

подходы могут быть использованы в теплоэнергетике, а также машиностроении и других конструкциях из композитов.

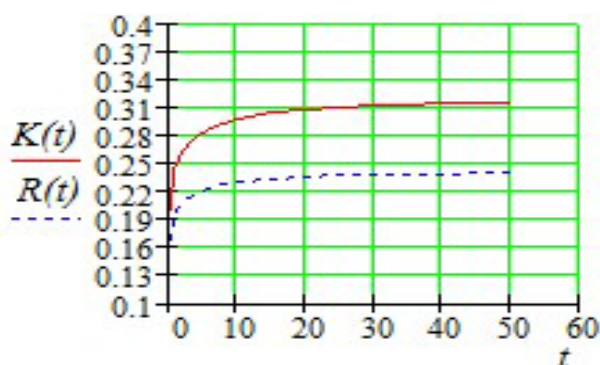


Рисунок 2 – Графики, иллюстрирующие изменения ядер $R(t)$ и $K(t)$ во времени, необходимых для описания явлений релаксации и ползучести

Литература

- 1 Колтунов, М. А. Ползучесть и релаксация / М. А. Колтунов. – М., 1976. – 276 с.
- 2 Tutuncu, N. Exact solutions for stresses in functionally graded pressure vessels / N. Tutuncu, M. Ozturk // Composites: Part B. – 2001. – № 32. – P. 683–686.
- 3 Можаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Мн., 1988. – 271 с.

УДК 621.893

Ф. А. Григорьев

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, КОРРОЗИОННАЯ АКТИВНОСТЬ И ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Исследованы образцы рапсового, подсолнечного, кукурузного и льняного масел. Приведены результаты триботехнических испытаний масел на четырехшариковой машине трения, оценки их коррозионной активности и окислительной стабильности. Обоснован выбор рапсового масла для создания биоразлагаемых смазочных материалов, показана возможность применения льняного масла в качестве противоизносной присадки.

Расширение жизненного пространства человека влечет за собой негативные последствия для окружающей среды. Одним из возможных путей уменьшения влияния техногенных факторов на живую природу является применение биоразлагаемых смазочных материалов в машиностроении и промышленности [1].

Несмотря на значительный интерес, проявляемый в настоящее время к растительным маслам, в современной литературе встречаются противоречивые сведения об их триботехнических свойствах. Так, например, в работе [2] делается вывод, что чистое рапсовое масло не обладает явными преимуществами в сравнении с чистым минеральным, в то время как данные, приведенные в [3], свидетельствуют об обратном.

По сравнению с минеральными маслами смазочные материалы на основе растительного сырья являются возобновляемым ресурсом и утилизируются за счет естественных процессов разложения. Одним из их недостатков является высокая коррозионная активность. Известно, что до 12% состава растительных масел составляют жирные

кислоты в свободном виде. Температура в зоне трения может достигать значительных величин [4]. Под воздействием процессов гидролиза, инициированных этой теплотой, концентрация этих кислот может возрастать, что ведет к коррозионным повреждениям деталей узлов трения [5]. К другим их недостаткам можно отнести быстрое старение и полимеризацию при воздействии эксплуатационных факторов (нагрев, окисление, воздействие ультрафиолета и др.).

Исследовались образцы подсолнечного, кукурузного, рапсового и льняного пищевых растительных масел. Выбор масел пищевого качества был обусловлен стабильность их жирнокислотного состава, регламентируемого соответствующими стандартами. Для сравнения в этот перечень было включено индустриальное масло И-20А (ГОСТ 20799-88).

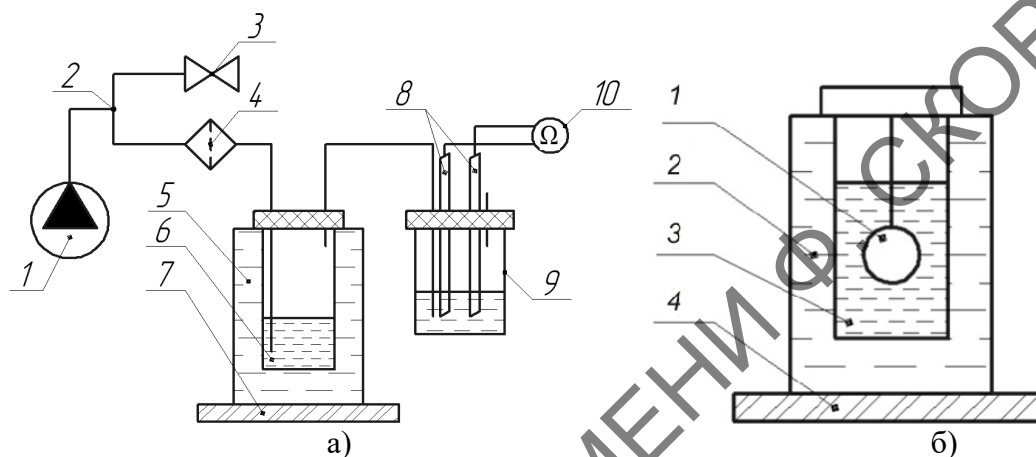


Рисунок 1 – Схемы оценки окислительной стабильности масел (а) и их коррозионной активности (б)

Испытание по определению окислительной стабильности растительных масел проводилось в соответствии с ГОСТ 31758-2012 по схеме, приведенной на рисунке 1, а. Через пробку масла 6, поддерживаемую при температуре 110°С с помощью термостата 7, продувался воздух, подаваемый от компрессора 1 через воздушный фильтр-осушитель 4. После прохождения масла воздух пропускаться через дистиллированную воду в сосуде 9, проводимость которой измерялось с помощью электродов 8 и устройства 10. Возрастание проводимости дистиллированной воды связывалась с растворением свободных жирных кислот, образующихся в процессах окисления триглицеридов масел кислородом воздуха при повышенной температуре.

Оценка коррозионного воздействия растительных масел на металлы проводилось по ГОСТ 2917-76 на установке, представленной на рисунке 1, б. Сосуд с пробой масла 3, в которую был опущен медный диск 1, помещался в водяную баню 2 и выдерживался в течение 8 часов при температуре 60°С, поддерживаемой нагревательным элементом с термостатом 4.

Определение триботехнических свойств растительных масел проводились на четырехшариковой машине трения ЧШМ-К1 (Технопромкомплект, Украина) по ГОСТ 9490-75. Результаты этих испытаний представлены в таблице 1. Как можно видеть, практически все показатели растительных масел в 2–2,5 раза лучше, чем у минерального масла. Необходимо особо отметить очень высокие противозадирные свойства льняного масла.

Сопоставление полученных характеристик со структурными характеристиками молекул масел, представленными в работах [6; 7], показали, что увеличение индекса задира коррелирует с числом ненасыщенных связей, приходящихся на одну молекулу. Очевидно, что высокая активность молекул с ненасыщенными связями способствует протеканию

процессов их полимеризации и образованию в зоне фрикционного взаимодействия пленок высокомолекулярных веществ, защищающие поверхности от износа.

Таблица 1 – Триботехнические характеристики растительных масел

Параметр	И-20А	Подсолнечное	Кукурузное	Рапсовое	Льняное
Критическая нагрузка, кгс (Н)	40 (392,3)	80 (784,5)	80 (784,5)	80 (784,5)	100 (980,7)
Нагрузка сваривания, кгс (Н)	119 (1167,0)	126 (1235,6)	126 (1235,6)	133 (1304,3)	168 (1647,5)
Показатель износа при нагрузке 40 кгс, мм	1,65	0,67	0,73	0,76	0,73
Индекс задира	15	35	36	33	56

Анализ поверхностей износа, подтверждает вывод о формировании пленок в областях фрикционного контакта. На рисунке 2 темные области на поверхностях трения идентифицируются как смолистые отложения. Как можно видеть, среди испытанных образцов льняное масло характеризуется наибольшей способностью к полимеризации и образованию пленок на поверхности контакта.

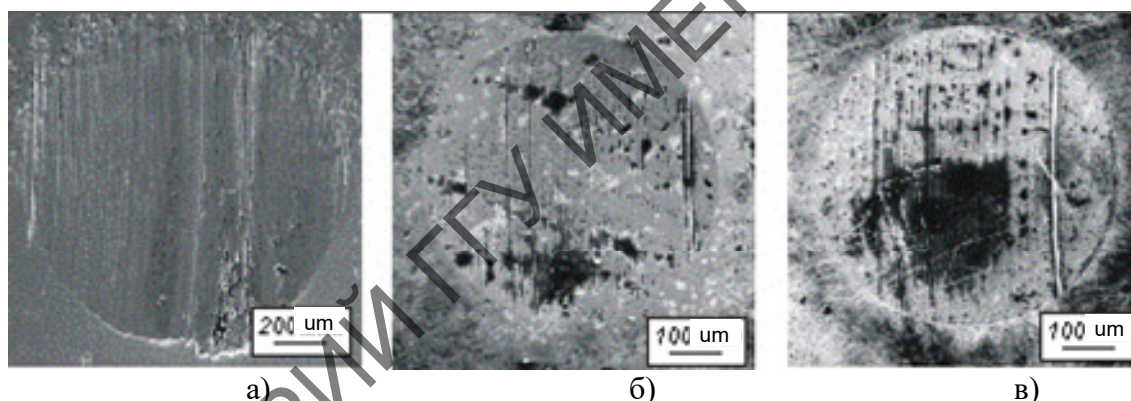


Рисунок 2 – Поверхности трения шариков после испытаний на четырехшариковой машине в среде различных масел: а – индустриальное масло; б – рапсовое; в – льняное

Полученные результаты совместно с данными о плотности и температуре вспышки масел, представлены в таблице 2. Из приведенных данных следует наличие корреляции между плотностью, температурой и окислительной стабильностью исследованных растительных масел. Видно существенное превосходство льняного масла перед всеми остальными образцами. Это является неожиданным, поскольку известно, что льняное масло является наиболее «высыхающим». По всей видимости, использованный метод оценки окислительной стабильности нельзя использовать для льняного масла. Можно предположить, что процессы полимеризации в льняном масле сравнимы со скоростью его окисления

Из приведенных данных следует наличие корреляции между плотностью, температурой и окислительной стабильностью исследованных растительных масел. Полученные результаты свидетельствуют о существенном превосходстве льняного масла перед всеми остальными образцами. Это является неожиданным, поскольку известно, что льняное масло является наиболее «высыхающим». По всей видимости, использованный метод оценки окислительной стабильности нельзя использовать для льняного

масла. Можно предположить, что процессы полимеризации в льняном масле сравнимы со скоростью его окисления.

Таблица 2 – Физико-механические свойства и окислительная стабильность растительных масел

Испытуемое масло	Плотность [б], кг/м ³	Температура вспышки[б], °С	Окислительная стабильность, с
Льняное	930	> 280	1 708
Рапсовое	918–926	280	670
Подсолнечное	916–920	245	620
Кукурузное	917,7	232	500

Оценка коррозионной активности показала, что цвет поверхностей исследуемых образцов (медных дисков) сразу после испытаний существенно не изменились (рисунок 3, а). Цвет поменялся по истечении примерно 12 часов, только на сторонах дисков, контактировавших с воздухом (рисунок 3, б). При этом поверхности, к которым доступ кислорода был ограничен (поверхность, на которой образцы лежали) сохранились в прежнем виде. Наибольшее коррозионное воздействие на металлы оказало индустриальное масло И-20, за ним следует рапсовое, льняное, подсолнечное и кукурузное (в порядке убывания).



Рисунок 3 – Общий вид медных образцов после 8 часов выдержки в нагретом до 60° С масле: а – сразу после испытаний; б – после выдержки на воздухе в течение 12 часов. Выдержка в маслах: 1 – И-20А; 2 – льняное; 3 – рапсовое; 4 – подсолнечное; 5 – кукурузное

По результатам исследований установлено, что все растительные масла обладают лучшими триботехническими свойствами, в сравнении с минеральным маслом И-20А. Льняное и рапсовое масла характеризуются высокой коррозионной активностью и окислительной стабильностью. По всей видимости, аномальный результат окислительной стабильности льняного масла объясняется тем, что процессы полимеризации его молекул преобладают над процессами гидролиза с образованием свободных жирных кислот и глицерина. Данное свойство позволяет использовать льняное масло в качестве присадки, образующей на поверхностях трения, при воздействии высокой температуры и давления, защитные противоизносные пленки. В качестве основы для создания смазочных материалов на основе растительных масел можно рекомендовать рапсовое масло.

Литература

1 Войтов, В. Перспективы использования растительных масел для изготовления смазочных материалов / В. Войтов, А. Кравцов, И. Сысенко // Мотрол. – 2013. – № 7. – С. 56–63.

2 Бугаев, А. М. О влиянии рапсового масла на износ деталей гидросистем сельскохозяйственной техники / А. М. Бугаев // Международный научный журнал. – 2008. – № 1. – С. 23–25.

3 Евдокимов, А. Ю. Смазочные материалы на основе растительных и животных жиров / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс, Л. Н. Багдосаров. – М. : ЦНИИТЭИМС, 1992. – 47 с.

4 Богданович, П. Н. Трение, смазка и износ в машинах: учебник / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск: Тэхналогія, 2011. – 527 с.

5 Крачун, А. Т. Исследование смазочных составов некоторых растительных масел / А.Т. Крачун, В. У. Морарь, С. В. Крачун // Трение и износ. – 1991. – № 5. – С. 929–932.

6 Влияние жирнокислотного состава и структуры алкильных радикалов триглицеридов растительных масел на их триботехнические характеристики / А. Я. Григорьев [и др.] // Трение и износ. – 2016. – № 6. – С. 755–759.

7 Григорьев, Ф. А. Триботехнические свойства рафинированных растительных масел / Ф. А. Григорьев, И. Н. Ковалева // Сборник материалов научно-технической конференции молодых ученых: тез. конф., IV Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования». – ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2016. – 78 с.

УДК 53 (077)

А. А. Гузовец

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ БАРОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ОТ РАССТОЯНИЯ

Как известно, давление атмосферы является непосредственной зависимостью от высоты и температуры. Эта зависимость является экспоненциальной. Поэтому в статье рассматривается зависимость давления атмосферы от высоты. Проведен анализ о влиянии ускорения свободного падения с учетом его зависимости от расстояния на изменение давления. Зависимость ускорения свободного падения от высоты рассматривается для экваториальной плоскости с учетом вращения Земли вокруг своей оси.

Изучение атмосферы Земли – важная научная проблема. Ее анализ чрезвычайно усложнен тем, что в атмосфере наблюдаются непрерывающиеся движения масс воздуха. В целях приближенного ознакомления с некоторыми свойствами реальной атмосферы при выводе барометрической формулы мы рассматриваем сначала идеализированную систему – изотермическую атмосферу в условиях ее механического равновесия.

Для случая механического равновесия, которое может быть реализовано, когда температура является некоторой зависящей функцией от расстояния, была получена барометрическая формула зависимости давления от высоты

$$P = P_0 e^{-\frac{\rho g h}{RT}}. \quad (1)$$

Из этой формулы следует, что давление в атмосфере убывает по экспоненциальному закону, и тем быстрее, чем тяжелее газы и чем ниже температура.

При получении формулы (1) мы предположили, что ускорения свободного падения $g = \text{const}$. Теперь получим более точную барометрическую формулу с учетом зависимости $g = g(r)$. Для экваториальной плоскости можно записать следующую зависимость:

$$g = G \frac{M}{r^2} - \omega^2 r. \quad (2)$$

В данном выражении учтено действие тяготения (G – гравитационная постоянная, M – масса Земли) и действие центробежных сил (ω – угловая скорость вращения Земли).