

УДК 621.892.1

**ПРОВЕРКА МИНЕРАЛЬНОГО МОТОРНОГО МАСЛА НА  
ТЕМПЕРАТУРНУЮ СТОЙКОСТЬ**

**Эйдзен Никита Александрович**

магистрант

**Абросимов Александр Геннадьевич**

кандидат технических наук, доцент

[AlexAbr84@bk.ru](mailto:AlexAbr84@bk.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Приведены результаты испытания минерального моторного масла М10/Г2к на температурную стойкость и определено влияние продуктов деструкции на противоизносные свойства и износостойкость стали ШХ15.

**Ключевые слова:** моторное масло, температурная стойкость, продукты деструкции, коэффициент относительной вязкости, коэффициент летучести, коэффициент поглощения светового потока, коэффициент износа.

Проблема трения, смазочного действия и износа напрямую определяет надежность объектов машиностроения. При решении трибологических задач используются качественные представления об оптимизации шероховатостей поверхностей, о закономерностях приработки, противозадирной стойкости и антиокислительной стабильности смазочных материалов, гетерогенности структуры антифрикционных материалов и совместимости материалов пар трения [1].

Одной из актуальных задач в этой области является расширение температурного диапазона работоспособности смазочных материалов. Решение этой задачи достигается введением поверхностно активных или химически активных соединений, образующих тонкие слои продуктов взаимодействия активных компонентов смазочной среды с материалами поверхностей трения [2]. Эти слои обладают пониженным сопротивлением сдвигу и имеют более высокую температурную стойкость, чем исходный смазочный материал.

Для снижения потерь на трение большое внимание уделяется разработке специальных антифрикционных присадок, именуемых модификаторами трения [3], проявляющих эффективное действие при высоких температурах, характерных, в частности, для зоны цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Нагрузочно-скоростные режимы работы трибосистемы, одним из элементов которой является смазочный материал, определяют температурный режим, поэтому основным требованием к нему является температурная стойкость [4]. На ряду с вышеперечисленными существует малоисследованная проблема повышения работоспособности подшипников качения, изготовленных из одного материала, но работающих в различных смазочных средах и температурных условиях. В этой связи имеет важное научное и практическое значение объяснение механизма действия смазочной среды при различных температурах на износостойкость подшипниковой стали [3, 5, 6].

Целью настоящей работы является исследование влияния температур в

диапазоне от 140 до 240 °С на противоизносные свойства минерального масла М10Г<sub>2</sub>к и изменение износостойкости покрытий, образующихся на поверхностях стали ШХ15 при термостатировании.

Испытания минерального масла М10Г<sub>2</sub>к проводились на трехшариковой машине трения со схемой трения «шарцилиндр» [4]. В качестве образцов использовалась обойма конического шарико подшипника 7208 диаметром 80 мм и шарики диаметром 9,2 мм. Трение трех шариков проводилось по индивидуальным дорожкам трения, а через одну пару трения пропускался постоянный ток от стабилизированного источника напряжения 3 В, величиной 100 мкА [5, 6]. Противоизносные свойства термостатированных проб масел оценивались по диаметру пятна износа.

Параметры трения составили: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, температура испытания 80±0,5 °С. Пробы масла массой 100±0,1 г испытывались в специально разработанном приборе для определения температурной стойкости, где оно подвергалось термостатированию в течение 7 ч при температурах от 140 до 240 °С совместно с обоймой подшипника при атмосферном давлении. Температура испытания поддерживалась автоматически с помощью терморегулятора ТР101. Температурная стойкость испытуемой пробы оценивалась по изменениям вязкости, коэффициента поглощения светового потока и летучести, которые измерялись соответственно на вискозиметре, спектрофотометре и электронных весах [2, 7].

Противоизносные свойства оценивались при испытании масла на машине трения с обоймами без термостатирования их в масле и с термостатированием. Температура термостатирования задавалась ступенчато через 20 °С – от 140 до 240 °С.

Влияние температуры на изменение свойств минерального моторного масла оценивалось коэффициентами поглощения светового потока, измеряемого на спектрофотометре ПЭ5300 В, относительной вязкости и летучести (рис. 1).

Коэффициент относительной вязкости определялся отношением

$K = \tau / \tau_{исх}$ , где  $\tau$  и  $\tau_{исх}$  – соответственно вязкости термостатированного и исходного масел, сСт.

Коэффициент летучести определялся отношением

$K_G = m/M$ , где  $m$  и  $M$  – соответственно масса испарившегося и оставшегося масла в пробе после термостатирования, г.

С увеличением температуры испытания (рис. 1, а) наблюдается увеличение коэффициента поглощения светового потока; величина этого коэффициента в диапазоне температур от 160 до 220 °С изменяется слабо.

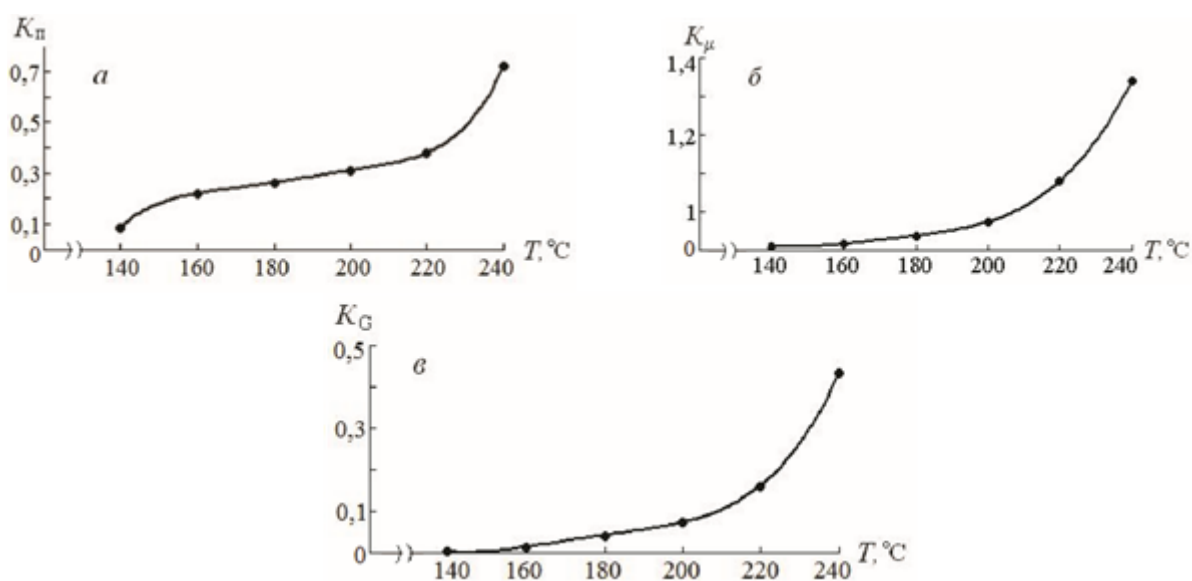


Рисунок 1 - Температурная зависимость коэффициентов: а) поглощения светового потока  $K_{\pi}$ ; б) относительной вязкости  $K_{\mu}$ ; в) летучести  $K_G$

Относительная вязкость при термостатировании вначале падает при температуре испытания 140 °С на 10 %, а затем по параболической зависимости (рис. 1, б) увеличивается, причем при температуре 205 °С достигает значения вязкости исходного масла.

При температуре 240 °С относительная вязкость масла увеличивается на 34 %. Падения вязкости можно объяснить деструкцией вязкостной присадки и базовой основы, а увеличение – образованием продуктов деструкции и испарением легких фракций. Это подтверждается зависимостью коэффициента летучести  $K_G$  (рис. 1, в) от температуры испытания. С ростом температуры испытания летучесть увеличивается, а тенденция ее роста аналогична изменению коэффициента относительной вязкости, т. е. с увеличением

летучести повышается вязкость.

Влияние продуктов деструкции на вязкость испытуемого масла оценивалось зависимостью  $K=f(K_{\text{п}})$  (рис. 2), из которой видно, что с увеличением коэффициента  $K_{\text{п}}$  до значений, равных 0,22 ед., вязкость практически не изменяется, а при значении  $K_{\text{п}}$ , изменяющемся от 0,22 до 0,72 ед., она резко увеличивается, что соответствует температурам испытания от 160 до 240 °С (рис. 1, а). Такая тенденция изменения вязкости зависит от состава продуктов деструкции, меняющегося от жидкого состояния в полужидкое, а затем в твердое. Наибольшее влияние на вязкость оказывают полужидкие (гелеобразные) продукты, которые были установлены после центрифугирования термостатированных проб масла.

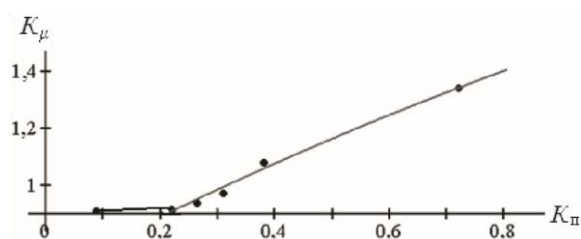


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента относительной вязкости от коэффициента поглощения светового потока

Связь между коэффициентами поглощения светового потока и летучестью представлена на рис. 3. Установлено, что эта зависимость имеет линейный характер. Зависимость коэффициента относительной вязкости от коэффициента летучести имеет линейный характер, рис. 4. На вязкость так же оказывают влияние гелеобразные продукты деструкции [7, 9].

Температурную стойкость различных масел можно оценивать по значениям коэффициентов поглощения светового потока и летучести. Процесс преобразования избыточной тепловой энергии протекает одновременно и вызывает изменение оптических свойств и летучести масла [9], сумма коэффициентов  $K_{\text{п}}$  и  $K_{\text{Г}}$  определяет коэффициент температурной стойкости  $П_{\text{тс}}$ , рис. 5.

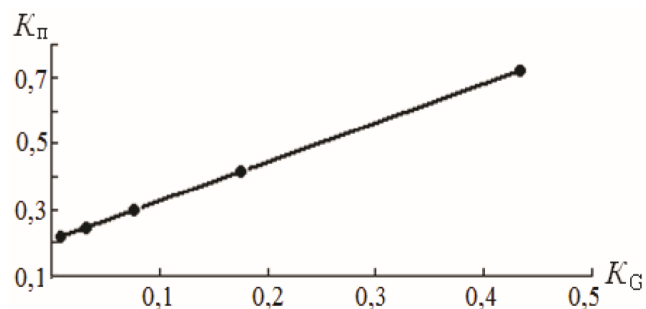


Рисунок 3 - Взаимосвязь коэффициента поглощения светового потока и коэффициента летучести

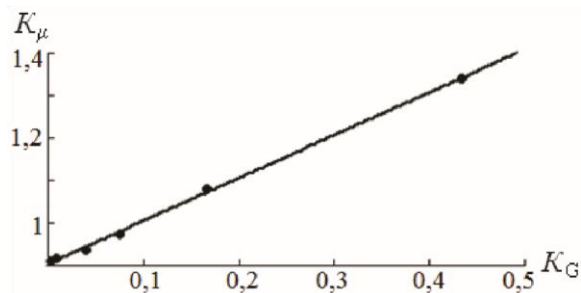


Рисунок 4 - Взаимосвязь коэффициента относительной вязкости и коэффициента летучести

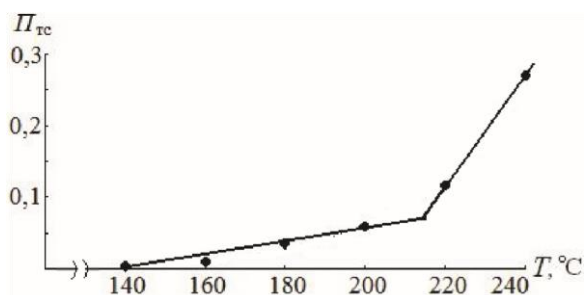


Рисунок 5 - Зависимость показателя температурной стойкости от температуры испытания

Противоизносные свойства минерального моторного масла оценивались на машине трения, причем обойма подшипника термостатировалась вместе с маслом, и на ее поверхности образовались соединения (покрытия) от светло синего до темно синего цвета в зависимости от температуры. Противоизносные свойства оценивались при испытании обоймы с покрытием и без него. Это позволило оценить износостойкость покрытий и влияние температуры на ее механическую прочность. Так как основное влияние на противоизносные свойства должны оказывать продукты деструкции, влияющие на оптические свойства масла, то исследована зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока (рис. 6). При испытании обоймы без покрытия (кривая 1) износ шаров в интервале значений  $K_{\text{п}}$  от 0 до 0,72 ед. изменяется незначительно, в пределах от 0,23 до 0,34 мм. При испытании

обоймы с покрытием износ увеличивается до 0,54 мм (кривая 2). Однако износ обоймы без покрытия и с ним мало различается при значениях  $K_{п} < 0,22$  ед., что соответствует температуре испытания 160 °С. Можно полагать, что она является предельной температурой работоспособности подшипниковой стали и при ней начинают образовываться гелеобразные продукты деструкции, отрицательно влияющие на покрытие и вызывающие повышенный износ. Вероятно, что при температуре выше 160 °С противоизносные присадки теряют свои функции.

Влияние продуктов деструкции на износ стали ШХ15 с покрытием и без него оценивалось показателем относительного износа  $K_{и}$

$K_{и} = I_{тс} / I_{тм}$ , где  $I_{тс}$  – износ шаров при испытании термостатированного масла при трении по обойме с покрытием и без него;  $I_{тм}$  – износ шаров при испытании по обойме без покрытия в товарном масле.

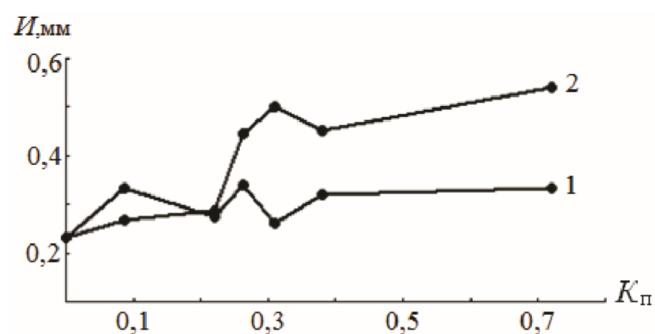


Рисунок 6 - Взаимосвязь величины износа  $I$  и коэффициента поглощения светового потока  $K_{п}$  без покрытия обоймы (кривая 1) и с покрытием (кривая 2)

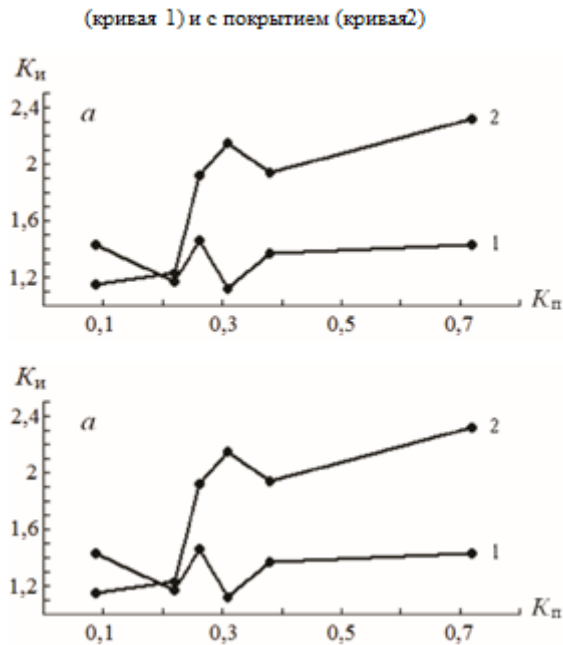


Рисунок 7 - Зависимость: а) коэффициента износа и б) показателя износостойкости стали ШХ15 от коэффициента поглощения светового потока  $K_{п}$  при исследовании стали без покрытия (кривая 1) и с покрытием (кривая 2)

С увеличением коэффициента  $K_{п}$  (рис. 7, а) износ шаров при испытании термостатированного масла по обойме без покрытия (кривая 1) изменяется максимум в 1,4 раза, а при испытаниях с покрытием (кривая 2) он увеличивается в 2,3 раза по сравнению с товарным маслом. Наблюдается резкое увеличение коэффициента износа  $K_{и}$  с покрытием при значениях  $K_{п} < 0,22$  ед., что соответствует температуре испытания 160 °С.

Влияние продуктов деструкции на износ стали ШХ15 оценивалось показателем износостойкости  $П_{и}$

$П_{и} = K_{п} / K_{и}$ , где  $K_{п}$  – коэффициент поглощения светового потока при термостатировании масла с обоймой подшипника;  $K_{и}$  – коэффициент износа стали с покрытием и без него.

Физический смысл данного показателя определяет количество продуктов деструкции, приходящееся на единицу изменения коэффициента износа. Как видно из рис. 7, б, (кривая 2), покрытие снижает концентрацию продуктов деструкции на поверхности трения, поэтому износостойкость стали ШХ15 падает по сравнению со сталью без покрытия. Подтверждается тот факт, что при увеличении коэффициента  $K_{п}$  до значения 0,22 (температура испытания 160



°С) кривые 1 и 2 незначительно различаются, а при  $K_p > 0,22$  показатель износостойкости резко падает [2, 3, 10, 11].

Методика исследования температурной стойкости смазочных материалов, включающая контроль изменения их оптических свойств, вязкости и летучести, позволяет определить кинетику деструкции присадок, выявить влияние концентрации продуктов деструкции на противоизносные свойства термостатированных масел [12].

Показано, что при температуре 240 °С и выше процессы деструкции в минеральном масле М10Г<sub>2</sub>к протекают более интенсивно, а коэффициенты поглощения светового потока, летучести и вязкости приобретают максимальные значения. При значениях коэффициента поглощения светового потока, не превышающих 0,22 ед., вязкость практически не изменяется, а в диапазоне изменения этого коэффициента от 0,22 до 0,72 ед. она резко увеличивается. При термостатировании масла М10Г<sub>2</sub>к установлена линейная зависимость между вязкостью и летучестью.

Износостойкость стали ШХ15 снижается при температуре испытания масла М10Г<sub>2</sub>к выше 160 °С за счет образования на поверхности трения химических соединений продуктов деструкции со сталью.

#### **Список литературы:**

1. Костецкий Б.И. Структурно энергетическая приспособляемость материалов при трении // Трение и износ. – 1985. – Т. 6. – № 2. – С. 201–212.
2. Буяновский И.А. и др. Влияние покрытий ориентантов на энергию активации разрушения граничного слоя // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. – № 1. – С. 15–20.
3. Лашхи В.Л. и др. Исследование эффективности действия антифрикционных присадок к моторным маслам // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – № 6. – С. 988–993.
4. Устройство для испытания трущихся материалов и масел: а.с. 983522 СССР; опубл. 1982, Бюл. № 47.
5. Способ определения смазывающей способности масел: а.с. 1054732

СССР; опубл. 1983, Бюл. № 42.

6. Повышение смазывающих свойств топлива / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, К.А. Манаенков, А.Ю. Бектилезов // Сельский механизатор. - 2012. - № 4. - С. 34-35.

7. Аналитическая оценка свойств дисперсно-упрочненных гальванических композитных многослойных покрытий / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, А.И. Краснов, К.А. Манаенков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2015. - № 1. - С. 142-149.

8. The technique of automated applying of polymer coatings used for repair of tractor parts / D. Psarev, V. Khatuntsev, M. Mishin, S. Astapov, A. Rozhnov // В сб.: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. – 2019. – С. 012011.

9. Дисперсионная среда пластичных смазок на основе отработанных масел / В.В. Остриков, С.Ю. Попов, И.Н. Шихалев, А.Г. Дивин, К.А. Манаенков // Наука в центральной России. - 2015. - № 2 (14). - С. 43-53

10. Ли, Р.И. Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом // Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики. Технологии. – 2019. – № 9. – С. 38-43.

11. Петина, И.И. Классификация присадок моторных масел, используемых в сельскохозяйственной технике / И.И. Петина, Т.Ю. Холопова, В.В. Хатунцев // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 56.

12. Кузнецова, А.П. Прорывные технологии современности в агропромышленном комплексе / А.П. Кузнецова, Н.В. Пчелинцева, С.А. Улыбышева // В сб.: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. – С. 191-194.

**UDC 621.892.1**

**CHECKING MINERAL ENGINE OIL FOR TEMPERATURE  
RESISTANCE**

**Eidzen Nikita Aleksandrovich**

master's student

**Abrosimov Alexander Gennadievich**

Candidate of technical sciences, Associate Professor

[AlexAbr84@bk.ru](mailto:AlexAbr84@bk.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The results of testing of mineral motor oil M10 / G2k for temperature resistance are given and the effect of destruction products on the antiwear properties and wear resistance of ShKh15 steel is determined.

**Key words:** Engine oil, temperature resistance, degradation products, relative viscosity coefficient, volatility coefficient, light flux absorption coefficient, wear coefficient.