

**В.Г. Пинчук<sup>1</sup>, Н.А. Алешкевич<sup>1</sup>, С.В. Короткевич<sup>2</sup>,  
В.В. Кравченко<sup>1</sup>, С.О. Бобович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

<sup>2</sup>РУП «Гомельэнерго», Гомель, Беларусь

## **РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ АКТИВИРОВАННЫЕ ФТОРОПЛАСТОМ**

### **Введение**

Возможность увеличения сроков службы машин и механизмов определяется не только функциональным состоянием подшипников различного назначения, используемых в узлах трения, но и состоянием смазывания, толщиной и эксплуатационными свойствами используемого смазочного материала. Вследствие увеличения и значительного изменения нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации узлов трения, предъявляют повышенные требования к эксплуатационным свойствам используемых смазочных материалов. Способность смазочного материала выполнять возложенные на него функции, определяется совокупностью триботехнических свойств (прочностных, антифрикционных, противозадирных, термоокислительной стабильности и т. д.) и способностью их сохранять в процессе эксплуатации [1]. Поэтому разработка эффективных антифрикционных пластичных смазочных материалов (ПСМ) является задачей весьма необходимой и актуальной.

### **Основная часть**

В рамках определения оптимального состава присадок и наполнителей к базовым смазочным материалам по договоренности с ТЭЦ-2 РУП «Гомельэнерго» был разработан состав комплексной присадки, обеспечивающий более высокие триботехнические свойства базового смазочного материала. Результатом явилось повышение антифрикционных, противоизносных, противозадирных свойств базовых пластичных смазочных материалов, снижение энергопотребления, как минимум на 2 % при набивке ими опор качения в широком диапазоне нагрузок, а также повышение надёжности и долговечности эксплуатации подшипников качения.

Установлено что добавка в базовый ПСМ присадки наполнителя 3 мас. % ФТ-3М и 1 мас. % ДФА обуславливает, как увеличение критической нагрузки, так и нагрузки сваривания. Сформировавшийся хемосорбированный слой выдерживает фактическое контактное давление  $\approx 2$  ГПа, что свидетельствует о его высокой несущей способности. Наличие атомов хлора и фтора, содержащегося в молеку-

лах ФТ-3М, способствует хемосорбции молекул ФТ-3М на поверхности металла, а добавка антиокислительных молекул дифениламина (ДФА) обуславливает снижение наличия свободных радикалов в смазочном материале, что обуславливает повышение в два раза противоизносных и противозадирных свойств по сравнению с добавкой только одной присадки-наполнителя ФТ-3М. В результате смещения электронных оболочек атомов фтора и хлора ковалентных электронов в молекулах ФТ-3М и их взаимодействия с атомами поверхности металла, формируется слой с высокими прочностными, антифрикционными, противоизносными и противозадирными свойствами. Необходимо отметить, что антифрикционные, противоизносные и противозадирные свойства граничных смазочных слоев (ГСС), формируемого молекулами политетрафторэтилена ФТ-4, значительно уступают свойствам ГСС, формируемого молекулами ФТ-3М, из-за отсутствия хлора в его составе.

Известно, что эпиламирование является одним из способов упрочнения поверхности деталей. Эпиламирование представляет собой процесс нанесения фторсодержащих поверхностно активных веществ (ПАВ) на поверхность твердого тела, в результате чего на поверхности твердого тела образуется тонкий, порядка  $\approx 2$  нм, слой специальным образом ориентированных молекул, связанных с поверхностью силами хемосорбции. Молекула эпилама и, следовательно, политрифторхлорэтилена представляет собой углеводородную цепочку, сильно поляризованную с одного конца атомами фтора и хлора. Такая молекула имеет ярко выраженный отрицательный заряд на одном конце и распределенный по остальной поверхности положительный заряд. Эта молекула имеет ярко выраженный дипольный момент и поэтому образует сильную электромагнитную связь с положительно заряженной поверхностью металла. Положительный заряд поверхность металла приобретает за счёт эмиссии с неё электронов [2]. Сформировавшийся хемосорбированный слой обладает высокими прочностными свойствами и выдерживает контактное давление  $\approx 2$  ГПа и много меньшим сопротивлением сдвигу, что обуславливает высокие антифрикционные свойства.

Ранее показано, что кинетика зависимостей плотности дислокаций и интенсивности изнашивания имеет осцилляционный характер и униполярна, т. е. находится в противофазе друг по отношению к другу [3]. С увеличением частоты осцилляций плотности дислокаций интенсивность изнашивания увеличивается [4]. Внесение в Циатим-201 оптимальной добавки фторопласта (3 мас. % ФТ-3М) приводит к существенным изменениям процессов пластической деформации поверхностного слоя. Длительность цикла изменения прочностных свойств увеличивается, примерно, в 4 раза по сравнению с трением в смазке Циатим-201 [3]. Наблюдаемый эффект связан с термомеханической деструкцией хемосорбированного слоя и образованием поверхностно-

активных молекул, приводящих к уменьшению силы трения и, соответственно, сдвиговых деформаций.

Оценка триботехнических свойств осуществлялась с использованием ряда лабораторных установок: машины трения СМТ-1, АЕ-5 и четырехшариковой машины трения (ЧШМ). В соответствии с ГОСТ 9490-75 на ЧШМ в центре сертифицированных испытаний в Белорусском национальном техническом университете была проведена оценка триботехнических свойств исследуемых смазочных композиций.

В результате проведенных триботехнических испытаний установлено, что несущая способность по критической нагрузке для базовой смазки Литол-24 составляет 50 кгс (490 Н), а для Литол-24+Фт-3М составляет 100 кгс (980 Н). Предельная нагрузка сваривания для обоих ПСМ составляет 160 кгс (1568 Н).

Диаметр пятна износа, определяющий антифрикционные свойства смазки составил 2,33 мм для Литол-24 и 0,50 мм для Литол-24+Фт-3М. Индекс задира для Литол-24 составил величину 31,238 кгс (306,132 Н), а для Литол-24 + Фт-3М – 72,203 кгс (707,589 Н). Таким образом, добавка в базовую смазку присадки Фт-3М+ДФА приводит к снижению изнашивания в четыре раза в области нагрузок 800 – 1000 Н, при которых эксплуатируются опоры качения энергетического оборудования, и увеличению критической нагрузки с 490 до 980 Н.

Результаты испытаний смазочных материалов на ЧШМ приведены на рисунке 1.

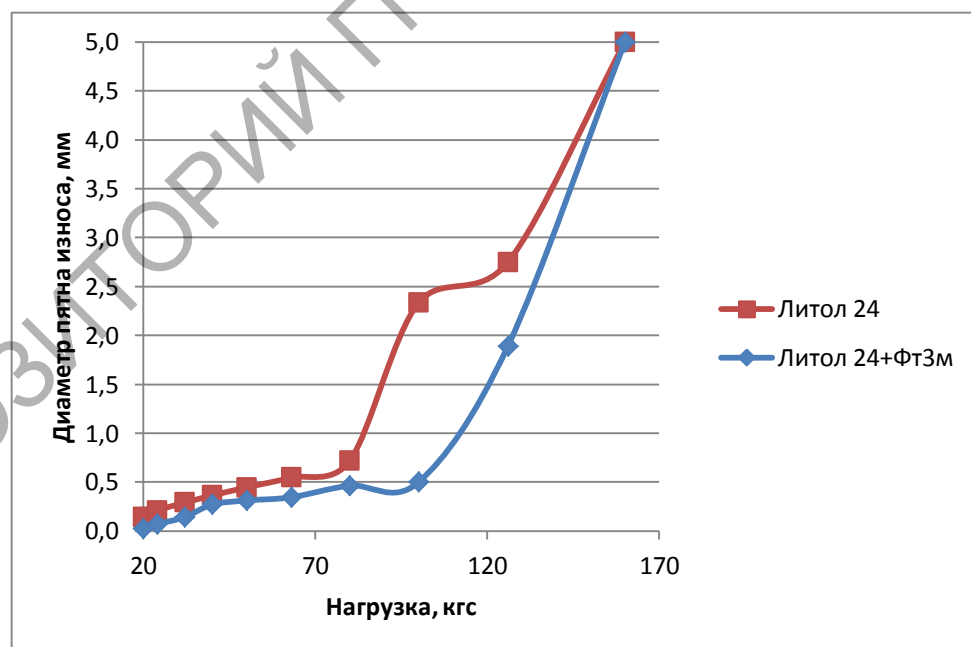


Рисунок 1 – Зависимость диаметра пятна износа смазок от нагрузки

Испытание противоизносных свойств на машине трения АЕ-5, показали, что при введении в базовую смазку 3 масс. % ФТ-3М, степень износа сопряжённой пары уменьшилась по сравнению с базовым смазочным материалом в два раза для бронзы и почти на порядок для стали.

Необходимо отметить, что хемосорбированный слой разработанной смазочной композиции выдерживает фактическое контактное давление  $\approx 2$  ГПа, что свидетельствует о том, что данная смазка не уступает по своей несущей способности комплексным сульфонат-кальциевым ПСМ [5].

Результаты лабораторных испытаний показали, что присадка-наполнитель ФТ-3М эффективно работает в тяжело нагруженных узлах трения. Поэтому для натурных испытаний в качестве узлов были взяты подшипники качения электродвигателя типа 4А225М6, мощностью 37 кВт, вращающего вентилятор типа Ц4-76 в реальных условиях на ТЭЦ-2 РУП «Гомельэнерго». Смазка набивалась в подшипники качения двигателя и проводились испытания в течение четырёх дней по восемь часов непрерывно. При этом регистрировалось потребление электроэнергии электросчетчиком с погрешностью 0,2 % [6].

В результате экспериментальных испытаний установлено, что разработанный смазочный материал, незначительно увеличивает температуру подшипниковых узлов, однако существенно снижает (на 2–3 %) потребление электрической энергии и значительно снижает уровень вибрации.

Сравнение энергетических затрат при применении смазки Литол-24 и Литол-24 с добавкой присадки-наполнителя ФТ-3М+ДФА показал, что за 1 час эксплуатации электрического двигателя номинальной мощности 37 кВт, энергосбережение составляет 0,865 кВт, а суточная экономия электроэнергии составляет 20,76 кВт.

Применение разработанных смазочных композиций с оптимальными составами в массовых масштабах может способствовать снижению не только энергопотребления, но и способствует решению экологических проблем, к примеру на теплоэлектростанциях могут быть существенно снижены показатели удельного расхода электрической энергии на собственные нужды при производстве электрической энергии

### **Заключение**

Анализ результатов лабораторных и стендовых испытаний позволил выработать оптимальный композиционный состав на основе пластичной смазки Литол-24 с присадкой-наполнителем ФТ-3М+ДФА, который можно использовать в узлах трения энергоёмких машин и механизмов. Установлено, что добавка разработанной присадки в базовый ПСМ приводит к значительному снижению степени

износа, повышению противозадирных и антифрикционных свойств смазочного материала. Применение разработанной смазочной композиции в массовых масштабах способно повысить долговечность и надёжность узлов трения, увеличить срок межремонтных работ, снизить энергопотребление машин и механизмов. На основании результатов исследования разработан проект технических условий на смазку композиционную «Литол- 24-Фт-3М» и получено положительное решение на патентную заявку [7].

## Литература

1. Ханович, М.Г. Опоры жидкостного трения и комбинированные / М.Г. Ханович. – Л. : Машгиз, 1960. – 272 с.
2. Доценко, А.И. Основы триботехники / А.И. Доценко, И.А. Буяновский. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 336 с.
3. Пинчук, В.Г. Кинетика упрочнения и разрушения поверхности металлов при трении / В.Г. Пинчук, С.В. Короткевич. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 416 с.
4. Способ определения средней интенсивности изнашивания ферромагнитного материала при трении : пат. 19103 Респ. Беларусь, МПК G 01 N 3/56 / В.Г. Пинчук, С.В. Короткевич ; заявитель Гом. гос. ун-т.; опубл. от 29.12.2014 // Официальн. бюл. / Нац. Центр интеллектуал. Собственности. – 2015. – № 2. – С. 83.
5. Комплексный анализ триботехнических свойств сульфонат-кальциевых пластичных смазочных материалов / С.В. Короткевич [и др.] // Тяжёлое машиностроение. – 2016. – № 1–2. – С. 34–40.
6. Энергосбережение при эксплуатации оборудования на РУП «Гомель-энерго» за счёт разработки и внедрения металлоплакирующих смазок / В.Г. Пинчук, С.В. Короткевич, С.О. Бобович, Н.А. Алешкевич, В.В. Кравченко //Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научно-технической конференции / Белорусско-Российский университет. – Могилёв, 14-15 апреля, 2016. – С. 102–103.
7. Пластичная смазка для опоры качения; заявка № а 20160138, Респ. Беларусь, МПК С 10М 125.02 / В.Г. Пинчук, С.В. Короткевич, С.О. Бобович, В.В. Кравченко; опубл. от 18.04.2016. Положительное решение предварительной экспертизы.