

УДК 541. 182. 022:

*М. А. Шилов*

**ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА САМООРГАНИЗАЦИИ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ И ИХ КОМПОЗИЦИЙ С ИОНОГЕННЫМИ ПАВ В ВОДОСМАЗЫВАЕМЫХ УЗЛАХ ТРЕНИЯ**

**INVESTIGATION OF SELF-ORGANIZATION MECHANISM OF NON-IONIC SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES AND THEIR COMBINATIONS WITH IONIC ONES IN WATER-LUBRICATING FRICTION JUNCTIONS**

Ивановский институт государственной противопожарной службы МЧС России  
153040 Иваново, пр. Строителей, д. 33. E-mail: Mshilov@yandex.ru

*В работе представлены результаты трибологических исследований радиационно-модифицированного фторопласта – 4, с использованием неионогенных ПАВ и их комбинации с ионогенными. Выявлено положительное влияние комбинации ПАВ<sub>4</sub>+ПАВ<sub>5</sub>, самоорганизующейся при их 1 % массовом введении в воду, на величину шероховатости поверхности образцов до и после трения.*

**Ключевые слова:** *трибология, мезоморфизм, трение, жидкий кристалл, мезоген, самоорганизация, надмолекулярная упаковка.*

*The article presents the results of the tribological investigation of nuclear-modified fluoroplastic – 4, using non-ionic additive surface-active substances (SAS) and their combinations with ionic ones. The results prove positive influence of the combination SAS<sub>4</sub>+SAS<sub>5</sub>, self-organizing under the condition of 1 mass. % in water, on the value of the surface roughness before and after friction.*

**Key words:** *tribology, mesomorphism, friction, liquid crystal, mesogen, self-organization, supramolecular package.*

### **Введение**

Интерес к существующим и разрабатываемым полимерным материалам обуславливается возможностью управления их физико-механическими и трибологическими свойствами применительно к условиям работы трибосопряжений различных машин и механизмов. Это успешно развивающееся направление рассматривается практически одним из немногих способов создания функциональных материалов, позволяющих получить изделия с лучшими эксплуатационными свойствами. Невысокая стоимость и коммерческая доступность полимеров, возможность использования традиционных технологий и оборудования для их получения, обеспечивают высокую эффективность и экономичность их производства и внедрение этих материалов в машиностроение. Фактором управления трибологическими свойствами пары трения металл – полимер может служить введение в зону трения мезогенных присадок.

Установлено, что для уменьшения трения в системе вал – втулка необходимо применение специальных смазок, которые наносятся на скользящую поверхность вала и позволяют уменьшить как адгезионную, так и деформационную составляющие коэффициента трения. С целью уменьшения адгезионной составляющей, особенно в условиях водосмазывания, применяют смазочные материалы, в состав которых входят синтетические ПАВ ионогенной и неионогенной природы.

Показано, что водные растворы ПАВ, образующие мезофазу обладают уникальными трибологическими свойствами.

В связи с этим представляет интерес исследовать закономерности влияния соединений ПАВ на морфологию поверхности трения и на величину линейного износа.

### Смазочные материалы и материалы пар трения

В связи с вышесказанным мы изучили лиотропные мезогены – производные неонала как присадки к воде при использовании ее в водосмазываемых парах трения, и показали эффективность их использования в качестве антифрикционной и противоизносной присадки. В первом случае для сравнительных испытаний были выбраны жидкокристаллические присадки, образованные неионогенными ПАВ и водой, а также тройными смесями – НПАВ+ИПАВ+вода (неионогенный ПАВ – ионогенный ПАВ – вода). Присадки подбирались таким образом, чтобы выявить взаимосвязь трибологических характеристик с молекулярной массой и огнетушащими свойствами. В основном, были изучены соединения неонала и его производных в воде, а также ионогенного ПАВ – ДНСА (динатриевая соль сульфо-янтарной кислоты) (см. табл. 1).

В работе исследованы концентрационные зависимости фрикционных характеристик таких присадок в воде на минитрибометре ТАУ-1 по методике [3] для различных комбинаций пар трения ( $M_1 - M_1$ ,  $M_1 - M_2$ ,  $M_1 - M_3$  (обозн. см. табл. 2)).

Динамика триботехнических процессов изучалась на машине трения СМЦ-2 по методике [1] и с учетом [2]. Все опыты выполнены в режиме граничного трения. Схема трения: вращающийся диск (сталь 45) – неподвижный диск (РМФ-4, Капролон-В).

### Исследования трибологических свойств неионогенных присадок на машине трения СМЦ-2

Противоизносные характеристики определялись по длине хорды сегмента износа ( $\Delta h$  мм), вырабатываемого на неподвижном образце за определенное время испытаний (в нашем случае за 300 сек), нормальной нагрузке, указанной выше, переменной скорости ( $v_1 = 300$  об/мин,  $v_2 = 500$  об/мин,  $v_3 = 1000$  об/мин), и переменной концентрации (рис. 1). Способ подачи смазочной композиции в зону трения постоянный. При данной нагрузке и данном времени изнашивания не должен наступить задир, а значения ширины канавки износа не будут сильно отличаться для одного и того же испытания.

По результатам испытаний (рис. 1, 2, 3) была выбрана концентрация, при которой наблюдался максимальный эффект от вводимой присадки в воду. Для исследуемых композиций присадок ПАВ<sub>4</sub>+ПАВ<sub>5</sub> – эта концентрация оказалась равной 0,5 мас. %.

Можно заметить, что во всех случаях при введении композиции (ПАВ<sub>4</sub>+ПАВ<sub>5</sub>) ЖК-природы наблюдается значительное улучшение антифрикционных свойств водной системы (рис. 1 – 3), в отличие от отдельно взятых ПАВ неионогенной природы.

Таблица 1

Исследуемые ПАВ [4]

№ п/п	Название	Структурная формула
ПАВ <sub>1</sub>	Неонол 9/6	$\begin{array}{c} \text{C}_9\text{H}_{19} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_6\text{H} \end{array}$
ПАВ <sub>2</sub>	Неонол 9/10	$\begin{array}{c} \text{C}_9\text{H}_{19} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_{10}\text{H} \end{array}$
ПАВ <sub>3</sub>	Синтанол БВ	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{OC}_4\text{H}_9$
ПАВ <sub>4</sub>	Феноксол 9/10 БВ	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H} - \text{C} - \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_{10} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}_9\text{H}_{19} + \text{H}_2\text{O} \\   \\ \text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_{10} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}_9\text{H}_{19} \end{array}$
ПАВ <sub>5</sub>	ДНСА	$\text{RCONHCH}_2\text{CH}_2\text{OCOCH}_2 \begin{array}{l} \text{SO}_3\text{Na} \\ \text{CH}_2\text{COONa} \end{array}$

Таблица 2

Материалы пар трения

№ п/п	Название	Обозначение
1	Сталь 45	M <sub>1</sub>
2	Капролон-В	M <sub>2</sub>
3	РМФ-4	M <sub>3</sub>

Влияние присадок-мезогенов на износные характеристики полимерных материалов однозначно. Наибольший эффект достигается при введении присадки ПАВ<sub>4</sub>+ПАВ<sub>5</sub> в воду. Величина износа, в зависимости от концентрации, уменьшается в 2,5 – 3 раза.

### Исследование микрорельефа поверхности трения

При сжатии двух тел и последующем их перемещении друг относительно друга (формирование трибосистемы) картина в зоне контакта становится столь сложной, что создание адекватной модели фрикционного контакта представляется весьма проблематичным. Это в первую очередь связано с многообразием специфических явлений, характерных для поверхностей, и их взаимным влиянием в процессе фрикционного взаимодействия. Важным для механики контакта оказывается следующее.

Поверхностные слои в процессе трения, образно говоря, «живут», претерпевая разнообразные изменения, пространственно-временной масштаб которых очень широк. Они могут носить как обратимый, так и необратимый характер, являться причиной износа, схватывания и других аномальных трибо-явлений, а в итоге и выхода узла трения из строя.

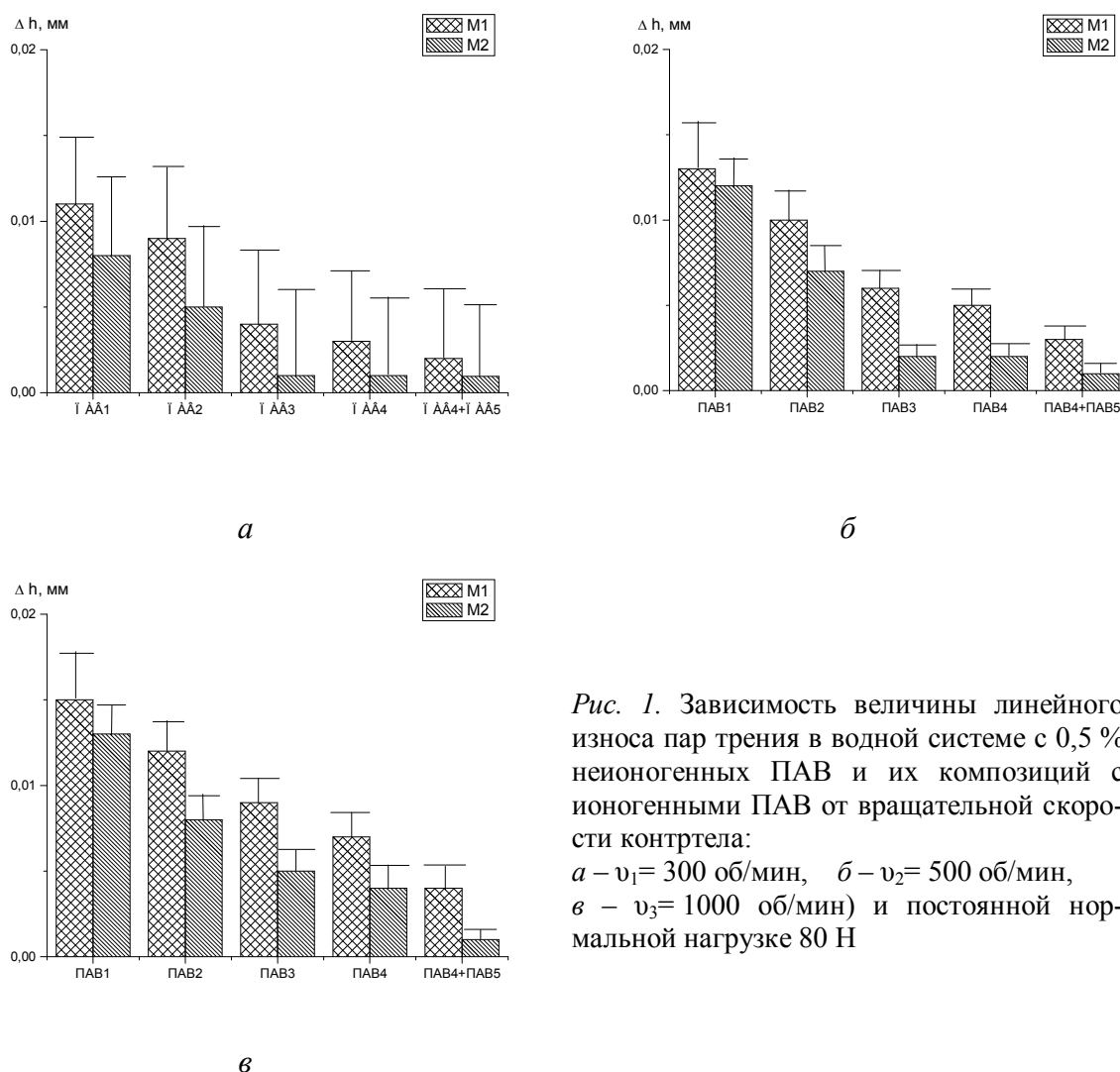
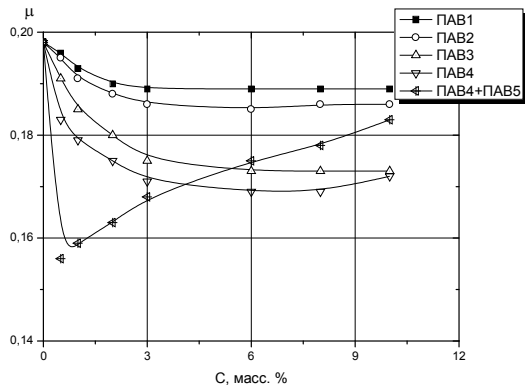


Рис. 1. Зависимость величины линейного износа пар трения в водной системе с 0,5 % неионогенных ПАВ и их композиций с ионогенными ПАВ от вращательной скорости контртела:

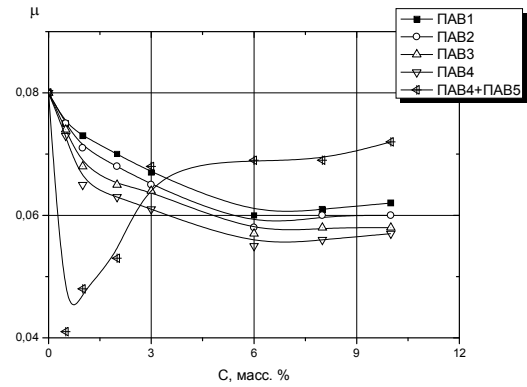
$a - v_1 = 300$  об/мин,  $б - v_2 = 500$  об/мин,  
 $в - v_3 = 1000$  об/мин) и постоянной нормальной нагрузке 80 Н

Первоисточник этих процессов, а в ряде случаев основная причина – напряженно-деформированное и тепловое состояния фрикционного контакта. Уже при простом

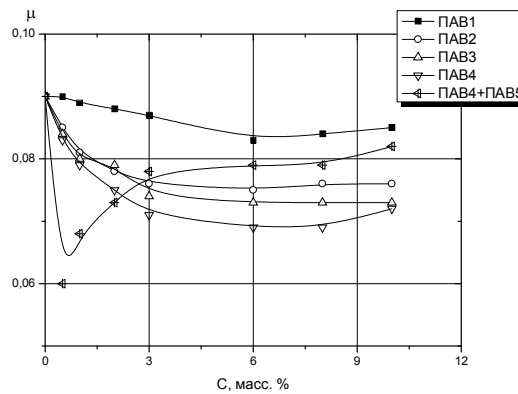
статическом контакте двух твердых тел в их объеме возникает сложное напряженно-деформированное состояние (НДС). Для гладких тел расчет их НДС в принципе не представляет трудностей, особенно при использовании численных методов. Вследствие дискретности реального контакта, обусловленного шероховатостью поверхностей соприкасающихся тел, номинальная область касания оказывается многосвязной, а на основном поле напряжений (и деформаций) накладывается поле напряжений отдельных неровностей.



а



б



в

Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от концентрации при модельных испытаниях на минитрибометре ТАУ-1 для различных пар трения:

а –  $M_1-M_1$ , б –  $M_1-M_2$ , в –  $M_1-M_3$

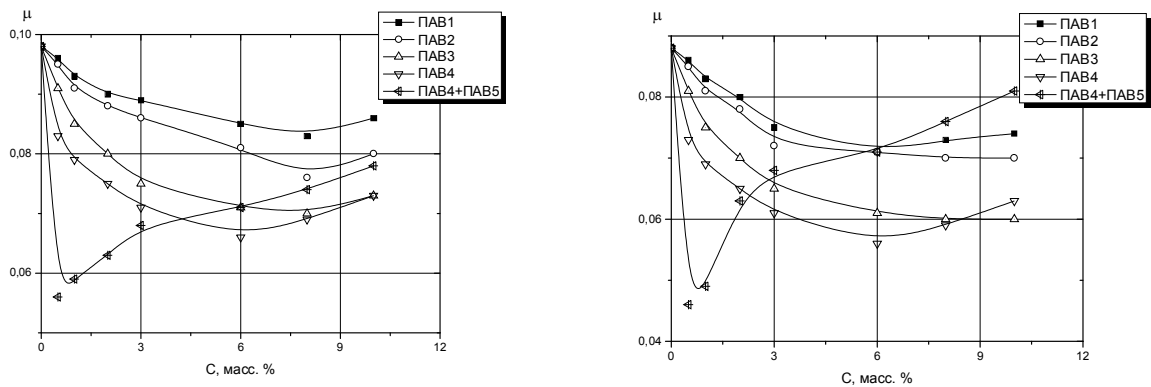


Рис. 3. Зависимость коэффициентов трения от концентрации присадки при испытаниях на машине трения СМЦ-2: М<sub>1</sub>-М<sub>3</sub>, М<sub>1</sub>-М<sub>2</sub>

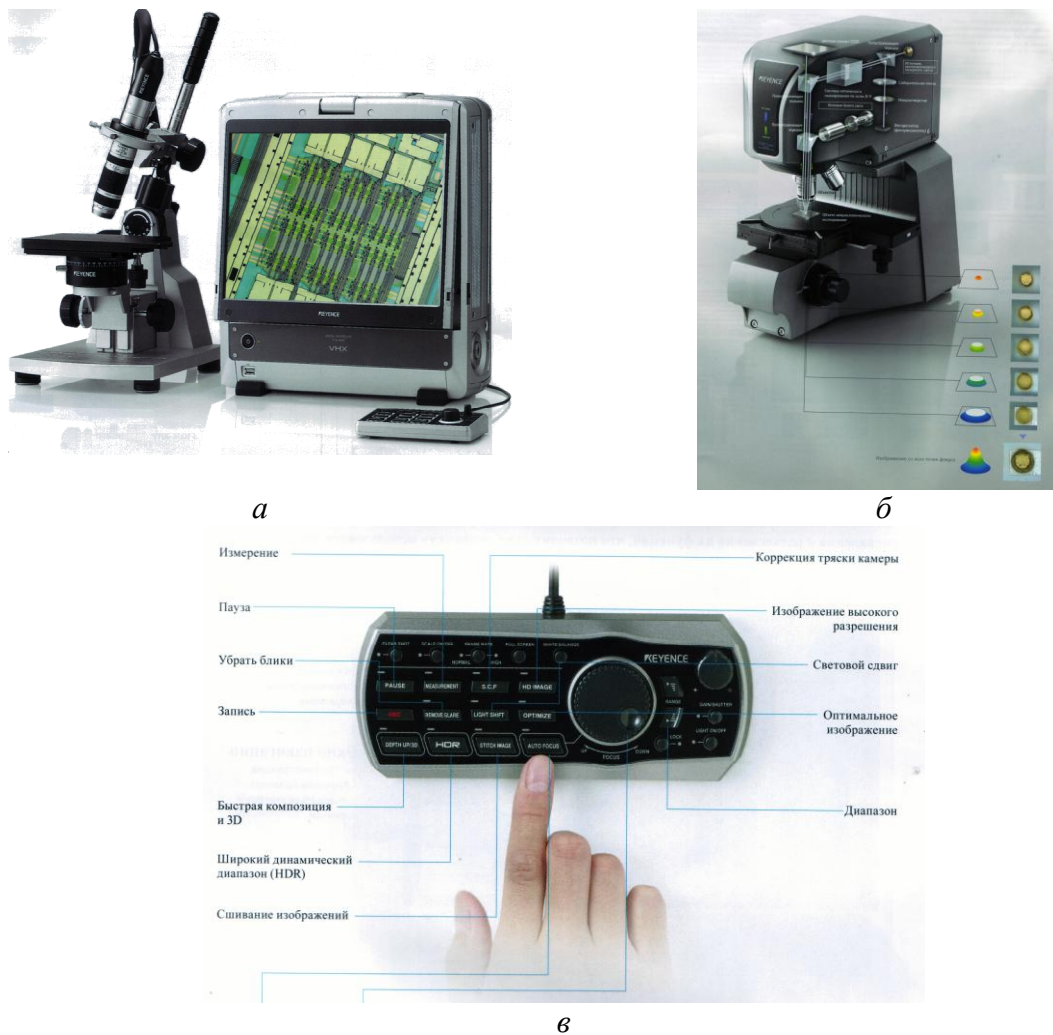


Рис. 4. Внешний вид микроскопов:  
 а – цифровой микроскопов VHX – 1000; б – Цветной 3D лазерный сканирующий микроскоп VK – 9700 Generation II; в – персональная консоль управления

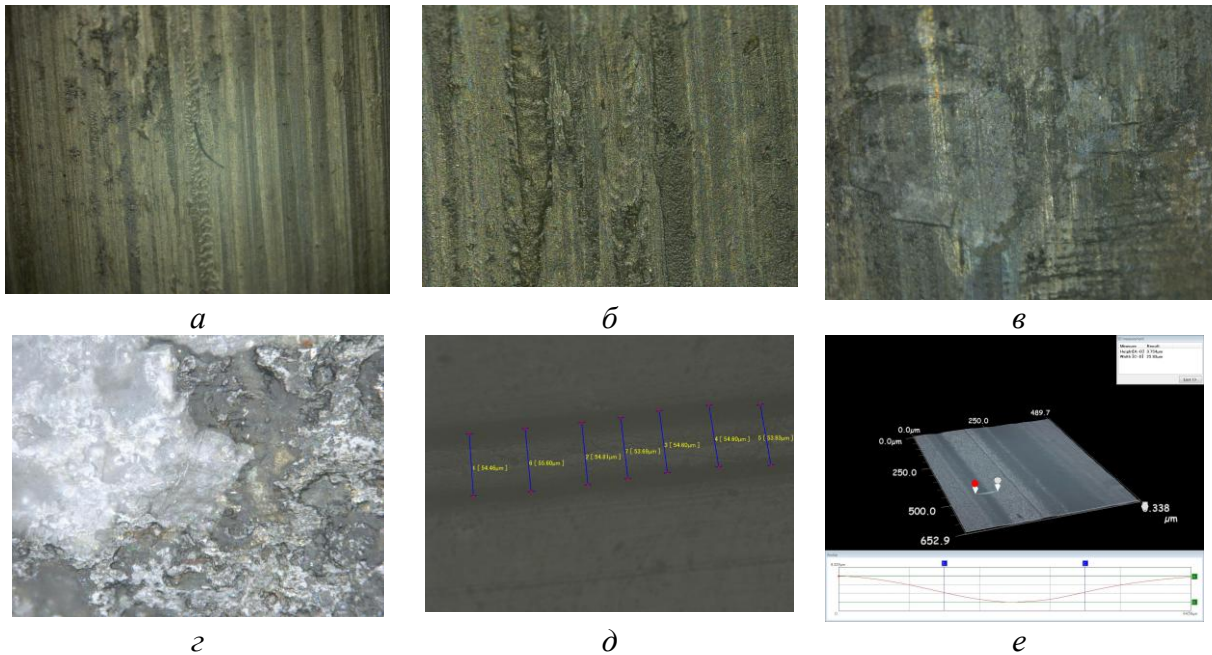


Рис. 5. Морфология поверхности стали 45 (а, б, в, з) и РМФ-4 (д, е):  
 а – увеличение x500; б – увеличение x1000; в – увеличение x1500;  
 з – увеличение x1000; д – канавка износа РМФ-4; е – профилограмма РМФ-4

В случае скольжения его можно рассматривать как некоторое флуктуационное поле напряжений, охватывающее область с характерным размером, соизмеримым с толщиной поверхностного слоя. При этом следует учитывать и «естественные» поверхностные напряжения (о них упоминалось выше), зависящие от силового поля твердой фазы контртела. В зависимости от активности поверхности контртела молекулярная подвижность РМФ-4 может как убывать, так и возрастать.

Глубокое исследование механизма трения требует получения обширной информации о состоянии и свойствах поверхностных слоев. Именно с этим связано проникновение в экспериментальную практику трибологии самых современных физических методов анализа поверхностей. Электронная микроскопия широко применяется для исследования морфологии поверхностей. С целью подтверждения положительного влияния введения мезогенных присадок были исследованы поверхности трибопар до, и после трения на цифровых микроскопах, предоставленных фирмой ВТК «Аналитинтек» (см. рис. 4).

Количественная оценка размеров и формы отклонений топографии осуществлялась с помощью системы высотных и шаговых параметров. Характеристики шероховатости оценивались преимущественно по профилограммам в пределах стандартизированной базовой длины  $l$ , которую выбирают таким образом, чтобы на ней не проявились другие виды неровностей. В следованиях использован стандарт (ГОСТ 2789–73) (рис. 5).

Анализируя данные, полученные с помощью микроскопии, необходимо отметить, что при использовании присадок ПАВ (рис. 5, б) отсутствует перенос вещества тела (РМФ-4) на контртело (сталь 45), т. е. мезогенная присадка экранирует воздействия контртела на тело и, соответственно, осуществляется переход от металлического контакта к контакту с граничной смазкой.



### **Заключение**

Результаты экспресс-оценки смазочных свойств водных систем, содержащих присадки (ПАВ<sub>4</sub>+ПАВ<sub>5</sub>) показали перспективность их применения в *водных смазках*.

### **Список литературы**

1. *Калинин А. А., Колобов Ю. М., Минкина Н. Т.* К экспрессной оценке противоизносных свойств антифрикционных материалов // Зав. лаб. 1987. № 9. С. 72 – 75.
2. *Шилов М. А.* // Физико-химическая механика процесса трения. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2008. С. 49 – 50.
3. *Березина Е. В.* Производные фталоцианина как присадки к смазочным композициям. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2007. 240 с.
4. *Шилов М. А.* // Технология машиностроения. 2009. Т. 11. № 89. С. 51 – 55.

*Поступила в редакцию 2.12.2010 г.*