

## Изучение смазывающих свойств масел на машине трения

© У. А. Васечкин, С. Н. Котельников, К. А. Торговцев, А. Н. Стрельников, Д. В. Кокоуров

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Работа посвящена установлению зависимости качества смазывания трущейся поверхности от времени на примере пары трения вкладыш – шейка коленчатого вала. При проведении исследования мы ставили перед собой следующие задачи: 1. Руководствуясь полученными данными, составить графики зависимости крутящего момента от времени. 2. Проанализировав полученные результаты, определить, какое из представленных масел дольше держится на поверхности трения, а потому наиболее качественно отводит тепло от поверхности, защищая ее от сухого трения, перегрева и преждевременного износа. 3. Изучив зависимость смазывающей способности от состава масла, предложить способы повышения качества масел. Для выполнения поставленных задач мы использовали такие методы, как определение смазывающих свойств моторных масел по каплеобразованию и изучение смазывающих свойств моторных масел на машине трения. Как при исследовании масел по каплеобразованию, так и при испытании масел на машине трения наиболее высокие показатели были продемонстрированы следующими моторными маслами: Масло Моторное ООО «Продтех» (10w-30); Motul 8100 Eco-Lite (5w-30); Castrol Magnatec (5w-30). Масла Mobil Super 3000 (5w-30), Shell Helix Hx7 (5w-30) на первом этапе исследований показали небольшой угол смачивания, но при изучении смазывающих свойств на машине трения у этих образцов наблюдалось быстрое увеличение силы сопротивления прокручиванию. Масла «Gazpromneft Super (10w-40)» и «Лукойл Стандарт (10w-40)» показали худшие результаты при исследовании по каплеобразованию, аналогично проявив себя на машине трения.

**Ключевые слова:** моторные масла, смазывающие свойства, вязкость, износ, пара трения, шероховатость, машина трения

## Study of lubricating properties of oils on a friction machine

© Ulyan A. Vasechkin, Stepan N. Kotelnikov, Kiril A. Torgovtsev,  
Alexander N. Strelnikov, Dmitry V. Kokourov

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The work is devoted to establishing the dependence of the quality of lubrication of a rubbing surface on time using the example of a friction pair bearing - crankshaft journal. The following tasks were set during the study: 1. to draw graphs of torque versus time, guided by the data obtained; 2. to determine, after analyzing the results, which of the oils presented lasts longer on the friction surface, and therefore removes heat from the surface with the highest quality, protecting it from dry friction, overheating and premature wear; 3. to suggest ways to improve the quality of oils by studying the dependence of lubricating capacity on the composition of the oil. To perform the tasks, such methods as determining the lubricating properties of motor oils by droplet formation and studying the lubricating properties of motor oils on a friction machine were used. Both in studies of oils in terms of drop formation, and when testing oils on a friction machine, the highest performance was demonstrated by the following motor oils: Motor Oil ООО Prodtekh (10w-30); Motul 8100 Eco-Lite (5w-30); Castrol Magnatec (5w-30). Oils Mobil Super 3000 (5w-30), Shell Helix Hx7 (5w-30) at the first stage of research showed a small contact angle, but when studying the lubricating properties on a friction machine, these samples showed a rapid increase in the resistance to rotation. Oils "Gazpromneft Super (10w-40)" and "Lukoil Standard (10w-40)" showed the worst results both in the study of drop formation and in the study of lubricating properties on a friction machine.

**Keywords:** engine oils, lubricating properties, viscosity, wear, friction pair, roughness, friction machine

Моторное масло за счет наличия в нем специальных присадок выполняет множество функций в двигателе: защищает от сухого трения и от возникновения коррозии, охлаждает трущиеся детали и выводит продукты износа [2–4]. За счет непрерывного движения масла по деталям двигателя происходит охлаждение, поддерживается оптимальная

температура двигателя [1, 2]. Уменьшение трения деталей происходит за счет образования масляной пленки, поэтому постоянное ее наличие важно для обеспечения правильной и надежной работы двигателя внутреннего сгорания.

Несомненно, моторное масло меняет свои первоначальные характеристики, подвергаясь

воздействию давления и температуры в процессе работы двигателя [1]. Чтобы масло продолжало успешно выполнять свои функции, в него добавляется определенное количество различных присадок. Одним из показателей, изменяющихся при работе двигателя, является вязкость. Вязкость масла значительно влияет на скорость и эффективность его подачи к узлам двигателя [5]. В ситуациях, когда между деталями отсутствует жидкостная смазка, величина силы трения и износа зависит от смазывающих свойств масла.

Основное влияние на смазывающие способности масел оказывают физико-химические свойства углеводородов и присадок, состав и количество которых строго засекречивается заводом-изготовителем масла.

Масло с хорошей смазывающей способностью должно предотвращать износ пары трения, хорошо отводить тепло от нагретых деталей [6], а также отодвигать момент разрыва масляной пленки и схватывания двух металлов. За противозадирные свойства масла отвечают химически активные вещества на основе серы, хлора, фосфора и кислорода [5, 7].

Разные марки масел обладают различными противозадирными и противоизносными свойствами, поэтому для различных типов двигателей подходят разные масла.

На первом этапе были проведены исследования смазывающих свойств моторных масел методом каплеобразования. Использовалась установка, показанная на рис. 1. При исследовании капля объемом 0,033 наносилась

на поверхности (3) с разной шероховатостью, далее изображение капли, полученное при помощи цифрового микроскопа (4), выводилось на компьютер (2). Для каждого масла выполняли по 10 замеров на каждой поверхности и измеряли высоту капли, диаметр основания капли и краевой угол смачивания; результаты сопоставлялись с полученными при исследовании базового маловязкого масла [8].

Следующий этап исследования моторных масел проводился на машине трения (рис. 2), которая состоит из рамы (1), электродвигателя (2) мощностью 0,22 кВт, редуктора (3) с передаточным числом 20, нагрузочного устройства (4), которое включает в себя шатун, вкладыши и пружины [9], индикатора часового типа (5) для фиксации крутящего момента, аналогового амперметра (6) и мультиметра (7) для измерения силы тока.

Усилия на шатуне определялись следующим образом. Сначала была произведена тарировка шатунной пружинки, показавшая, что при сжатии пружинки на 1 мм на шатун воздействует сила 0,0516 кг или 0,516 Н.

Исходя из рис. 3, мы вычислили коэффициент, являющийся отношением между плечом от шатунной шейки до пружины и плечом от шатунной шейки до штока измерительной головки:

$$k = \frac{200}{85} = 2,353 \quad (1)$$



Рис. 1. Установка для изучения смазывающих свойств масел: 1 – компьютер, получающий изображение с микроскопа; 2 – цифровой микроскоп; 3 – исследуемая поверхность



Рис. 2. Стенд для определения смазывающей способности масел: 1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – нагрузочное устройство; 5 – индикатор часового типа; 6 – аналоговый амперметр; 7 – мультиметр; 8 – стойки

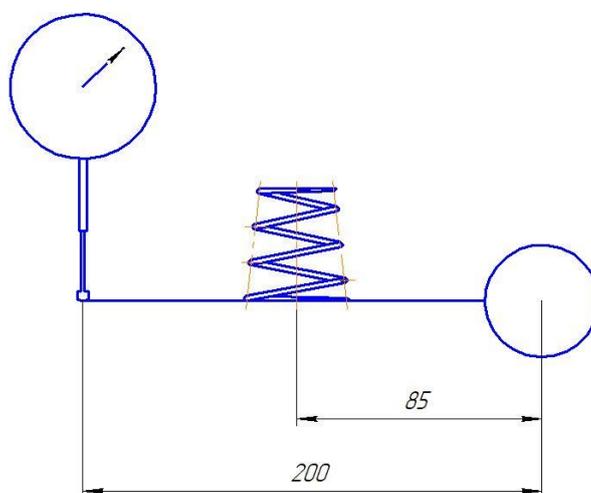


Рис. 3. Нахождение усилий на шатуне

Усилие при сжатии пружины на 5 мм определяется с учетом показаний микрометра:

$$F = \frac{L}{k} \cdot 0,516 + F_0 \quad (2)$$

где  $L$  – усилие в мм;  $F_0 = 2,58 \text{ Н}$  – первоначальное усилие пружины.

Крутящий момент на шатуне:

$$M = F \cdot a, \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3)$$

где  $F$  – усилие, действующее на шатун от

пружины;  $a$  – плечо от шатунной шейки до пружины [8, 10].

В данном исследовании смазывающая способность изучалась на машине трения. В качестве объекта исследования была выбрана пара трения вкладыш – шатунная шейка, являющаяся подшипником скольжения [8]. Для проведения исследования масло наносилось на место контакта вкладышей с шатунной шейкой. Шатун с закрепленными в нижней головке вкладышами, в свою очередь, закреплялся на шейке, и благодаря предварительно оттарированным пружинам создавалось усилие сжатия вкладышей равное 27 Н.

Этим методом исследовалось 14 марок масел: Castrol Magnatec (5w-30) Fully Syntetic, Gazpromneft Super (10w-40), Idemitsu (5w-30) Gasoline, Kixx G (5w-30), Mannol Classic 7501 (10w-40) Hc Synthese, Mobil Super 3000 (5w-30), Motul 8100 Eco-Lite (5w-30), Shell Helix Hx7 (5w-30), Tcl Zero Line (5w-30), Visco 5000 (5w-30), Zic X5 (5w-30), Лукойл Стандарт (10w-40), Масло Моторное ООО «Продтех» (10w-30),

Роснефть Maximum (10w-40). Каждое масло исследовалось в течение 70 минут. Опыты позволили определить величину усилия и крутящего момента на шатуне, являющуюся показателем эффективности смазки. Все полученные данные сравнивались с базовым маловязким маслом. Результаты можно увидеть на графиках зависимости крутящего момента от времени.

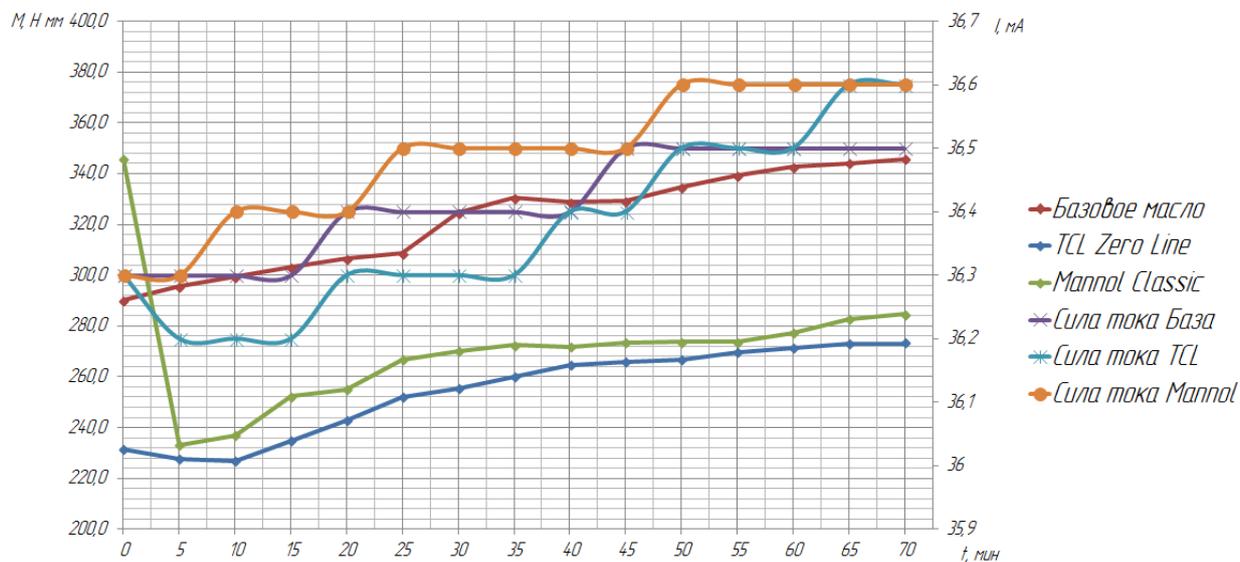


Рис. 4. График зависимости смазывающих свойств от времени для масел: Mannol Classic; TCL Zero Line; Базовое масло

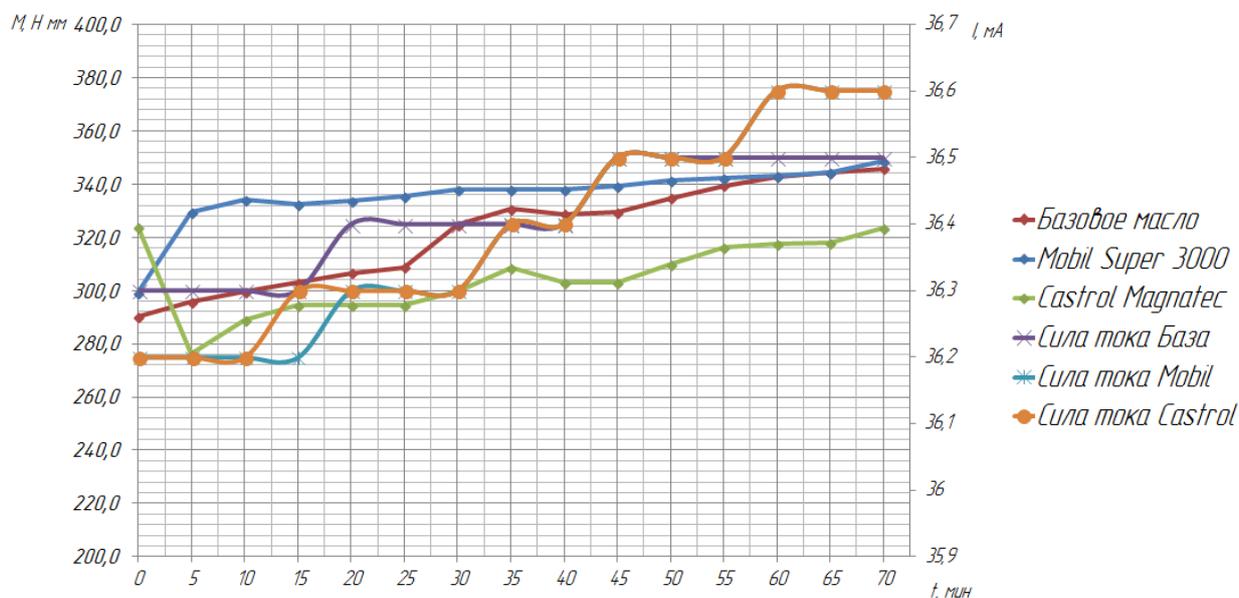


Рис. 5. График зависимости смазывающих свойств от времени для масел: Mobil Super 3000; Castrol Magnatec; Базовое масло

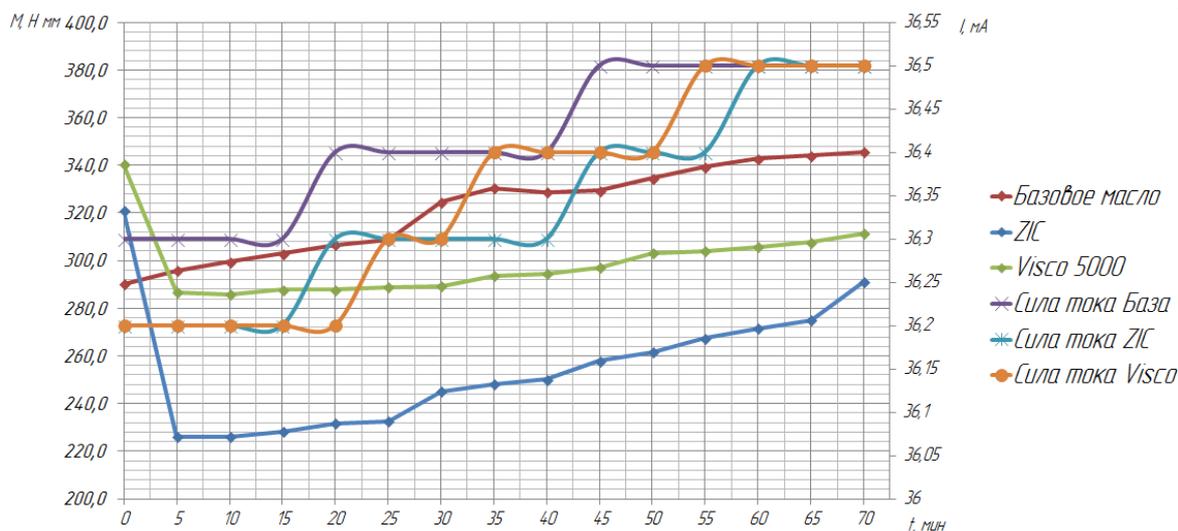


Рис. 6. График зависимости крутящего момента от времени для масел: ZIC; Visco 5000; Базовое масло

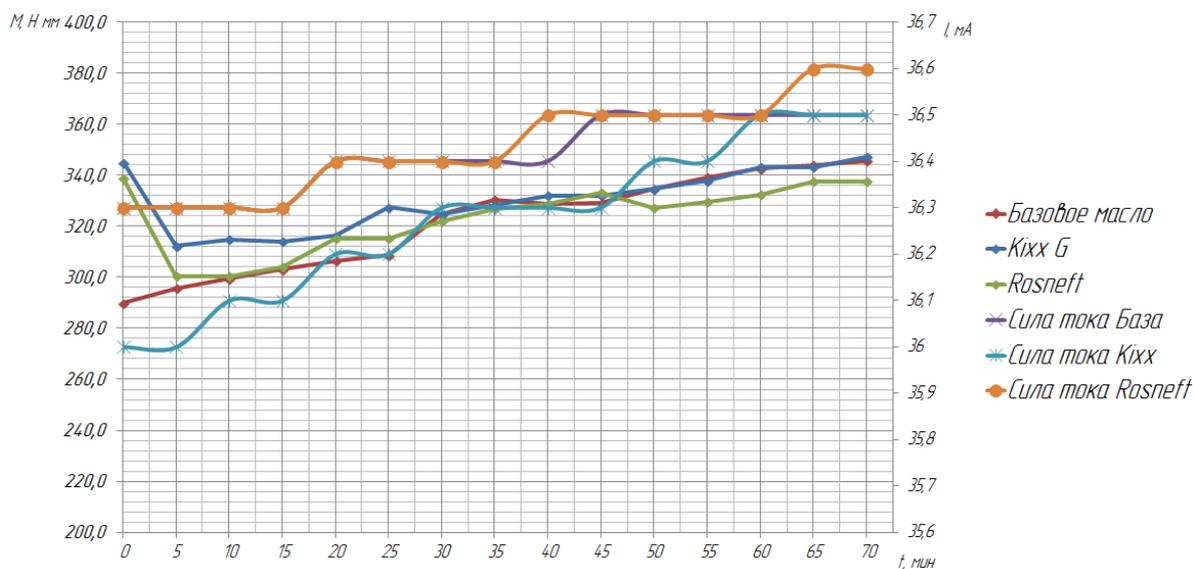


Рис. 7. График зависимости крутящего момента от времени для масел: Kixx G; Rosneft; Базовое масло

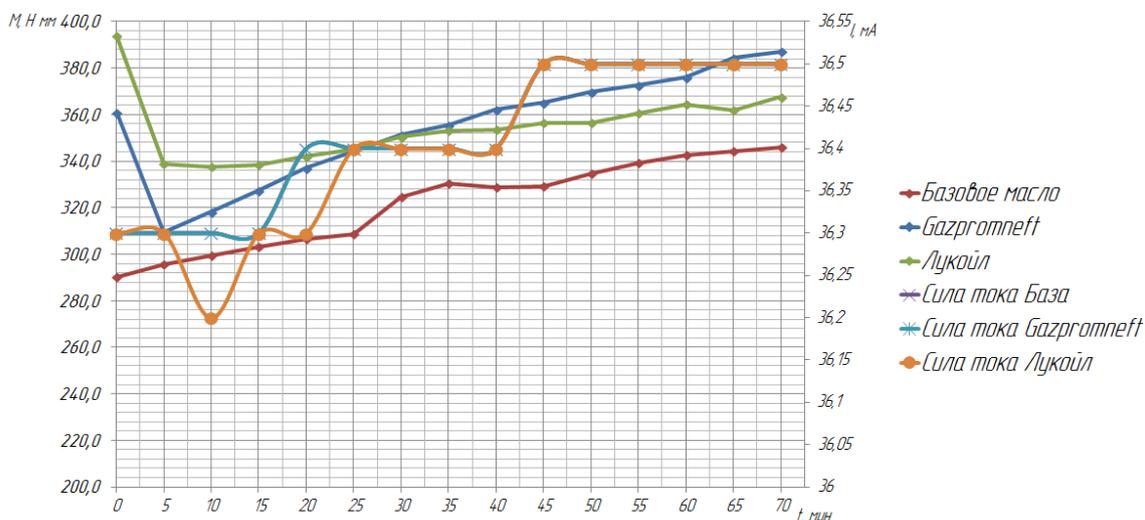


Рис. 8. График зависимости крутящего момента от времени для масел: Gazpromneft; Лукойл; Базовое масло

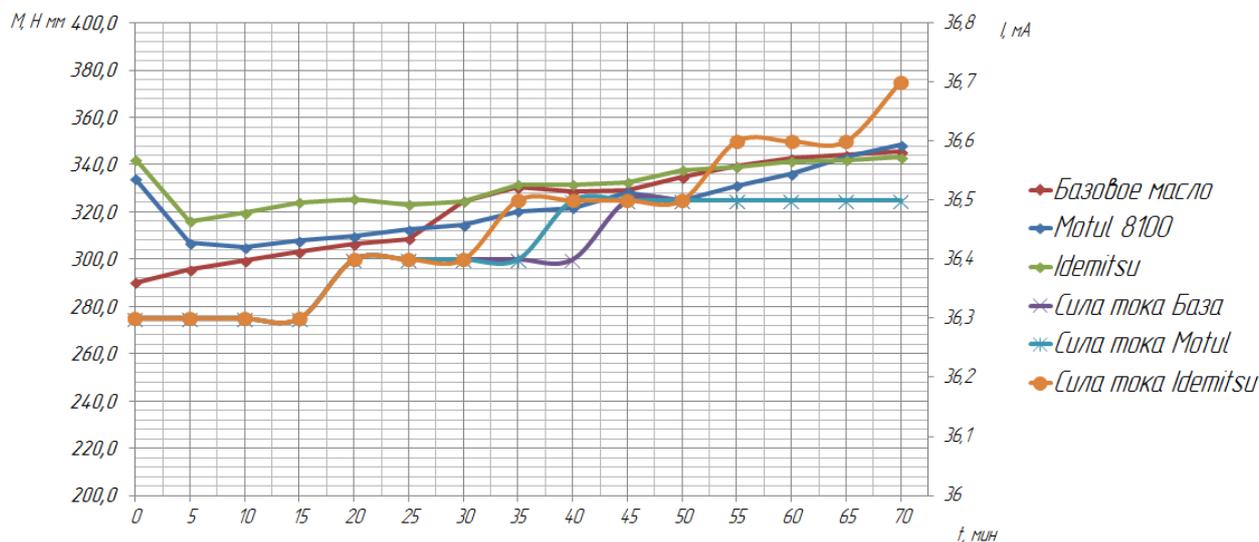


Рис. 9. График зависимости крутящего момента от времени для масел: Motul 8100; Idemitsu; Базовое масло

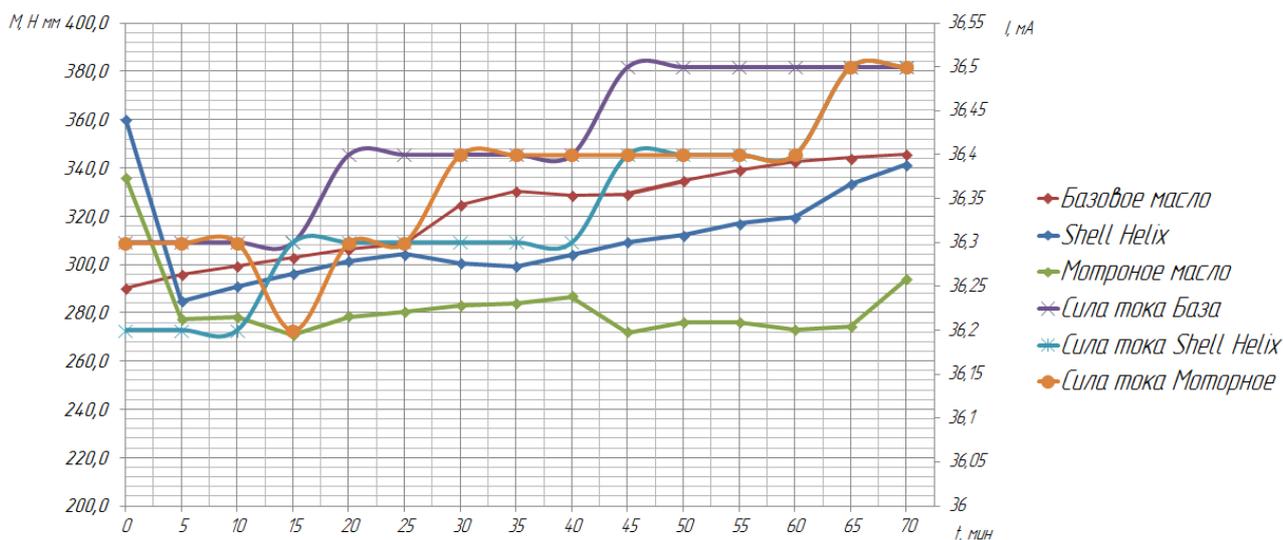


Рис. 10. График зависимости крутящего момента от времени для масел: Shell Helix; Моторное масло; Базовое масло

По результатам двух этапов исследований можно сделать вывод, что смазывающая способность моторных масел во время эксплуатации изменяется по-разному. Как при исследовании масел методом каплеобразования, так и при испытании на машине трения наиболее высокие показатели видим у масел: Масло Моторное ООО «Продтех» (10w-30); Motul 8100 Eco-Lite (5w-30); Castrol Magnatec (5w-30). Масла Mobil Super 3000 (5w-30), Shell Helix Hx7 (5w-30) на первом этапе исследований показали небольшой угол смачивания, но при изучении смазывающих свойств на машине трения наблюдалось быстро растущее сопротивление прокручиванию. Масла

«Gazpromneft Super (10w-40)» и «Лукойл Стандарт (10w-40)», показавшие худшие результаты при исследовании методом каплеобразования, аналогично проявили себя на машине трения. Это значит, что при трении в узлах двигателя такие масла будут плохо выполнять свои функции, что существенно сократит срок эксплуатации.

Также было замечено, что изменение силы сопротивления прокручиванию (силы трения) пропорционально изменению силы тока в паре трения «вкладыш-шейка». Таким образом, по силе тока в паре трения «вкладыш-шейка» можно судить об изменении смазывающих свойств масел.

Список источников

1. Полюшкин Н. Г. Основы теории трения, износа и смазки. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2013. 192 с.
2. Мышкин Н. К., Петроковец М. И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М.: Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
3. Томаров Г. В., Шипков А. А. Эрозионно-коррозионный износ энергетического оборудования: исследование, прогнозирование и предупреждение. Ч. 2. Прогнозирование и предупреждение общей и локальной эрозии-коррозии // Теплоэнергетика. 2018. № 8. С. 17–28. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1134/S0040363618080076> (24.04.2022).
4. Liu Xiaolong, Hwang Woonggi, Park Jaewoong, Van Donghyun, Chang Yunlong, Lee Seung Hwan [et al]. Toward the multiscale nature of stress corrosion cracking // Nuclear Engineering and Technology. 2018. Vol. 50. Iss. 1. P. 1-17. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.10.014> (24.04.2022).
5. Чичинадзе А. В., Браун Э. Д., Буше Н. А. [и др.]. Основы трибологии (трение, износ, смазка). М.: Изд-во Машиностроение, 2001. 664 с.
6. Кудашев С. Ф., Кудашева О. В., Душутина О. В., Равилов Р. Р. Интенсификация теплопередачи в пластинчатом теплообменнике за счет пульсации потока теплоносителя // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10. Ч. 2. С. 262–267.
7. Гаркунов Д. Н. Триботехника. М.: Изд-во Машиностроение, 1989. 328 с.
8. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Изд-во Машиностроение, 1977. 526 с.
9. Victoria R., Petrescu V. Mechatronic systems to the braking mechanisms // Journal of Mechatronics and Robotics. 2020. Vol. 4. № 1. P. 156-190. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.3844/jmrsp.2020.156.190> (24.04.2022).
10. Матвеев В. И. Точные измерения – основа качества и безопасности // Контроль. Диагностика. 2019. № 8. С. 4–11. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.14489/td.2019.08.pp.004-011> (24.04.2022).

Информация об авторах / Information about the Authors

**Ульян Александрович Васечкин**,  
студент группы СДМ-19-1,  
Институт авиационного машиностроения и транспорта,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[ulyan.vase4kin@ya.ru](mailto:ulyan.vase4kin@ya.ru)

**Степан Николаевич Котельников**,  
студент группы СДМ-19-1,  
Институт авиационного машиностроения и транспорта,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[kotelnikov.s.nikolaevich@mail.ru](mailto:kotelnikov.s.nikolaevich@mail.ru)

**Кирилл Александрович Торговцев**,  
студент группы СДМ-16-1,  
Институт авиационного машиностроения и транспорта,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[torgovtsev.kiril@yandex.ru](mailto:torgovtsev.kiril@yandex.ru)

**Александр Николаевич Стрельников**,  
доцент кафедры «Строительные дорожные машины и  
гидравлические системы»,  
Институт авиационного машиностроения и транспорта,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[strelnikov077@rambler.ru](mailto:strelnikov077@rambler.ru)

**Ulyan A. Vasechkin**,  
Student,  
Institute of Aircraft Engineering and Transport,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[ulyan.vase4kin@ya.ru](mailto:ulyan.vase4kin@ya.ru)

**Stepan N. Kotelnikov**,  
Student,  
Institute of Aircraft Engineering and Transport,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[kotelnikov.s.nikolaevich@mail.ru](mailto:kotelnikov.s.nikolaevich@mail.ru)

**Kiril A. Torgovtsev**,  
Student,  
Institute of Aircraft Engineering and Transport,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[torgovtsev.kiril@yandex.ru](mailto:torgovtsev.kiril@yandex.ru)

**Alexander N. Strelnikov**,  
Associate Professor of the Department "Road  
Construction Machines and Hydraulic Systems",  
Institute of Aircraft Engineering and Transport,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[strelnikov077@rambler.ru](mailto:strelnikov077@rambler.ru)

**Дмитрий Владимирович Кокоуров,**  
заведующий кафедрой «Строительные дорожные  
машины и гидравлические системы»,  
Институт авиационного строительства и транспорта,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
Kokourovdv@istu.edu

**Dmitry V. Kokourov,**  
Head of Road Construction Machines and Hydraulic  
Systems Department ,  
Institute of Aircraft Engineering and Transport,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
Kokourovdv@istu.edu