

МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА ТАП-15В

В работе приведены результаты исследования минерального трансмиссионного масла ТАП-15В на предмет определения показателей термоокислительной стабильности, включающих оптическую плотность, вязкость, испаряемость. Показано влияние температуры на окислительные процессы. Таким образом, исследование термоокислительной стабильности с применением оптического вида неразрушающего контроля методом фотометрии окисленных трансмиссионных масел позволяет оценить кинетику изменения оптических свойств, определяемых коэффициентом поглощения светового потока, определить связь между оптическими свойствами и вязкостью, а также скорость окислительных процессов и испаряемость масел, что позволяет в качестве параметра термоокислительной стабильности масел предложить комплексный коэффициент термоокислительной деструкции, учитывающий оптические свойства и вязкость при их окислении.

Ключевые слова: оптический метод, коэффициент поглощения светового потока, вязкость, испаряемость, термоокислительная стабильность, термоокислительная деструкция, коэффициент термоокислительной деструкции.

Введение. Работоспособность агрегатов трансмиссии зависит от состояния трансмиссионных масел, применяемых для смазывания трущихся узлов трансмиссий автомобилей, тракторов, тепловозов, сельскохозяйственных, дорожных, строительных машин и судовой техники. Поверхности элементов трансмиссии (валов, зубьев шестерён, подшипников и т. д.) нагреваются до 200–250 °С, так как испытывают нагрузки от 500 до 2000 МПа, а гипoidные — до 4000 МПа [1].

Высококачественные трансмиссионные масла предохраняют поверхности трения от износа, отводят тепло от поверхностей трения, уменьшают ударные нагрузки и уносят частицы износа с поверхностей трения. Защита от износа и задира обеспечивается при помощи противозадирных и противоизносных присадок.

Минеральное трансмиссионное масло ТАП-15В (ГОСТ 23652–79) [2] выбрано в качестве испытуемого образца, которое представляет смесь высоковязкого ароматизированного продукта с дистиллятным маслом и комплектом присадок, улучшающих противозадирные и низкотемпературные свойства.

Масло ТАП-15В используется в трансмиссиях грузовых автомобилей, в которых контактные напряжения достигают 2000 МПа, а температура масла в объеме 130 °С. Масло используют всевозможным образом в средней климатической зоне при температуре до минус 25 °С. Данное масло относится к группе ТМ-3 эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.2–85 [3]. ГОСТ 17479.2–85 определяет классификацию трансмиссионных масел по классам вязкости и группам эксплуатационных свойств, однако методическое обеспечение по установлению этих свойств включает большое количество методов квалификационной оценки. Механизм окисления трансмиссионных масел недостаточно изучен. Проблема повышения эффективности использования трансмиссионных масел относится к одной из сложных научно-технических задач трибологии, материаловедения и химмотологии. Например, согласно ГОСТ 18136–72 [4], исследование для трансмиссионных масел предлагается проводить при одной температуре, равной 125 °С, что не позволяет получить обширную информацию о кинетике протекания процесса деструкции. Также в данном

ГОСТе указано фиксированное время испытания масла и составляет 40 часов, что не всегда является достаточным для оценки критических значений показателей смазочных масел.

В этой связи разработка новых методов контроля состояния трансмиссионных масел в процессе эксплуатации техники является актуальной задачей. Решение этой задачи должно учитывать изменение основных физико-химических показателей и влияние продуктов старения на термоокислительную стабильность трансмиссионных масел. Под старением понимается процесс деструкции масла в процессе эксплуатации трансмиссий. Поэтому научное и практическое значение представляют исследования механизма старения трансмиссионных масел в период эксплуатации.

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является проверка в лабораторных условиях предложенного оптического вида неразрушающего контроля трансмиссионных масел методом фотометрии для определения их термоокислительной стабильности.

Теория. Методика исследования, средства контроля и испытания предполагают создание реальных условий эксплуатации трансмиссий в лабораторных условиях и предусматривают применение таких устройств, как прибор для термостатирования масел [5], фотометрический анализатор жидкостей (далее — фотометр) [6] для прямого фотометрирования окисленных масел при толщине фотометрируемого слоя — 0,15 мм, малообъемный вискозиметр [7], электронные весы для оценки испаряемости масел. Техническая характеристика приборов приведена в монографии [8].

Методика исследования заключалась в термостатировании трансмиссионного масла постоянной массы $100 \pm 0,1$ г в стеклянном стакане с перемешиванием его стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин. Испытания проводились, в диапазоне температур от 130 до 150 °С. Температура масла в процессе испытания поддерживалась автоматически $\pm 1,0$ °С [9–11].

Через определенные промежутки времени проба масла взвешивалась для определения массы испарившейся части и подвергалась фотометрированию и измерению вязкости. Оптические свойства масла оценивались на фотометре по коэффициенту

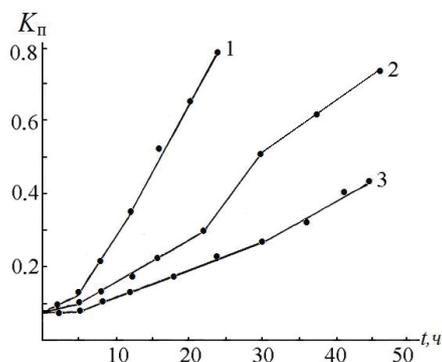


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения светового потока K_n от времени и температуры испытания трансмиссионного масла ТАП-15В: 1 — 150 °С; 2 — 140 °С; 3 — 130 °С

поглощения светового потока K_n , определяемому по формуле

$$K_n = (300 - P)/300, \quad (1)$$

где 300 — фототок, генерируемый фотоэлементом при отсутствии масла в кювете, мкА; P — фототок при наличии масла в кювете, мкА.

Термоокислительная стабильность масла ТАП-15В исследовалась как величина, обратная термоокислительной деструкции. Термоокислительная деструкция оценивалась коэффициентом поглощения светового потока, изменением вязкости, испаряемостью, коэффициентом термоокислительной деструкции и скоростью окислительных процессов в диапазоне температур от 130 до 150 °С [12, 13].

Результаты экспериментов. Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени и температуры испытания (рис. 1) имеют тенденции увеличения, однако интенсивность окисления определяется температурой испытания. Так, значение коэффициента K_n достигается соответственно при температуре испытания 150 °С за 8 часов; 140 °С — за 14 ч, а при температуре 130 °С за 22 ч, т.е. с уменьшением температуры от 150 °С до 130 °С время окисления снизилось в 2,75 раза.

Изменение вязкости в процессе окисления масла оценивалось коэффициентом относительной вяз-

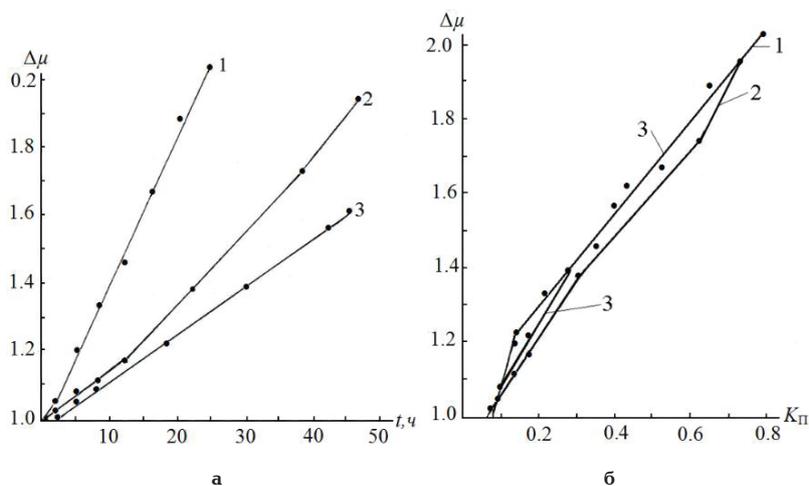


Рис. 2. Зависимость относительной вязкости $\Delta\mu$ от времени (а) и коэффициента поглощения светового потока K_n (б) при испытании трансмиссионного масла ТАП-15В: 1 — 150 °С; 2 — 140 °С; 3 — 130 °С

кости (рис. 2а), определяемым отношением вязкости окисленного масла к вязкости исходного.

$$\Delta\mu = \mu_o / \mu_{исх}, \quad (2)$$

где μ_o — вязкость окисленного масла, $\text{м}^2/\text{с}$; $\mu_{исх}$ — вязкость исходного масла, $\text{м}^2/\text{с}$.

С увеличением времени испытания интенсивность роста относительной вязкости зависит от температуры испытания [14, 15]. Если принять предельное значение увеличения относительной вязкости $\Delta\mu = 1,2$, то время испытания для температуры 150°C составит 5,5 ч, 140°C — 13,5 ч, а 130°C — 16,5 ч.

Влияние продуктов окисления на относительную вязкость (рис. 2б) можно оценить зависимостью $\Delta\mu = f(K_n)$. Предельное значение относительной вязкости наступает при значениях ($\Delta\mu = 1,2$) коэффициента поглощения светового потока для температур $130\text{--}150^\circ\text{C}$ в пределах от 0,12 до 0,2, поэтому коэффициент K_n может служить диагностическим параметром в процессе эксплуатации трансмиссий.

Обсуждение экспериментов. На основании полученных результатов, установлено, что при окислении изменяются вязкость и оптические свойства испытуемого масла. Эти параметры характеризуют

термоокислительную деструкцию, которую можно выразить коэффициентом K_{mog}

$$K_{mog} = K_n \cdot \mu_o / \mu_{исх} \text{ или } K_{mog} = K_n \cdot \Delta\mu.$$

Зависимость коэффициента термоокислительной деструкции от времени и температуры испытания (рис. 3) была описана полиномиальной функцией второго порядка

$$K_{mog} = at^2 + bt + c,$$

где a, b, c — коэффициенты, характеризующие процессы образования продуктов окисления.

Механизм окисления характеризуется зависимостью между коэффициентами термоокислительной деструкции и поглощения светового потока (рис. 4).

Эти зависимости представляют кусочно-линейную функцию с изгибом, вызванным образованием конечных продуктов окисления, поэтому углы наклона участков зависимости $K_{mog} = f(K_n)$ к оси абсцисс характеризуют скорости образования промежуточных и конечных продуктов окисления. Данные зависимости могут использоваться при выборе трансмиссионных масел с улучшенными вязкостно-температурными свойствами.

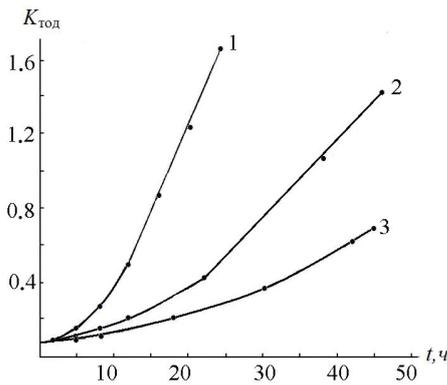


Рис. 3. Зависимость коэффициента термоокислительной деструкции $K_{тод}$ от времени и температуры испытания трансмиссионного масла ТАП-15В: 1 — 150°C ; 2 — 140°C ; 3 — 130°C

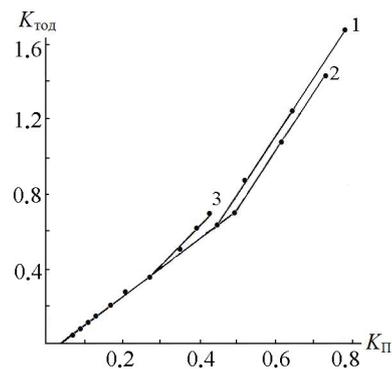


Рис. 4. Зависимость коэффициента термоокислительной деструкции $K_{тод}$ от коэффициента поглощения светового потока K_n и температуры испытания трансмиссионного масла ТАП-15В: 1 — 150°C ; 2 — 140°C ; 3 — 130°C

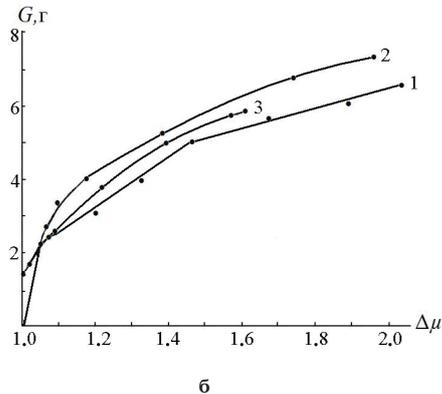
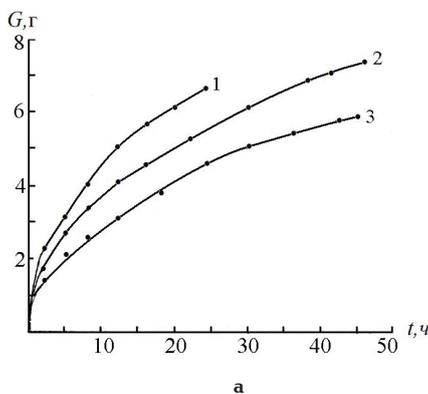


Рис. 5. Зависимость испаряемости G (а) и относительной вязкости $\Delta\mu$ (б) от времени и температуры испытания трансмиссионного масла ТАП-15В: 1 — 150°C ; 2 — 140°C ; 3 — 130°C

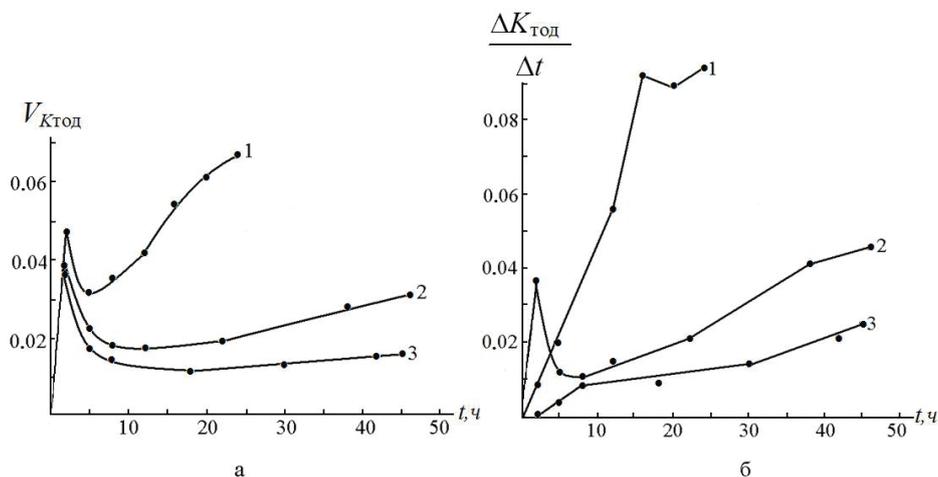


Рис. 6. Зависимость скорости изменения коэффициента термоокислительной деструкции (а) и его приращения (б) от времени и температуры испытания трансмиссионного масла ТАП-15В: 1 — 150 °С; 2 — 140 °С; 3 — 130 °С

Важным эксплуатационным показателем трансмиссионных масел является испаряемость, которая определяет потерю массы исследуемых масел [16]. Зависимости испаряемости от времени и температуры испытания приведены на рис. 5. Испаряемость зависит от температуры испытания (рис. 5а). Так, после 20 ч испытания она для температуры 150 °С составляет 6,1 г, 140 °С — 5 г, и 130 °С — 4 г, т.е. с уменьшением температуры испытания от 150–130 °С испаряемость снизилась в 1,5 раза. Кроме того, с увеличением времени испытания испаряемость уменьшается, что объясняется увеличением вязкости при окислении масла. Это подтверждается зависимостями (рис. 5б) испаряемости от относительной вязкости, согласно которым с увеличением относительной вязкости рост испаряемости замедляется, однако прямой зависимости от температуры не наблюдается. Наибольшая испаряемость наблюдается при температуре 140 °С, а наименьшая при 150 °С. Это обусловлено различиями в концентрациях промежуточных продуктов окисления и скорости окисления.

Скорость изменения коэффициента термоокислительной деструкции от времени и температуры испытания (рис. 6а) характеризуется тремя этапами. На первом этапе, продолжительностью 2 часа, наблюдается резкие увеличения скорости изменения коэффициента термоокислительной деструкции, амплитуда которой зависит от температуры. На втором этапе скорость изменения коэффициента термоокислительной деструкции уменьшается до минимального значения, которое с понижением температуры испытания смещается вправо. На третьем этапе наблюдается увеличение скорости изменения коэффициента термоокислительной деструкции, а интенсивность изменения зависит от температуры. Такой характер изменения термоокислительной деструкции можно объяснить оптическими свойствами продуктами окисления и их влиянием на вязкость [4].

Так, в первые часы испытания в основном образуются начальные продукты окисления, что объясняет резкое увеличение скорости изменения коэффициента термоокислительной деструкции. На втором этапе начальные продукты, доокисляясь, переходят в промежуточные, оптические свойства которых практически одинаковые, но процесс во времени замедляется, т.к. поступающий объем

кислорода воздуха одинаков, но он расходуется на образование начальных и промежуточных продуктов [17, 18].

Увеличение скорости изменения коэффициента термоокислительной деструкции на третьем этапе объясняется влиянием конечных продуктов окисления на оптические свойства окисляемого масла.

На рис. 6б представлена зависимость скорости приращения коэффициента термоокислительной деструкции от времени и температуры испытания трансмиссионного масла ТАП-15В. Так, для температуры испытания 150 °С наблюдается непрерывное приращение скорости окисления и только после 16 часов испытания наблюдается ее стабилизация при проявлении конечных продуктов окисления. Для температуры 140 °С характер изменения зависимости $\Delta K_{\text{год}} / \Delta t = f(t)$ аналогичен скорости изменения коэффициента термоокислительной деструкции температуры испытания 130 °С. Данная зависимость имеет три характерных участка с различной интенсивностью приращения коэффициента термоокислительной деструкции от времени испытания [19, 20].

Выводы. Таким образом, исследование термоокислительной стабильности с применением оптического вида неразрушающего контроля методом фотометрии окисленных трансмиссионных масел и применением средств контроля (что соответствует специальности 05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, п. 1 — Научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий) позволяет получить обширную информацию о кинетике протекания процесса деструкции, т.е. изменении оптических свойств, установить связь между оптическими свойствами и вязкостью, а также скоростью окислительных процессов и испаряемостью масел, что позволяет в качестве параметра термоокислительной стабильности масел предложить комплексный коэффициент термоокислительной деструкции $K_{\text{год}}$, учитывающий оптические свойства масел и вязкость при их окислении.

Коэффициент $K_{\text{год}}$ характеризует процесс термоокислительной деструкции, который является обратным процессу термоокислительной стабильности.

Библиографический список

1. Маркова Л. В., Мышкин Н. К. Трибодиагностика машин. Минск: Белорусская наука, 2005. 251 с. ISBN 985-08-0682-6.
2. ГОСТ 23652–79. Масла трансмиссионные. Технические условия. Введ. 1981–01–01. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.
3. ГОСТ 17479.2–85. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение. Введ. 1987–01–01. М.: Стандартинформ, 2006. 4 с.
4. ГОСТ 18136–72. Масла. Метод определения стабильности против окисления в универсальном аппарате. Введ. 1978–07–01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 10 с.
5. А. с. 744325 СССР, МКИ G 01 N 33/28. Прибор для оценки термоокислительной стабильности масел / Федоров Е. П., Разгонаев Н. Т., Горячев В. В., Запорожская О. А.; заявл. 19.04.78; опубл. 30.06.80, Бюл. № 24.
6. А. с. 851111 СССР, МПК G 01 J 1/04. Фотометрический анализатор жидкостей / Ковальский Б. И., Сорокин Г. М., Яворский Н. А. № 2829562; заявл. 23.10.79; опубл. 30.07.81, Бюл. № 28.
7. Пат. 2569173 Российская Федерация, МПК G 01 N 11/10. Вискозиметр / Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Тихонов В. И., Петров О. Н., Артемов М. Н. № 2014119743/28; заявл. 16.05.14; опубл. 20.11.15, Бюл. № 32.
8. Ковальский Б. И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов: моногр. Новосибирск: Наука, 2005. 341 с.
9. Пат. 2618581 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/02, G 01 N 33/30. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б. И., Петров О. Н., Шрам В. Г., Абазин Д. Д. № 2016105635; заявл. 18.02.16; опубл. 04.05.17, Бюл. № 13.
10. Пат. 2685582 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/02, G 01 N 33/30. Способ определения термоокислительной стабильности и температурной стойкости смазочных материалов / Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Петров О. Н., Ефремова Е. А. № 2018127132; заявл. 23.07.18; опубл. 22.04.19, Бюл. № 12.
11. Пат. 2695704 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/30. Способ прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б. И., Шрам В. Г., Лысянникова Н. Н. № 2019112379; заявл. 23.04.19; опубл. 25.07.19, Бюл. № 21.
12. Сорокин Г. М., Ковальский Б. И. Применение прямого фотометрирования для оценки работоспособности моторных масел // Трение и износ. 1984. Т. 5, № 6. С. 978–982.
13. Школьников В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение / под ред. В. М. Школьниковой. М.: Химия, 1989. 431 с. ISBN 5-7245-0280-1.
14. Балтенас Р., Сафонов А. С., Ушаков А. И. [и др.]. Трансмиссионные масла. Пластичные смазки. Состав. Свойства. Классификация. Применение. СПб.: ДНК, 2001. 206 с. ISBN 5-7624-0056-5.
15. Ширлин И. И., Колунин А. В., Гельвер С. А., Иванов А. А. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла // Вестник СибАДИ. 2013. № 4 (32). С. 42–45.
16. Долгова Л. А., Салмин В. В. Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева. 2012. № 2 (74). С. 46–56.

17. Безбородов Ю. Н. Методы и средства повышения эффективности использования трансмиссионных масел: моногр. Красноярск, 2007. 154 с.

18. Ковальский Б. И., Янович В. С., Рунда М. М. [и др.]. Исследование влияния продуктов окисления на противоизносные свойства минерального трансмиссионного масла ТСзп-8 // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2011. № 6 (88). С. 55–61.

19. Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Янович В. С. [и др.]. Результаты контроля термоокислительной стабильности трансмиссионных масел различной базовой основы // Контроль. Диагностика. 2014. № 4 (190). С. 74–76. DOI: 10.14489/td.2014.04.pp.074-076.

20. Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Верещагин В. И. [и др.]. Метод определения показателей термоокислительной стабильности моторных масел и их температурной области // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 9. С. 419–427.

КОВАЛЬСКИЙ Болеслав Иванович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов.

Адрес для переписки: labsm@mail.ru

ВЕРЕЩАГИН Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов.

Адрес для переписки: labsm@mail.ru

ШРАМ Вячеслав Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов.

Адрес для переписки: shram18rus@mail.ru

КРАВЦОВА Екатерина Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов.

Адрес для переписки: Rina_986@mail.ru

ПЕТРОВ Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов.

Адрес для переписки: petrov_oleq@mail.ru

КОВАЛЕВА Мария Александровна, кандидат химических наук, доцент (Россия), доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов.

Адрес для переписки: lera0727@yandex.ru

Для цитирования

Ковальский Б. И., Верещагин В. И., Шрам В. Г., Кравцова Е. Г., Петров О. Н., Ковалева М. А. Метод контроля термоокислительной стабильности трансмиссионного масла ТАП-15В // Омский научный вестник. 2020. № 1 (169). С. 49–53. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-49-53.

Статья поступила в редакцию 16.12.2019 г.

© Б. И. Ковальский, В. И. Верещагин, В. Г. Шрам, Е. Г. Кравцова, О. Н. Петров, М. А. Ковалева