных применений.

Список обозначений

Буквы греческого алфавита

$tg\delta$	Тангенс угла диэлектрических потерь
ε'	Диэлектрическая проницаемость
ε''	Диэлектрические потери
σ	Электропроводность, Ом ⁻¹ см ⁻¹

Продолжение списка обозначений

ω	Частота переменного тока, 1/с
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
a	Параметр симметричного уширения релаксационного процесса
b	Параметр асимметричного уширения релаксационного процесса
C	Электрическая емкость ячейки с веществами, Ф
f	Величина переменного тока, Гц
f_0	Обратное время релаксации, 1/с
Q	Энергия активации, эВ
R	Электрическое сопротивление ячейки с веществами, Ом
T	Температура, К
<u>Индексы нижние</u>	
HN	Модель Хаврилиака – Негами
<u>Аббревиатуры</u>	
ДЭ	Диэлектрические
ЖК	Жидкие кристаллы
КМ	Карбоксилат меди

2. Материалы и методы

Гомологи КМ валерат и изовалерат были синтезированы в Ивановском государственном университете, НИИ наноматериалов и Ивановской государственной сельскохозяйственной академии по методикам, изложенным в [3]. Структурная формула валерата и изовалерата меди(II) изображена на рис. 1. Авторами [2–3] были приготовлены смазочные композиции путем механического смешивания Литола-24 с порошками карбоксилатов меди(II) $Cu(C_4H_9COO)_2$ в концентрациях 1 масс.%, 5 масс.%, 10 масс.% и 20 масс.%.

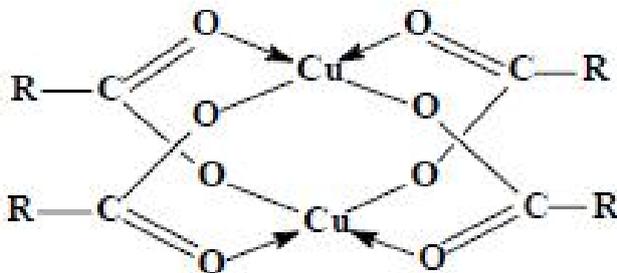


Рис. 1 – Структурная формула валерата и изовалерата меди(II), R = C₄H₉ [3]

Fig. 1 – Structure formula of Cu(II) valerates and isovalerates, R = C₄H₉ [3]

Измерения электрических величин – сопротивления, емкости, индуктивности – проводились в соответствии со стандартной методикой [7] при помощи установки Fluke PM 6303 (измеритель емкости, сопротивления, индуктивности) в диапазоне частот от 100 Гц до 1 МГц с точностью измерений 0,1 % [8]. Программное обеспечение измерительного устройства Fluke PM 6303 позволяет задавать и регулировать параметры и фиксировать результаты измерений в текстовые файлы для последующей обработки.

Образцы в измерительных ячейках емкостью 7 pF помещались в блок термостатирования, который включает в себя воздушный термостат с регулятором

температуры, позволяющим менять скорость нагрева объектов измерений. Объем исследуемого вещества в ячейке составлял 2,12 см³, площадь электрода – 7,07 см². Температура образцов внутри термостата регистрировалась с помощью цифрового термометра Актаком АТТ-2002 с погрешностью измерений, не превышающей 0,5°. Измерение электрических характеристик проводилось в режиме непрерывного нагрева и фиксировалось на данной частоте.

Диэлектрические (ДЭ) измерения проводились при нагреве с шагом 10° в два последовательных цикла от комнатной температуры до температур плавления чистого Литола-24, охлаждение осуществлялось до комнатной температуры, последующий нагрев проходил до температур, превышающих температуру плавления на 10 ÷ 30 К. При измерении емкости образцов наблюдался температурный гистерезис. Для анализа ДЭ спектров использовались данные повторного нагрева.

ДЭ измерения проводились по схеме идеального конденсатора, при этом были получены частотные зависимости диэлектрической проницаемости ϵ' , ϵ'' и тангенса угла потерь $\text{tg}\delta = 1/\omega CR$.

3. Анализ результатов

Диэлектрические величины Литола-24 и смазочных композиций на его основе изображены на рис. 2–7.

Литол-24 является многокомпонентным лиотропным мезоморфным веществом, в составе которого присутствуют: смазочное масло (30 ÷ 40 %) с молярной массой от 250 г/моль до 1 000 г/моль и более; масло остаточное депарафинированное (50 ÷ 60 %) с молярной массой 390 000 г/моль; 12-гидроксистеарат лития (10 ÷ 15 %) с молярной массой 306, 41 г/моль; дифениламин (до 0,5 %) с молярной массой 169,227 г/моль. Молярная масса КМ $Cu(C_4H_9COO)_2$ составляет 435,546 г/моль. На частотах более 1 МГц при различных температурах ожидается появление пиков тангенса угла потерь, которые могут отвечать различным процессам релаксации (рис. 2).



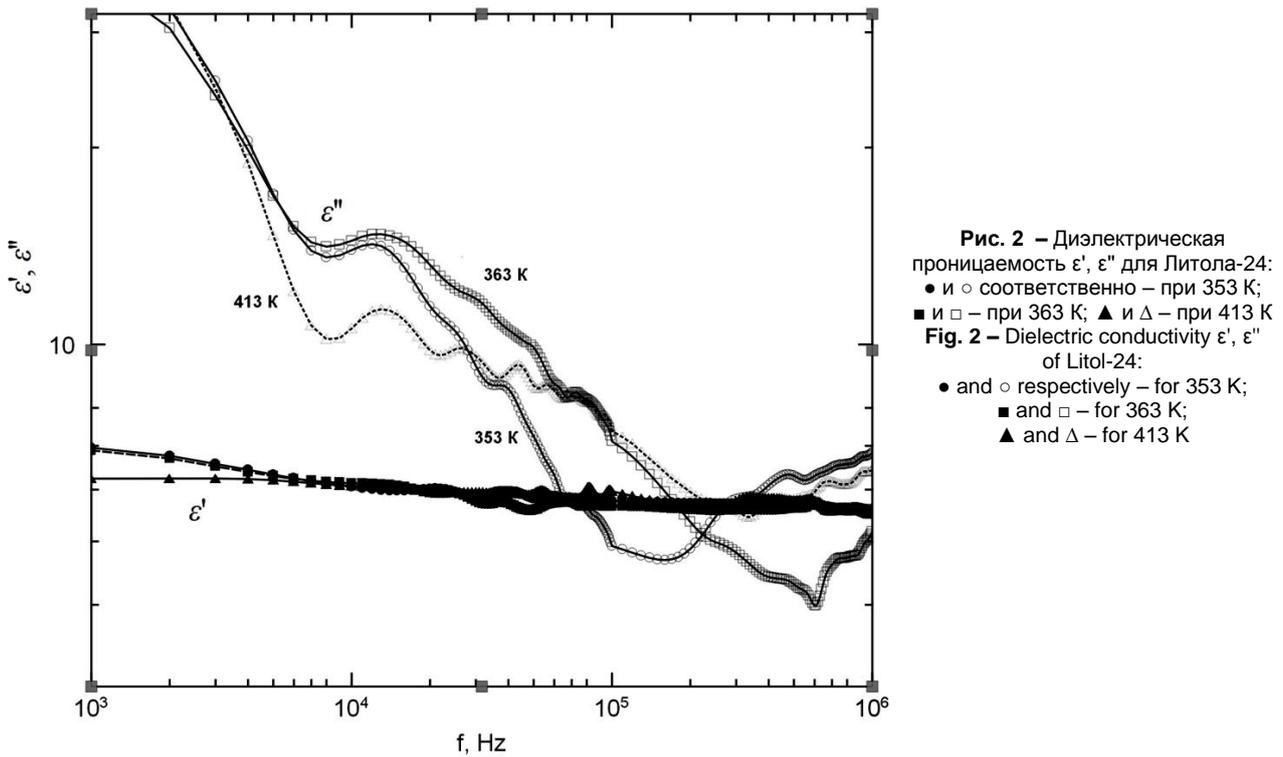
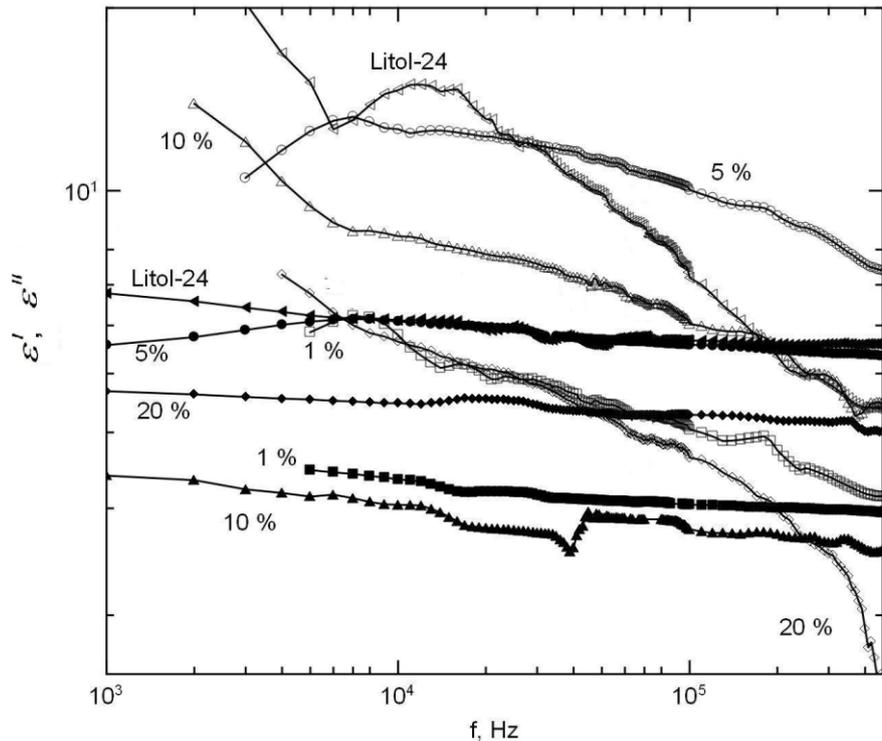


Рис. 2 – Диэлектрическая проницаемость ϵ' , ϵ'' для Литола-24:
 • и ○ соответственно – при 353 К;
 ■ и □ – при 363 К; ▲ и Δ – при 413 К
Fig. 2 – Dielectric conductivity ϵ' , ϵ'' of Litol-24:
 • and ○ respectively – for 353 K;
 ■ and □ – for 363 K;
 ▲ and Δ – for 413 K

В присутствии добавок в соотношении 1 масс.%, 5 масс.%, 10 масс.% и 20 масс.% при воздействии частот от 100 Гц до 1 МГц проявилось изменение характера диэлектрической проницаемости $\epsilon'+i\epsilon''$ и электропроводности (рис. 3–7).

Рис. 3 – Частотная зависимость ϵ' , ϵ'' Литола-24 с различными концентрациями валерата меди при 363 К: ■ и □ соответственно – 1%; ● и ○ – 5%; ▲ и Δ – 10%; ◇ и ◆ – 20%; наклонные треугольники – бесприсадочный Литол-24
Fig. 3 – Frequency dependencies of ϵ' , ϵ'' for Litol-24 with different concentrations of Cu(II) valerate at 363 K: ■ and □ respectively – 1%; ● and ○ – 5%; ▲ and Δ – 10%; ◇ and ◆ – 20%; tilted triangles – for additiveless Litol-24



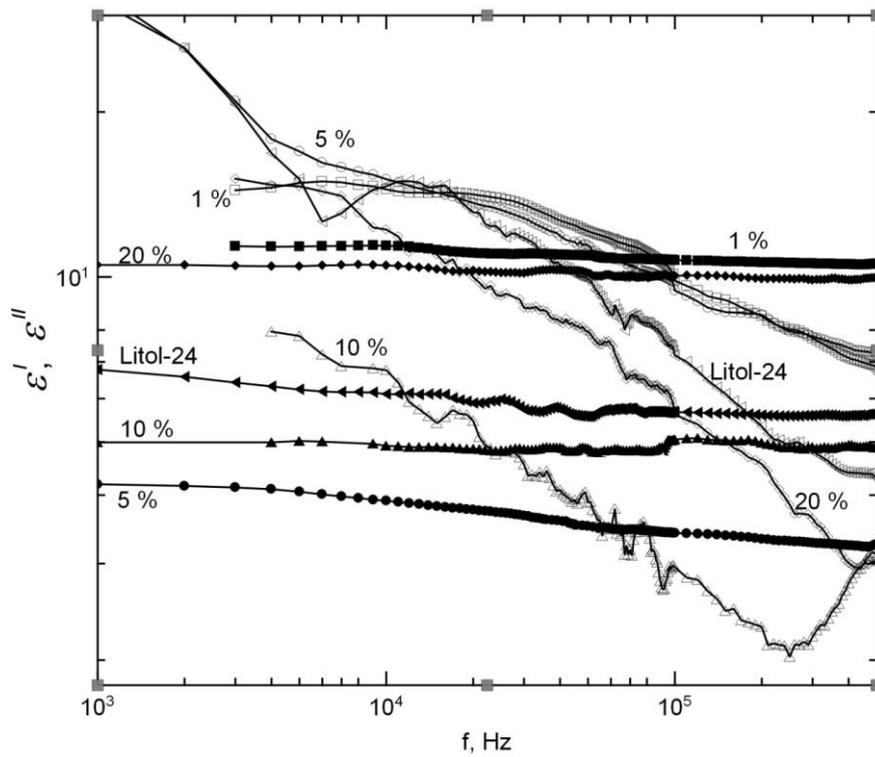


Рис. 4 – Частотная зависимость ϵ' и ϵ'' Литола-24 с различными концентрациями изовалерата меди при 363 К:

■ и □ соответственно – 1 %;
● и ○ – 5 %; ▲ и △ – 10 %;
◇ и ◆ – 20 %;

наклонные треугольники –
бесприсадочный Литол-24

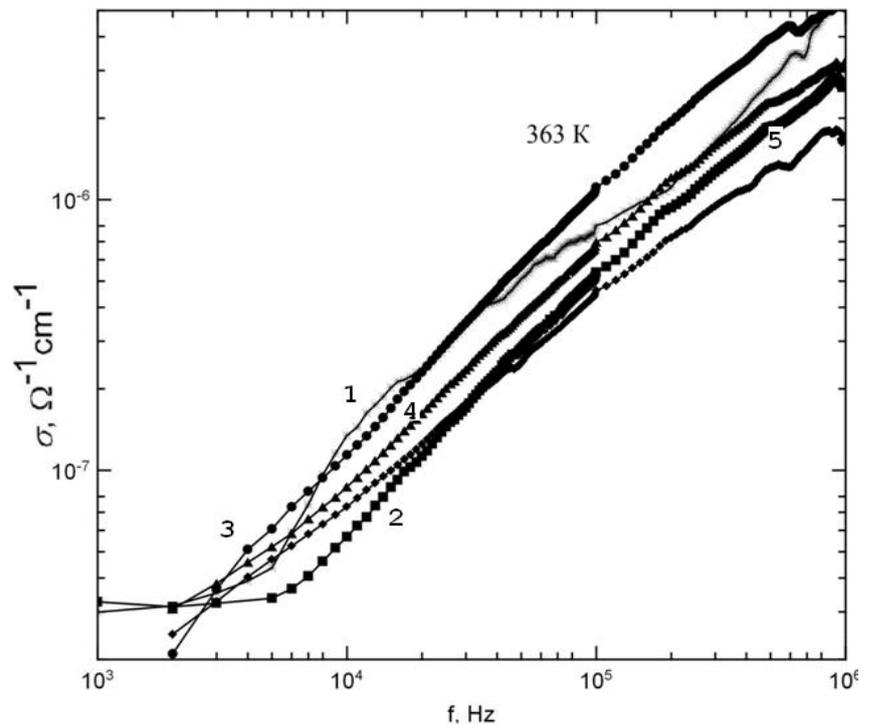
Fig. 4 – Frequency dependencies of ϵ' , ϵ'' for Litol-24 with different concentrations of Cu(II) isovalerate at 363 K:

■ and □ respectively – 1 %;
● and ○ – 5 %; ▲ and △ – 10 %;
◇ and ◆ – 20 %;

tilted triangles – for additiveless Litol-24

Рис. 5 – Электропроводность Литола-24 (кривая 1) и системы Литол-24 с различными концентрациями валерата меди при температуре 363 К: 1% (кривая 2); 5% (кривая 3); 10% (кривая 4); 20% (кривая 5)

Fig. 5 – Electroconductivity of Litol-24 (curve 1) and of the system Litol-24 with different concentrations of Cu(II) valerate at 363 K: 1% (curve 2); 5% (curve 3); 10% (curve 4); and 20% (curve 5)



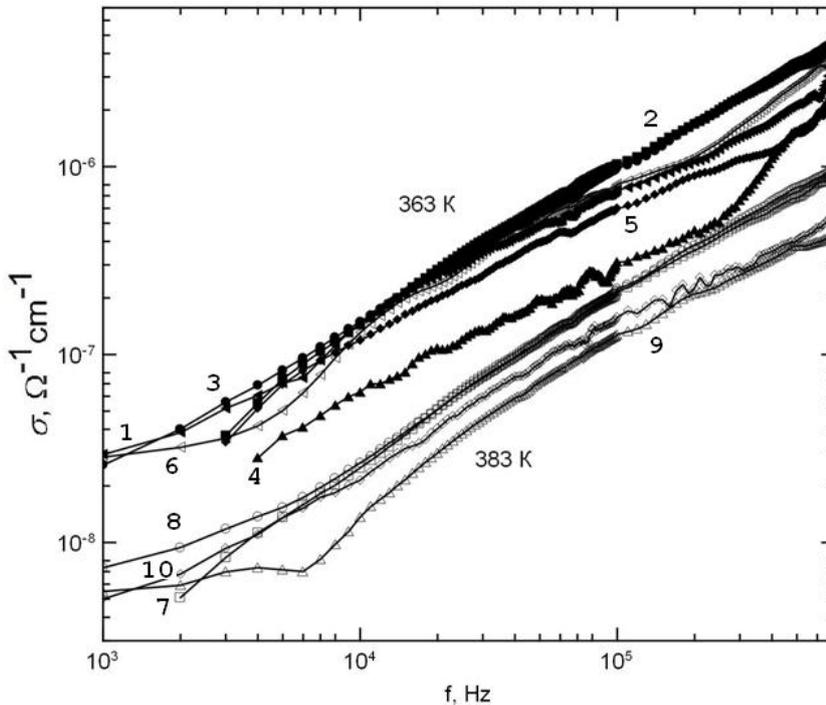


Рис. 6. – Электропроводность Литола-24 (кривые 1 и 6) и системы Литол-24 с различными концентрациями изовалерата меди при температурах 363 и 383 К соответственно: 1 % (кривые 2 и 7); 5 % (кривые 3 и 8); 10 % (кривые 4 и 9); 20 % (кривые 5 и 10)

Fig. 6 – Electroconductivity of Litol-24 (curves 1 and 6) and of the system Litol-24 with different concentrations of Cu(II) isovalerate at 363 and 383 K respectively: 1% (curves 2 and 7); 5% (curves 3 and 8); 10% (curves 4 and 9); 20% (curves 5 and 10)

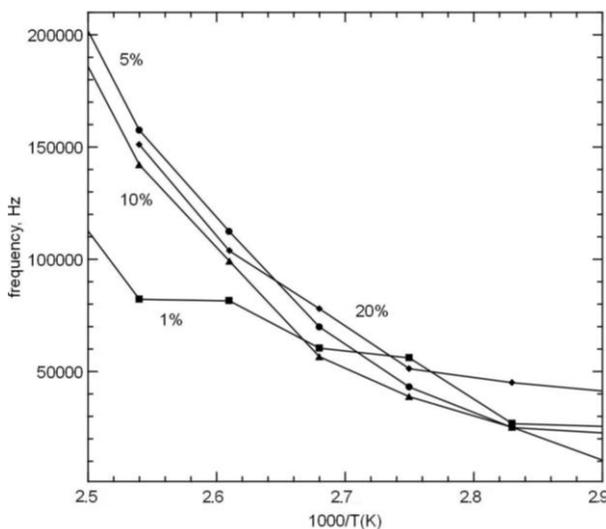


Рис. 7 – Функции Аррениуса для смазочной композиции Литол-24 – валерат меди при концентрациях присадки:

■ и □ – 1 %; ● и ○ – 5 %; ▲ и △ – 10 %; ◇ и ◆ – 20 %
Fig. 7 – The Arrhenius plot for the lubricant composition Litol-24-Cu(II) – valerate at additive concentrations:
 ■ and □ – 1 %; ● and ○ – 5 %; ▲ and △ – 10 %; ◇ and ◆ – 20 %

По утверждениям источников [1–3], подобные смазочные композиции при лиотропном мезоморфизме, вызванном изменением концентрации присадок, образуют колончатые негеометрические фазы.

Для образцов с присадками валерата и изовалерата меди при измеренных температурах проявилось наличие пиков тангенсов угла потерь. На основе их распределения удалось вычислить энергию активации [9] при концентрации валерата и изовалерата меди 1 % $Q = 1,13212$ эВ и $1,1151$ эВ, при концентрации 5 % $Q = 1,083$ эВ и $1,05305$ эВ соответственно

(рис. 8, 9). Наиболее вероятно принадлежность этих пиков к α - или β -релаксации (≈ 97 кДж/моль). При повышении температуры пики величины $\tan\delta$ смещаются в сторону высоких частот и уменьшаются по абсолютной величине. Для анализа полученных спектров потерь использовалась модель Хавриилака – Негами в виде приближения:

$$\varepsilon''_{HN} = \Im \left\{ \frac{\Delta\varepsilon}{\left[1 + (if / f_0)^a \right]^b} \right\}, \quad (1)$$

где $\Delta\varepsilon$ – проводимость, зависящая от температуры; значения параметров a, b ($0 < a, b < 1$) соответствуют как релаксации Коула – Давидсона, так и Коула – Коула. На базе этих результатов можно оценить [10] температурно и частотно зависимые времена релаксации (например, для концентрации 1 масс.% изовалерата меди в Литоле-24 эти времена составляют порядка 0,1 мс).

Такое приближение основывается на представлении об ориентационной и вращательной дипольной релаксации молекул ЖК и аналогичных наблюдениях многокомпонентных ЖК нематогенов при низких частотах [11]. Авторы данной статьи предполагают, что исследуемые многокомпонентные системы проявляют по меньшей мере два типа релаксационных процессов, происходящих как в изотропной, так и в колончатой фазе. Свободные объемы и анизотропия формы мезогенной присадки позволяют приближенно ассоциировать параметр порядка колончатых фаз параметром порядка нематиков [12, 13].

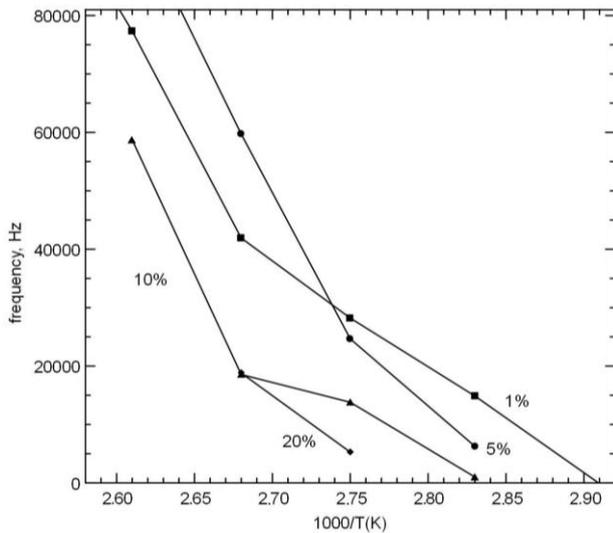


Рис. 8 – Функции Аррениуса для смазочной композиции Литол-24 – изовалерат меди при концентрациях присадки: ■ и □ – 1 %; ● и ○ – 5 %; ▲ и △ – 10 %; ◇ и ◆ – 20 %
Fig. 8 – The Arrhenius plot for the lubricant composition Litol-24-Cu(II) – isovalerate at additive concentrations: ■ and □ – 1 %; ● and ○ – 5 %; ▲ and △ – 10 %; ◇ and ◆ – 20 %

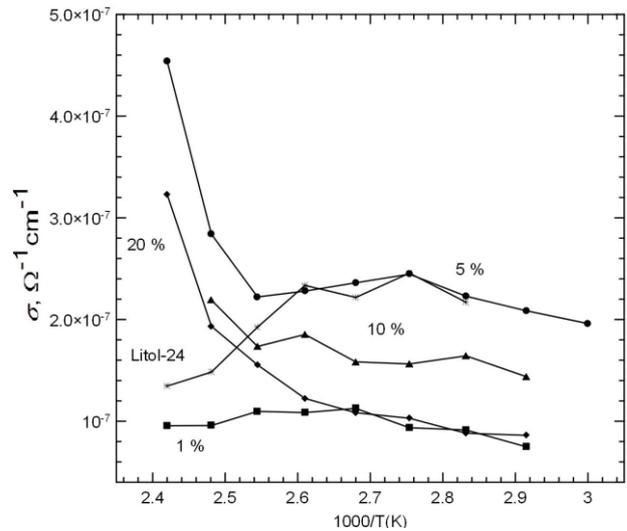


Рис. 9 – Температурные зависимости электропроводности Литола-24 и системы Литол-24 – валерат меди при 20 кГц
Fig. 9 – Temperature dependencies of electroconductivity for Litol-24 and the system Litol-24-Cu(II) – valerate at 20 kHz

Такая β -релаксация может быть вызвана вращением С-С связей КМ и конформационными поворотами цикла [14].

Среди прочих методов ДЭ-измерения служат идентификации мезоморфизма в данных жидкокристаллических композитах. В дальнейшем это позволит количественно изучать явления внутреннего трения и вычислять коэффициенты вязкости [13]. В настоящее время вопрос о корреляции внутреннего и внешнего трения, являющегося предметом трибологических исследований, остается открытой и актуальной прикладной и теоретической сферой исследований.

В случаях бесприсадочной смазки и композита с присадками концентрации 1 масс.% валерата и 10 % изовалерата меди наблюдается низкочастотный выход электропроводности на плато (см. рис. 5, 6) – зональная проводимость, а на частотах выше 3,7 ÷ 4 кГц возникает прыжковая проводимость. Смена типа проводимости обусловлена орбитальными связями КМ валерата и изовалерата.

Наличие присадки в Литоле-24 определяет изменение температурной зависимости электропроводности (рис. 9, 10), при этом в смазке без присадки электропроводность мало зависит от температуры и увеличивается при приближении к температуре плавления в смазках с присадками.

Конформация присадки также влияет на температурный характер проводимости: можно наблюдать такую зависимость для системы с валератом меди и ее отсутствие для присадки изовалерата (весь температурный диапазон не указан). Кроме того, ДЭ-измерения подтвердили различие функций $\sigma(1/T)$ для разных частот и прохождение двух типов релаксационных процессов.

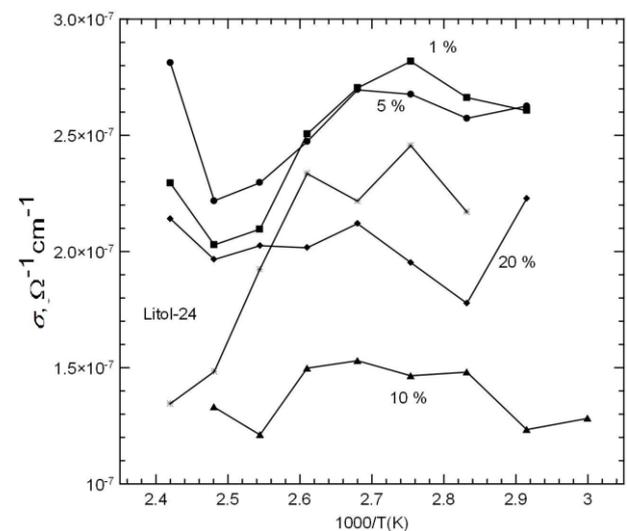


Рис. 10 – Температурные зависимости электропроводности Литола-24 и системы Литол-24 – изовалерат меди при 20 кГц
Fig. 10 – Temperature dependencies of electroconductivity for Litol-24 and the system Litol-24 – Cu(II) isovalerate at 20 kHz

Изменение типа проводимости при добавлении 1 масс.% валерата или 10 % изовалерата меди может сопутствовать ожидаемым лиотропным фазовым переходам, хотя не позволяет делать окончательные количественные выводы.

Приведенные результаты ДЭ-измерений, дополненные структурными исследованиями, могут оказаться полезными при построении фазовых диаграмм лиотропных смазочных композиций и, следовательно, установления областей применения этих композиций.



4. Заключение

Для развития промышленных приложений смазочных композиций важно изучать их физические свойства. С помощью метода ДЭ-спектроскопии установлено, что при концентрации присадок 1 масс.% валерата меди и 10 масс.% изовалерата меди к базовой смазке Литолу-24 наилучшим образом стабилизируется упорядоченная фаза, а в диапазоне концентраций 5 ÷ 10 масс.% может происходить фазовый переход в изотропную фазу; при высоких концентрациях присадок, 20 масс.%, смазка ведет себя подобно бесприсадочной, но может меняться тип ее проводимости.

В системе Литол-24-присадка гомологов КМ обнаружено по меньшей мере два релаксационных механизма.

По низкочастотным ДЭ-спектрам выявлена зависимость релаксационных характеристик от конформации присадки: наблюдалась для случая изовалерата меди и отсутствовала – для валерата.

Для спецификации типа колончатой фазы в данных композициях Литола-24 необходимо дополнительно подкрепить результаты диэлектрических измерений оптическими методами, нейтронным, рентгеноструктурным анализом и пр.

Благодарности

Авторы выражают благодарность проф. О.Б. Акоповой и В.В. Терентьеву за предоставление образцов и консультации, а также И.О. Кучкиной за тестирование ряда композиций на термотропный мезоморфизм методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Acknowledgments

The authors are grateful to prof. O.B. Akopova and V.V. Terentyev for providing samples and helpful discussions, and also to I.O. Kuchkina for testing a few of compositions on the thermotropic mesomorphism by differential scanning calorimetry.

Список литературы

- [1] Усольцева, Н.В. Жидкие кристаллы: дискотические мезогены [Текст] / Н.В. Усольцева [и др.]. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2004. – 546 с.
- [2] Акопова, О.Б. Карбоксилаты меди. Моделирование, синтез, мезоморфизм и трибологические свойства [Текст] / О.Б. Акопова [и др.] // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2012. – Вып. 2(40). – С. 20–28.
- [3] Терентьев, В.В. Повышение надежности сельскохозяйственной техники за счет использования пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками-карбоксилатами меди [Текст] / В.В. Терентьев [и др.] // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2014. – Вып. 14(2). – С. 97–102.
- [4] ГОСТ 21150-87. Смазка Литол-24. Технические условия – Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 61 с.

[5] Ельникова, Л.В. Инфракрасные спектры поглощения карбоксилатов меди(II) гомологов 4...21 // Москва, Препринт ИТЭФ. – 2016. – № 5–16.

[6] Orlandi, S. Core charge distribution and self assembly of columnar phases: the case of triphenylenes and azatriphenylenes [Text] / S. Orlandi [et al.] // Chemistry Central Journal. – 2007. – Vol. 1(15). – P. 1–13.

[7] Эме, Ф. Диэлектрические измерения [Текст] / Ф. Эме. – М.: Химия, 1967. – 224 с.

[8] Programmable Automatic RCL Meter PM 6306. User manual. FLUKE. 1996 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.download-service-manuals.com/en/manual.php?file=Fluke-4810.pdf> – (Дата обращения: 05.09.2016).

[9] Новик, А. Релаксационные явления в кристаллах [Текст] / А. Новик, Б. Берри. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.

[10] Torgova, S. Short Bent-Core Molecules: X-Rays, Polarization, Dielectricity, Texture and Electro-optics Investigations [Text] / S. Torgova [et al.] // Phys. Chem. Chem. Phys. 2017, DOI: 10.1039/C7CP03561F.

[11] Yano, S. Dielectric relaxations in a few binary mixtures of p-methoxybenzylidene-p-nbutylaniline and a nematogenic or nonmesogenic compound / S. Yano, Y. Hayashi, K. Aoki // J. Chem. Phys. – 1978. – Vol. 68. – P. 5214–5218.

[12] Martin, A.J. Extended Debye Theory for Dielectric Relaxations in Nematic Liquid Crystals [Text] / A.J. Martin, G. Meier, A. Saupe // Symp. Far. Soc. – 1971. – Vol. 5. – P. 119–133.

[13] Беляев, В.В. Вязкость нематических жидких кристаллов [Текст] / В.В. Беляев. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с.

[14] Блайт, Э.П. Электрические свойства полимеров [Текст] / Э.П. Блайт, Д. Блур. – М.: Физматлит, 2008. – 376 с.

References

- [1] Usol'ceva N.V., Akopova O.B., Bykova V.V., Smirnova A.I., Pikin S.A. Liquid crystals: discotic mesogens (Zhidkie kristally: diskoticheskie mezogeny). Ivanovo: Ivanovo State Un-ty, 2004, 546 p. (in Russ.).
- [2] Akopova, O.B. Lapshin V.B., Terent'ev V.V., Bogdanov V.S. Copper(ii) carboxylates. Simulation, synthesis, mesomorphism and tribological properties (Karboksilyaty medi. Modelirovanie, sintez, mezomorfizm i tribologicheskie svoistva). *Liq. Cryst and Their Appl.*, 2012;2(40):20–28 (in Russ.).
- [3] Terentyev V.V., Akopova O.B., Telegin I.A., Bobrova N.V. Increasing reliability of agricultural machinery by using plastic lubricant additives with mesogenic copper carboxylates (Povyshenie nadezhnosti sel'skokoziastvennoi tehniky za schet ispol'zovaniya plastichnyh smazochnyh materialov s mezogennymi prisadkami-karboksilatami medi). *Liq. Cryst and Their Appl.*, 2014;14(2):97–102 (in Russ.).
- [4] GOST 21150-87 Grease Litol-24. Specifications Smazka Litol-24. Tehnicheskie usloviya. – Vved. 1989-



01-01. – Moscow: Izd-vo standartov Publ., 2001, 61 p. (in Russ.).

[5] Elnikova L.V. Infrared absorption spectra for cooper(II) carboxylates of homologs 4 ... 21 (Infrakrasnye spektry pogloshheniia karboksilatov medi(II) gomologov 4...21). Moscow, Preprint ITEP, 2016, No. 5–16 (in Russ.).

[6] Orlandi S., Muccioli L., Ricci M., Berardi R., Zannoni C. Core charge distribution and self assembly of columnar phases: the case of triphenylenes and azatriphenylenes. *Chemistry Central Journal*, 2007;01(15):1–13.

[7] Eme F. Dielectric measurements (Dielektricheskie izmereniya). Moscow: Himiya Publ., 1967, 224 p. (in Russ.).

[8] Programmable Automatic RCL Meter PM 6306. User manual. FLUKE. 1996. Available on: <http://www.download-service-manuals.com/en/manual.php?file=Fluke-4810.pdf> (05.09.2016).

[9] Nowik A.S., Berry B.S. Anelastic Relaxation in Crystalline Solids (Relaksacionnye yavleniya v

kristallah). New York-London, Academic Press, 1972, 683 p. (in Russ.).

[10] Torgova S., Sreenilayam S.P., Panarin Y.P., Franciscangeli O., Vita F., Vij J., Pozhidaev E.P., Minchenko M., Ferrero C., Strigazzi A. Short Bent–Core Molecules: X-Rays, Polarization, Dielectricity, Texture and Electro-optics Investigations. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2017, DOI: 10.1039/C7CP03561F.

[11] Yano S., Hayashi Y., Aoki K. Dielectric relaxations in a few binary mixtures of p-methoxybenzylidene-p-nbutylaniline and a nematogenic or nonmesogenic compound. *J. Chem. Phys.*, 1978;68:5214–5218.

[12] Martin A.J., Meier G., Saupe A. Extended Debye Theory for Dielectric Relaxations in Nematic Liquid Crystals. *Symp. Far. Soc.*, 1971;5:P. 119–133.

[13] Belyaev V.V. Vyazkost' nematicheskikh zhidkikh kristallov. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002, 224 p. (in Russ.).

[14] Blait Je.R., Blur D. Elektricheskie svoystva polimerov. Moscow, Fizmatlit, 2008, 376 p. (in Russ.).

Транслитерация по BSI



III Международная конференция «Индустриальные масла и СОЖ в металлургии, металлообработке и машиностроении - 2018»

15 мая 2018 г.

Конференция «Индустриальные масла и СОЖ в металлургии, металлообработке и машиностроении - 2018» является уникальной площадкой для встречи и обмена мнениями, совместной работы и обсуждения перспектив разработчиков и поставщиков индустриальных масел и СОЖ с представителями конечных потребителей из металлургии, металлообработки и машиностроения.

Соорганизатор конференции – компания «РН-Смазочные материалы».

Конференция состоится **15 мая 2018 г.** в рамках Международной специализированной выставки «МЕТАЛЛООБРАБОТКА – 2018» (14-18 мая 2018, Москва, ЦВК «Экспоцентр»).

Организаторами выставки выступают АО «Экспоцентр» и Российская Ассоциация производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент».

Выставка проводится при поддержке Совета Федерации Федерального Собрания РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Союза машиностроителей России, под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ.

Аудитория конференции:

- разработчики рецептур смазочно-охлаждающих жидкостей, всех видов масел промышленного назначения, рабочие-консервационных и специальных продуктов (закалочных, пропиточных и т.д.);
- технологи в области металлообработки черных и цветных металлов;
- эксплуатанты станочного парка и оборудования из самых разных отраслей отечественной промышленности;
- специалисты по эксплуатации и обслуживанию энергетического и компрессорного оборудования;
- главные инженеры и главные механики, сотрудники служб главного инженера и главного механика российских предприятий;
- представители профильных научно-технических и проектных институтов России;
- поставщики отечественных и импортных СОЖ, масел и смежных продуктов;
- специалисты предприятий-потребителей по закупкам МТР.

<http://www.rpi-conferences.com/oils-and-coolants>