

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-3-197-205

УДК 621.89.012.2

Обоснование рационального состава растительно-минеральной смазочной композиции для агрегатов трансмиссии энергетических средств

О. С. Володько^{1✉}, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили»

А. П. Быченин¹, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили»

В. А. Едуков², кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

¹ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

446442, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

✉volodko-75@mail.ru²

²ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет

443100, Самарская область, город Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244

Резюме. В статье приведен анализ основных направлений совершенствования трансмиссионных масел. Поставлена цель исследования – обосновать рациональный состав растительно-минеральной смазочной композиции для агрегатов трансмиссии энергетических средств. Рассмотрена возможность использования растительных масел (рапсового, льняного и сурепного) в качестве основы для ее формирования. Анализ основных физико-химических свойств растительных масел показал, что рационально в качестве основы смазочной композиции применить рапсовое масло, поскольку его кинематическая вязкость превосходит вязкость льняного и сурепного масла соответственно в 2,3 и 1,84 раза. По результатам лабораторных исследований на машинах трения МАСТ-1 и 2070 СМТ-1 определено растительное масло, оптимальное для применения в качестве основы смазочной композиции – рапсовое. Оно превосходит по противоизносным и противозадирным свойствам льняное масло и очень близко по этим параметрам к сурепному маслу. Так, диаметр пятна износа у рапсового масла составляет 0,18 мм, у льняного – 0,22 мм, у сурепного – 0,19; время до задира у рапсового масла составляет 450 с., у льняного – 267 с., у сурепного – 455 с.; температура предзадирного состояния рапсового масла равна 167°C, льняного – 155, сурепного – 162°C. По результату оценки совместимости присадок с растительными маслами определен рациональный состав растительно-минеральной смазочной композиции на основе рапсового масла. Присадки ЛЗ-23К, ЭФО, ДФ-11, А-22 и ПМС-200А совместимы с растительными маслами, хорошо растворяются в них при нагреве до 80°C и не выпадают в осадок при понижении температуры. Смазочная композиция должна включать загущающую добавку для доведения кинематической вязкости до нормативных значений (например, Литол-24), а также пакет присадок (ЛЗ-23К, ЭФО, ДФ-11, А-22 и ПМС-200А) для повышения трибохимических свойств. Применение специализированных антиокислительных, диспергирующих и депрессорных присадок признано нецелесообразным, их заменяют многофункциональные присадки.

Ключевые слова: смазочная композиция, присадка, вязкостная, многофункциональная.

Для цитирования: Володько О. С., Быченин А. П., Едуков В. А. Обоснование рационального состава растительно-минеральной смазочной композиции для агрегатов трансмиссии энергетических средств // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3 (71). С. 197-205. doi:10.18286/1816-4501-2025-3-197-205

Justification of a rational composition of a vegetable-mineral lubricant composition for power transmission units

O. S. Volodko^{1✉}, **A. P. Bychenin**¹, **V. A. Edukov**²

¹FSBEI HE Samara State Agrarian University

446442, Kinel, Ust-Kinelsky, Uchebnaya St., 2

✉volodko-75@mail.ru

² FSBEI HE Samara State Technical University

2443100, Samara, Samara Region, Molodogvardeyskaya St., 44

Abstract. This article analyzes the main areas of improvement for transmission oils. The objective of the study is to justify a rational composition of a vegetable-mineral lubricant composition for power transmission units. The possibility of using

vegetable oils (rapeseed, linseed and rapeseed) as a basis for its formation is considered. The analysis of the main physico-chemical properties of vegetable oils showed that it is rational to use rapeseed oil as a basis for the lubricating composition, since its kinematic viscosity exceeds the viscosity of linseed and rapeseed oils by 2.3 and 1.84 times, respectively. Based on the results of laboratory studies on MAST-1 and 2070 SMT-1 friction machines, rapeseed oil was determined to be the optimal vegetable oil for use as a basis for the lubricating composition. It surpasses linseed oil in anti-wear and extreme pressure properties, and is very close to rapeseed oil in these parameters. Thus, the wear scar diameter of rapeseed oil is 0.18 mm, linseed oil - 0.22 mm, rapeseed oil - 0.19; The time to scuffing for rapeseed oil is 450 sec., for linseed oil – 267 sec., for rapeseed oil – 455 sec.; the pre-scuffing temperature of rapeseed oil is 167°C, for linseed oil – 155°C, for winter cress oil – 162°C. Based on the results of the additives compatibility assessment with vegetable oils, a rational composition of a vegetable-mineral lubricating composition based on rapeseed oil was determined. The additives LZ-23K, EFO, DF-11, A-22 and PMS-200A are compatible with vegetable oils, dissolve well in them when heated to 80°C, and do not precipitate when the temperature decreases. The lubricant composition should include a thickening additive to bring the kinematic viscosity to standard values (e.g., Litol-24), as well as an additive package (LZ-23K, EFO, DF-11, A-22, and PMS-200A) to enhance tribochemical properties. The use of specialized antioxidant, dispersant, and pour point depressant additives is considered inappropriate and is being replaced by multifunctional additives.

Keywords: lubricant composition, additive, viscosity, multifunctional.

For citation: Volodko O. S., Bychenin A. P., Edukov V. A. Justification of a rational composition of a vegetable-mineral lubricant composition for power transmission units // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.3 (71): 197-205 doi:10.18286/1816-4501-2025-3-197-205

Введение

В сельскохозяйственном производстве при эксплуатации машинно-тракторного парка неизбежно возникает потребность в разнообразных расходных материалах. Это так называемые рабочие и смазочные жидкости. К последним относятся моторные, трансмиссионные и гидравлические масла. Трансмиссионные и гидравлические масла, как правило, работают в менее нагруженных условиях, чем моторные, поэтому требуют более редкой замены. Тем не менее, их объемы могут превышать объемы моторных масел, а утечки приводят к серьезным загрязнениям окружающей среды. Таким образом, совершенствование составов трансмиссионных смазочных жидкостей является актуальной задачей. В настоящее время работы здесь ведутся в нескольких направлениях. Например, для повышения трибологических свойств трансмиссионных масел перспективным является применение так называемых реологических жидкостей [1, 2] и наноприсадок [3-6]. Также широкое применение находят слоистые модификаторы трения – сульфат молибдена [7] и производные графита [8, 9]. Еще одно направление – использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), в том числе органического происхождения, либо модифицирование растительной основы наноприсадками [10, 11, 13]. Помимо этого существует тенденция к созданию экологически безопасных биоразлагаемых смазочных материалов [14]. За рубежом ведутся исследования по созданию смазочных веществ растительного происхождения с противоизносными присадками в виде органических ПАВ [15]. ПАВ растительного происхождения хорошо проявляют себя в качестве противоизносных присадок к дизельному топливу [16], которое смазывает пары трения дизельной топливоподающей аппаратуры, поэтому имеет смысл распространить данный опыт и на другие типы смазочных сред. Уже осуществленные изыскания показывают, что растительные масла подходят для использования в качестве основы для

смазочных композиций, но требуют модификации, в частности, загущения специальными добавками [17].

Цель исследования – обосновать рациональный состав растительно-минеральной смазочной композиции для агрегатов трансмиссии энергетических средств. В качестве объекта исследования приняты растительные масла (рапсовое, льняное, сурепное) как основа смазочной композиции, а также многофункциональные присадки, позволяющие изменить физико-химические и трибологические свойства смазочной композиции.

Материалы и методы

Растительные масла (рапсовое, льняное, сурепное и др.) являются перспективным возобновляемым и экологически чистым ресурсом для получения базовой основы смазочной композиции, но ввиду свойственных им недостатков требуют коррекции отдельных свойств введением пакета специализированных присадок. Для обоснования рационального состава пакета присадок необходимо провести ряд исследований.

В рамках лабораторных исследований определяли основные физико-химические свойства растительных масел и сравнивали с аналогичными свойствами товарных минеральных масел (первый этап); определялись противоизносные свойства растительных и товарных минеральных масел на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 и противозадирные свойства на роликовой машине трения 2070 СМТ-1 (второй этап); определялась совместимость растительных масел с основными типами присадок – моюще-диспергирующими, антипенными, депрессорными, противоизносными, а также многофункциональными (третий этап). Результаты исследований использовали для обоснования рационального состава растительно-минеральной смазочной композиции для агрегатов трансмиссии энергетических средств.

На первом этапе у растительных масел (рапсового, льняного и сурепного), подготовленных для использования в технических целях по известной технологии [17], а также у товарных минеральных масел (ТМ-2-18, М-10Г2(к) и ТМ-5-18), применяемых на практике, определяли принятые в качестве основных, в достаточной мере отражающих физико-химические свойства масла, следующие показатели: вязкость кинематическая (ГОСТ 33-2016), кислотное число (ГОСТ 11362-96), концентрация механических частиц (ГОСТ 6370-2018), температура вспышки в открытом тигле (ГОСТ 4333-2014), содержание воды (ГОСТ 2477-2014). Измерение

проводилось в трех параллельных навесках масла. Результат считали достоверным, если разность не превышала значений, допускаемых соответствующими методиками.

На втором этапе осуществляли оценку противозносных свойств масел на машине трения МАСТ-1 (рис. 1, а) по ГОСТ ISO 20623-2013 «Нефть и нефтепродукты. Определение противозадирных и противозносных свойств с использованием четырехшариковой машины (европейские условия)», а также противозадирных свойств масел на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «ролик – ролик» (рис. 1, б).

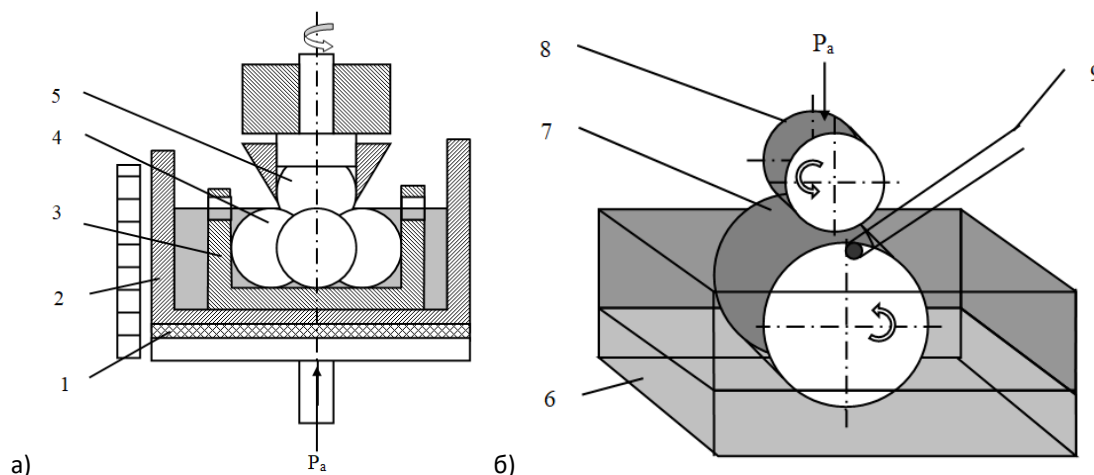


Рис. 1. Узлы трения для определения противозносных и противозадирных свойств: а – четырехшариковый машины трения МАСТ-1; б – роликовый машины трения 2070 СМТ-1; 1 – прокладка изолирующая; 2 – стакан; 3 – обойма; 4 – шарики нижние; 5 – шарик верхний; 6 – масляная ванна; 7 – нижний ролик; 8 – верхний нагружающий ролик; 9 – скользящая терпара; P_a – нагрузка

Эксперименты на трибометре МАСТ-1 осуществляли с использованием подшипниковых шариков (диаметр 7,93 мм), изготовленных из стали ШХ-15 ГОСТ 443-76. Подготовительные мероприятия к эксперименту заключались в обработке шариков и контактирующих с маслом деталей узла трения растворителем «Нефрас» с последующей сушкой. Масло тщательно перемешивали и подогревали в сушильном шкафу до температуры 75°C. Затем помещали в узел трения в каждом опыте. Нагрузка в осевом направлении составляла 150 Н, верхний шарик узла трения вращался с частотой 1500 мин⁻¹. Длительность каждого опыта составляла 20 мин. В течение всего опыта температура исследуемой смазочной среды составляла 75±2 °С. Такой температурный режим обеспечивался встроенным подогревательным элементом 7 трибометра, контроль осуществлялся посредством терпары из комплекта трибометра и электронным потенциометром ЭВП2-11А. Оценка величины износа осуществляли замером двух взаимно перпендикулярных диаметров пятна износа на каждом из нижних шариков окуляр-микрометром микроскопа МПБ-2 с погрешностью ±0,02 мм. Для устранения искажений обойма с неподвижными шариками крепилась на приборном столе микроскопа под углом 35°16', таким образом обеспечивалось положение оптической оси

перпендикулярно плоскости изнашивания. Каждый опыт осуществляли с трехкратной повторностью.

Из существующих лабораторных установок условиям работы зубчатых передач в большей степени удовлетворяют машины трения, в схеме испытуемого узла которых используется принцип роликовой аналогии. Изменяя режим работы машины трения типа 2070 СМТ-1, можно моделировать определенные условия, характерные для работы смазочного материала в трансмиссиях энергетических средств, задействованных в сельскохозяйственном производстве. Поэтому, образцы смазочных материалов исследовались на машине трения типа 2070 СМТ-1. В качестве оценочных параметров использовали время до задира и температуру предзадирного состояния. Машина трения типа 2070 СМТ-1 снабжена сменными шестернями, позволяющими изменять скорость скольжения в контакте роликов и частоту вращения роликов. Исходя из предполагаемых условий эксплуатации разрабатываемой смазочной композиции, на машине трения типа 2070 СМТ-1 задавали следующие условия испытаний: проскальзывание роликов 15 %; частоту вращения нижнего ролика 1000 мин⁻¹; нагрузку в контакте 1000 Н. Материал роликов – сталь 25 ХГТ ГОСТ 801-78, обработка рабочих поверхностей – цементация на глубину 1,5 мм с последующим

закаливанием до твердости HRC 58...62. Температурный режим в контакте контролировали методом скользящей термопары.

Подготовка к опытам заключалась в промывке роликов растворителем «Нефрас» и сушке. При определении времени достижения предзадирного состояния испытуемый смазочный материал наносился пипеткой в объеме 2 мм³ в зону контакта на нижний ролик при частоте вращения 60 мин⁻¹. Далее смазочный материал равномерно распределялся по поверхностям трения за счет введения верхнего ролика в контакт с нижним и увеличения частоты вращения нижнего ролика до 300 мин⁻¹. Нагрузку в этот период не задавали. Основной этап опыта начинался с нагружения образцов при той же частоте вращения (300 мин⁻¹). После задания нагрузки 1000 Н устанавливали частоту вращения 1200 мин⁻¹. Время предзадирного состояния отсчитывали от начала опыта до резкого скачка графика момента трения между роликами. Опыт прекращали. На масштабной ленте измеряли время от начала опыта до момента резкого возрастания сил трения (погрешность измерения ± 2 с).

Это время сравнивали со временем от начала опыта до момента резкого возрастания температуры контакта. Температура смазочного материала в зоне контакта контролировали с помощью хромель-копелевой термопары и электронного потенциометра типа ЭВП2-11А (с погрешностью по длине шкалы $\pm 1^\circ\text{C}$). Сравнение позволяло выявить потери смазочным материалом смазывающих свойств по следующим причинам: старение, перегрев контакта и временная потеря объемных свойств. По результатам испытаний как для минерального масла ТМ-2-18, так и растительных смазочных материалов строили графические зависимости времени до задира и температуры в зоне контакта от состава исследуемых масел.

Совместимость присадок с растительными маслами оценивали на третьем этапе исследований по специальной методике по трем параметрам:

растворимости, времени и температуре выпадения в осадок (если осадкообразование наблюдалось). Смазочные материалы заливали в прозрачные сосуды вместимостью 50 мл, не имеющие граней, нагревали до температуры 30 °С и вводили присадки. Далее при необходимости осуществляли нагрев смеси до 100 °С с одновременным перемешиванием. Затем полученные смеси остужали сначала до комнатной температуры, а затем помещали в анализатор низкотемпературных свойств нефтепродуктов типа «Ирэн 2.5» и охлаждали до температур 0, минус 5, минус 10, минус 15 и минус 20 °С. При каждой температуре образцы выдерживали в течение трех часов и визуально определяли наличие осадка. Растворимость присадки в базовом масле, а также осадкообразование определяли визуально, при необходимости фиксировали температуры, при которых присадки растворялись, и температуры, при которых растворенные ранее присадки выпадали в осадок. Исследованию на совместимость с растительными маслами подвергали следующие присадки: Детерсол-140, Детерсол-300 – алкилсалицилатные присадки, обладающие моющими, антиокислительными и антифрикционными свойствами; моюще-диспергирующая КНД; диспергирующая С-5А; антипенная ПМС-200А; депрессорные АФК и ПМА «Д» (обладают загущающими свойствами, применяются для повышения вязкости и индекса задира); противоизносная и противоизносная ЛЗ-23К; противоизносная и антиокислительная ЭФО; противоизносная, антиокислительная и антикоррозионная ДФ-11; многофункциональная А-22 (обладает противоизносными, антиокислительными, антикоррозионными и антифрикционными свойствами).

Результаты

В таблице 1 представлены результаты первого этапа лабораторных исследований по определению основных физико-химических свойств растительных и товарных минеральных масел, применяемых в агрегатах трансмиссии энергетических средств сельскохозяйственного назначения.

Таблица 1. Основные физико-химические свойства масел

Исследуемые масла	Кинематическая вязкость ν_{100} , мм ² /с	Кислотное число, мг КОН/г	Содержание общих механических примесей, %	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Содержание воды, %	Температура застывания, °С
ТМ-2-18	14,46	0,015	0,027	237	следы	минус 18
М-10Г ₂ (к)	11,2	0,01	0,012	205	нет	минус 18
ТМ-5-18	17,3	0,018	0,012	242	нет	минус 19
Рапсовое	8,3	0,006	нет	282	нет	минус 20
Льняное	3,6	0,0008	0,01	316	нет	минус 20
Сурепное	4,5	0,008	нет	314	нет	минус 20

Все исследованные масла по значению температуры застывания очень близки как между собой, так и к показателям товарных минеральных масел, они не содержат воды, не требуют дополнительной очистки от общих механических примесей и специальной обработки для снижения кислотного числа,

а по термоокислительной стабильности превосходят минеральные масла, так как обладают более высокими значениями температуры вспышки в открытом тигле (табл. 1). По кинематической вязкости все представленные растительные масла уступают товарным минеральным, но рапсовое масло

превосходит по этому параметру льняное в 2,3 раза, а сурепное – в 1,84 раза, следовательно, потребуется меньше загущающей присадки для доведения его вязкости до значения, близкого к нормативному.

На рисунке 2 представлены результаты определения противоизносных свойств растительных и товарных минеральных масел на трибометре МАСТ-1.

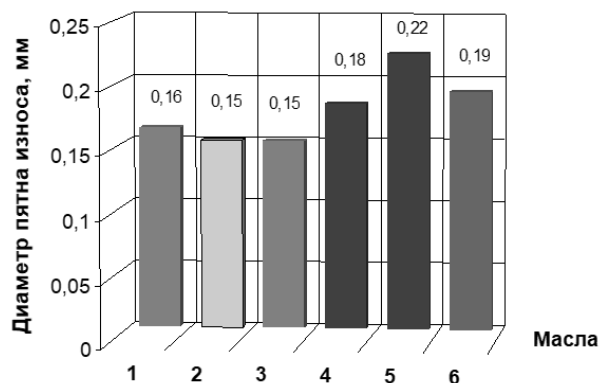


Рис. 2. Показатели исследуемых масел, полученные на четырехшариковой машине трения: 1 – ТМ-2-18; 2 – М-10Г₂(к); 3 – ТМ-5-18; 4 – рапсовое масло; 5 – льняное масло; 6 – сурепное масло

По противоизносным свойствам, характеризующимся средним диаметром пятна износа, рапсовое масло (средний диаметр 0,18 мм) превосходит льняное масло (средний диаметр 0,22) в 1,22 раза и практически равно сурепному маслу (средний диаметр 0,19 мм). Следовательно, рациональным выбором для основы смазочной композиции по противоизносным свойствам является рапсовое масло.

На рисунке 3 представлены результаты определения противозадирных свойств на роликовой машине трения.

По противозадирным свойствам, характеризующимся временем до задира, а также температурой предзадирного состояния рапсовое масло (время до задира 450 с., температура 167 °С) превосходит

льняное масло (время до задира 267 с., температура 165 °С) и практически равно сурепному маслу (время до задира 455 с., температура 162 °С). Следовательно, рациональным выбором для основы смазочной композиции по противозадирным свойствам также является рапсовое масло.

В таблице 2 представлены результаты третьего этапа лабораторных исследований по определению совместимости присадок различного назначения с растительными маслами (рапсовым, льняным и сурепным).

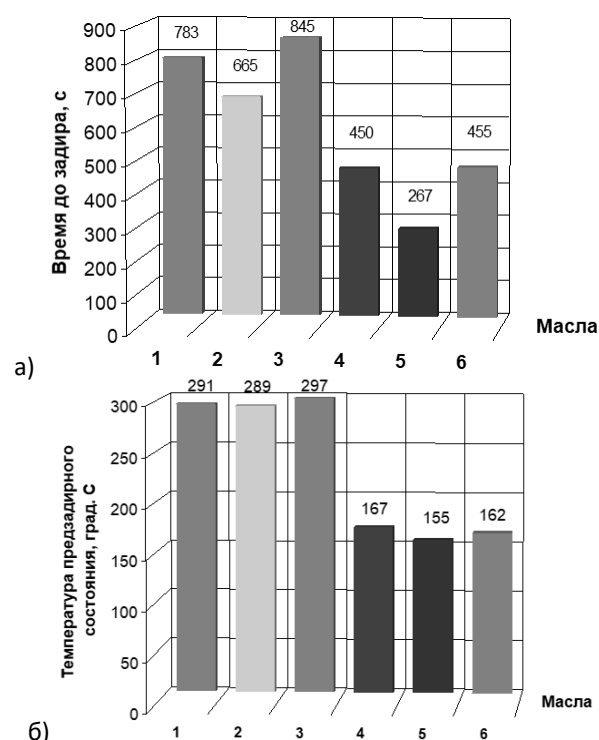


Рис. 3. Показатели исследуемых масел, полученные на машине трения 2070 СМТ-1: а) время до задира, с; б) температура предзадирного состояния, °С; 1 – ТМ-2-18; 2 – М-10Г₂(к); 3 – ТМ-5-18; 4 – рапсовое; 5 – льняное; 6 – сурепное

Таблица 2. Совместимость присадок с растительными маслами

Присадка	Совместимость с маслами			Примечание
	Рапсовое	Льняное	Сурепное	
Детерсол-140	-	-	-	Малорастворимая, выпадает в осадок при 10°С
Детерсол-300	-	-	-	Малорастворимая, выпадает в осадок при 8°С
КНД	-	-	-	Малорастворимая, выпадает в осадок при минус 12°С
С-5А	-	-	-	Малорастворимая, выпадает в осадок при минус 5°С
ПМС-200А	+	+	+	Растворяется при 80°С
АФК	-	-	-	Выпадает в осадок при минус 15°С
ПМА «Д»	-	-	-	Выпадает в осадок при минус 15°С
ЛЗ-23К	+	+	+	Растворяется при 80°С
ЭФО	+	+	+	Растворяется при 80°С
ДФ-11	+	+	+	Растворяется при 80°С
А-22	+	+	+	Растворяется при 70°С

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что совместимыми со всеми исследованными растительными маслами являются присадки ПМС-200А, ЛЗ-23К, ЭФО, ДФ-11 и А-22, растворяющиеся в растительной основе смазочной композиции при ее нагреве до 80 °С.

Результаты исследования, как видно из представленных выше таблиц и диаграмм, показывают целесообразность применения в качестве основы для растительно-минеральной смазочной композиции рапсового масла при условии повышения его вязкости загущающими веществами, а для легирования растительно-минеральной смазочной композиции – присадок ПМС-200А, ЛЗ-23К, ЭФО, ДФ-11 и А-22.

Обсуждение

Растительные масла по сравнению с товарным маслом ТМ-2-18 имеют более низкую кинематическую вязкость (в среднем меньше на 45...76 %), что объясняется значительным содержанием в них жирных кислот, имеющих кинематическую вязкость преимущественно в пределах 4...7 мм²/с. Следовательно, для увеличения вязкости растительно-минеральной смазочной композиции при использовании в агрегатах трансмиссии энергетических средств необходимо легирование растительных масел вязкостными присадками. В качестве таковых возможно применение консистентных смазок (Литол-24), графита и его производных. Например, автор работы [2] исследовал влияние фторида графена на смазочные композиции на основе консистентных смазок, и пришел к выводу, что введение фторида графена в базовые смазочные композиции дополнительно повысило их вязкость и улучшило трибологические свойства, о чем свидетельствуют испытания на четырехшариковой машине трения. Так, добавление 0,3 % по массе фторида графена в базовый солидол увеличило вязкость с 8,3 до 14,7 Па·с, а в базовый литол – с 16,4 до 22,1 Па·с. В работе [19] исследовано влияние на вязкость смазочной композиции на основе рапсового масла загущающих добавок – Литол-24 и стеариновой кислоты. При этом добавление 3 % по массе Литол-24 приводит к увеличению вязкости на 32 %.

При проведении необходимой химической обработки [17] растительные масла имеют низкое кислотное число (в среднем меньше, чем у минерального масла, на 60...95 %), следовательно, нет необходимости легировать их антикоррозионными присадками.

Помимо этого с повышением температуры в растительных маслах образуются высокомолекулярные полимерные соединения, которые увеличивают температуру вспышки масел (в среднем на 19...33 %), что позволяет отказаться от использования моющих и диспергирующих присадок.

Также входящие в состав растительных масел непредельные кислоты (концентрация в объеме масла может достигать 95%) обладают низкой

температурой застывания, которая у растительных масел меньше в среднем на 11 %, чем у минерального масла ТМ-2-18, следовательно, представляется возможным использование растительных масел при низких температурных режимах без обязательного легирования их депрессорными присадками.

Предварительная очистка масла-сырца на маслоочистительных установках позволяет полностью избавиться от механических примесей и воды.

Таким образом, растительные масла по физико-химическим показателям соответствуют товарным минеральным маслам, а по некоторым (кислотное число, температура вспышки и застывания, содержание механических примесей и воды) даже превосходят их.

Из рисунков 2 и 3 следует, что наилучшими триботехническими свойствами из растительных масел обладают рапсовое и сурепное масла. Причем разница между их показателями незначительна, что можно объяснить схожим химическим составом и строением молекулы масла. Так, по сравнению с показателями масла ТМ-2-18 при работе на рапсовом масле диаметр пятна износа больше на 12,5 % (у сурепного – на 18,8 %); время до задира меньше на 42,5 % (у сурепного – на 41,9 %); температура предзадира меньше на 42,6 % (у сурепного – на 44,3 %). Для льняного масла первый показатель больше на 37,5 %; а последние три соответственно меньше на 13, 66 и 47 %. Наиболее рациональным в качестве основы для смазочной композиции является применение рапсового масла, легированного вязкостными и противоизносными присадками. Данный вывод подтверждается результатами, полученными в работах [19, 20]. Так, в работе [19] приведены результаты испытаний смазочной композиции на основе рапсового масла с добавлением пакета присадок (5 % А-22, 3 % Литол-24 и от 2...10 % стеариновой кислоты) на четырехшариковой машине трения, которые показали, что добавление в чистое рапсовое масло пакета присадок снижает износ образцов в 2 раза. Авторы работы [20] получили схожие результаты: исследование чистого рапсового масла показало средний диаметр пятна износа 0,49 мм, с добавлением присадки OIMOL KSC BIO – 0,42 мм, в то время, как этот показатель у минерального масла И-40А составил 0,65 мм.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что присадки ЛЗ-23К, ЭФО, ДФ-11, А-22 и ПМС-200А совместимы с растительными маслами, хорошо растворяются в них, не выпадают в осадок при изменении температуры и могут быть рекомендованы для применения в составе растительно-минеральной смазочной композиции для агрегатов трансмиссии энергетических средств сельскохозяйственного назначения. Положительное влияние присадки А-22 на противоизносные свойства смазочной композиции показано в работе [19].

Полученные данные позволяют рекомендовать использование рапсового масла в качестве

основы для растительно-минеральной смазочной композиции с применением загущающих компонентов (Литол-24, графит и его производные), а также при легировании пакетом противоизносных (А-22), противозадирных, антипенных, а также многофункциональных присадок.

Заключение

Рациональный состав растительно-минеральной смазочной композиции на основе рапсового

масла должен включать загущающую добавку для доведения кинематической вязкости до величины 15 мм²/с при 100 градусах Цельсия (например, Литол-24, ШРУС-4М, графит) а также пакет присадок (ЛЗ-23К, ЭФО, ДФ-11, А-22 и ПМС-200А) для повышения трибохимических свойств. Помимо этого в дальнейшем необходимо провести лабораторные исследования для определения оптимальных концентраций указанных выше компонентов.

Литература

1. Болотов А. Н., Новикова О. О., Новиков В. В. Магнитные силоксановые наножидкости, адаптированные для условий граничного трения // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2020. № 12. С. 546-556. doi: 10.26456/pcascnn/2020.12.546
2. Евсин М. Г. Реологические и трибологические свойства смазочных композиций, модифицированных фторидом графена // Глобальная энергия. 2023. Том 29, №3. С. 124-133. doi: 10.18721/JEST.29309
3. Сафонов В. В., Шишурин С. А., Остриков В. В. О влиянии нано- и высокодисперсных порошкообразных добавок на эксплуатационные свойства моторного масла // Аграрный научный журнал. 2022. №12. С. 100-105. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp100-105
4. Войтов В. А., Кравцов А. Г., Цымбал Б. М. Оценка триботехнических характеристик трибосистем при наличии фуллеренов в смазочном материале // Трение и износ. 2020. №6. Том 41. С. 704-710. doi: 10.32864/0202-4977-2020-41-6-704-710
5. Сафонов В. В., Шишурин С. А., Венскайтис В. В. Исследование влияния добавок на трибологические характеристики смазочного материала и морфологию поверхностей трения // Аграрный научный журнал. 2022. №1. С. 88-92. doi: 10.28983/asj.y2022i1pp88-92
6. Шалыгин М. Г., Буяновский И. А., Самусенко В. Д. Трибологические свойства полужидкого смазочного материала с присадками поверхностно-активных веществ // Трение и износ. 2023. №5. Том 44. С. 418-426. doi: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-418-426
7. Особенности процесса трения скольжения стали Р6М5 по стали 45 в условиях смазки Литол-24, модифицированной частицами MoS₂ / А. Д. Бреки, С. Г. Чулкин, А. Е. Гвоздев и др. // Деформация и разрушение материалов. 2021. №11. С. 34-40. doi: 10.31044/1814-4632-2021-11-34-40
8. Экспериментальное исследование влияния эпиламированного графита на трибохарактеристики трибосопряжений / С. М. Гайдар, О. М. Лапсарь, А. М. Пикина и др. // Технология металлов. 2024. №12. С. 22-25. doi: 10.31044/1684-2499-2024-0-12-22-25
9. Закономерности трения скольжения стали Р6М5 по стали 45 в среде смазочного материала Литол-24 с дисперсными частицами графита / А. Д. Бреки, С. Г. Чулкин, А. Е. Гвоздев и др. // Деформация и разрушение материалов. 2021. №10. С. 28-34. doi: 10.31044/1814-4632-2021-10-28-34
10. Куксенова Л. И., Савенко В. И. Системно-структурный анализ трибологического поведения антифрикционного материала в парах трения, функционирующих в поверхностно-активных смазочных средах // Трение и износ. 2024. Том 45. № 5. С. 430-448. doi: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448
11. Селезнев М. В., Евсеева А. А., Котова А. А. Изменение физико-химических и эксплуатационных свойств трансмиссионного масла в ходе стендовых испытаний // Нефтепереработка и нефтехимия. 2025. №3. С. 26-29. doi: 10.24412/0233-5727-2025-3-26-29
12. Kozdrach R. The tribological and rheological properties of vegetable lubricating grease modified of TiO₂ nanoparticles // Tribology in industry. 2024 Vol. 46 No. 1 P. 80-96 doi:10.24874/ti.1523.07.23.09
13. Walvekar R., Bhaumik Sh., Nagarajan T. New optimized lubricating blend of peanut oil and naphthenic oil additivated with graphene nanoparticles and MoS₂: stability time and thermal conductivity // Lubricants. 2023 Vol. 11. No. 2 P. 71 doi: 10.3390/lubricants11020071
14. Применение смазочных материалов на основе растительных масел / Р. Р. Арсланов, И. Р. Татур, В. Г. Спиркин и др. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2021. №3(300). С. 32-37. doi: 10.33285/2411-7013-2021-3(300)-32-37
15. Sneha E., Akhil Rb., Krishna A. Formulation of bio-lubricant based on modified rice bran oil with stearic acid as an anti-wear additive, Proceedings of the institution of mechanical engineers // Part J: journal of engineering tribology. 2020 Vol. 235 No. 9. P. 1950-1957 doi: 10.1177/1350650120977381
16. Володько О. С., Быченин А. П., Хохлов А. Л. Использование органических поверхностно-активных веществ в качестве противоизносных присадок к дизельному топливу // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. №3(59). С. 12-19. doi: 10.18286/1816-4501-2022-3-12-19

17. Володько О. С., Быченин А. П., Едуков В. А. Обоснование рационального размера частиц загущающей добавки для растительного смазочного материала на основе рапсового масла // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №4. С. 55-64. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-55-64
18. Пожега М. В., Константинов Е. О., Смирнов Н. Н. Исследование влияния вида трения движения на поведение противоизносных присадок // Трение и износ. 2025. №1. Том 46. С. 5-14. doi: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-5-14
19. Парлюк Е. П. Исследование рапсового масла, используемого в качестве биоразлагаемого смазочного материала // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2025. №1(79). С. 90-103. doi: 10.24411/2078-1318-2025-1-90-103
20. Жорник В. И., Ивахник А. В., Запольский А. В. Экологически безопасные смазочные материалы на основе смеси растительного и минерального масел // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2022. №1 (42). С. 99-114. doi: 10.24412/2079-7958-2022-1-99-114

References

1. Bolotov A. N., Novikova O. O., Novikov V. V. "Magnetic siloxane nanofluids adapted for boundary friction conditions." Physicochemical aspects of the study of clusters, nanostructures, and nanomaterials. 2020. No. 12. P. 546-556. doi: 10.26456/pcascnn/2020.12.546
2. Evsin M. G. Rheological and tribological properties of lubricating compositions modified with graphene fluoride // Global Energy. 2023. Vol. 29, No. 3. P. 124-133. doi: 10.18721/JEST.29309
3. Safonov V. V., Shishurin S. A., Ostrikov V. V. On the influence of nano- and highly dispersed powder additives on the performance properties of motor oil // Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 12. P. 100-105. doi: 10.28983/asj.y2022i12pp100-105
4. Voitov V. A., Kravtsov A. G., Tsymbal B. M. Evaluation of tribological characteristics of tribosystems in the presence of fullerenes in the lubricant // Friction and Wear. 2020. No. 6. Vol. 41. P. 704-710. doi: 10.32864/0202-4977-2020-41-6-704-710
5. Safonov V. V., Shishurin S. A., Venskaitis V. V. Study of the influence of additives on the tribological characteristics of a lubricant and the morphology of friction surfaces // Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 1. P. 88-92. doi: 10.28983/asj.y2022i1pp88-92
6. Shalygin M. G., Buyanovsky I. A., Samusenko V. D. Tribological properties of a semi-liquid lubricant with surfactant additives // Friction and Wear. 2023. No. 5. Vol. 44. P. 418-426. doi: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-418-426
7. Features of the sliding friction process of P6M5 steel on 45 steel under conditions of Litol-24 lubrication modified with MoS₂ particles / A. D. Breki, S. G. Chulkin, A. E. Gvozdev et al. // Deformation and destruction of materials. 2021. No. 11. P. 34-40. doi: 10.31044/1814-4632-2021-11-34-40
8. Experimental study of the effect of epilaminated graphite on the tribocharacteristics of tribounits / S. M. Gaidar, O. M. Lapsar, A. M. Pikina, et al. // Technology of Metals. 2024. No. 12. P. 22-25. doi: 10.31044/1684-2499-2024-0-12-22-25
9. Regularities of sliding friction of P6M5 steel on 45 steel in a medium of Litol-24 lubricant with dispersed graphite particles / A. D. Breki, S. G. Chulkin, A. E. Gvozdev, et al. // Deformation and destruction of materials. 2021. No. 10. P. 28-34. doi: 10.31044/1814-4632-2021-10-28-34
10. Kuksenova L. I., Savenko V. I. Systems-structural analysis of the tribological behavior of antifriction material in friction pairs operating in surface-active lubricating environments // Friction and Wear. 2024. Vol. 45, No. 5. P. 430-448. doi: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-430-448
11. Seleznev M. V., Evseeva A. A., Kotova A. A. Changes in the physicochemical and operational properties of transmission oil during bench tests // Oil refining and petrochemistry. 2025. No. 3. P. 26-29. doi: 10.24412/0233-5727-2025-3-26-29
12. Kozdrach R. The tribological and rheological properties of vegetable lubricating grease modified of TiO₂ nanoparticles // Tribology in industry. 2024 Vol. 46 No. 1 P. 80-96 doi:10.24874/ti.1523.07.23.09
13. Walvekar R., Bhaumik Sh., Nagarajan T. New optimized lubricating blend of peanut oil and naphthenic oil activated with graphene nanoparticles and MoS₂: stability time and thermal conductivity // Lubricants. 2023 Vol. 11 No. 2 P. 71 doi: 10.3390/lubricants11020071
14. Application of lubricants based on vegetable oils / R. R. Arslanov, I. R. Tatur, V. G. Spirkin et al. // Environmental protection in the oil and gas complex. 2021. No. 3 (300). P. 32-37. doi: 10.33285/2411-7013-2021-3(300)-32-37
15. Sneha E., Akhil Rb., Krishna A. Formulation of bio-lubricant based on modified rice bran oil with stearic acid as an anti-wear additive, Proceedings of the institution of mechanical engineers // Part J: journal of engineering tribology. 2020 Vol. 235 No. 9. P. 1950-1957 doi: 10.1177/1350650120977381
16. Volodko O. S., Bychenin A. P., Khokhlov A. L. Use of organic surfactants as anti-wear additives to diesel fuel // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. No. 3(59). P. 12-19. doi: 10.18286/1816-4501-2022-3-12-19

17. Volodko O. S., Bychenin A. P., Edukov V. A. Justification of the rational particle size of a thickening additive for a vegetable lubricant based on rapeseed oil // Vestnik of the Samara State Agricultural Academy. 2024. No. 4. P. 55-64. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-55-64
18. Pozhega M. V., Konstantinov E. O., Smirnov N. N. Study of the influence of the type of friction on the behavior of anti-wear additives // Friction and Wear. 2025. No. 1. Vol. 46. P. 5-14. doi: 10.32864/0202-4977-2025-46-1-5-14
19. Parlyuk E. P. Study of rapeseed oil used as a biodegradable lubricant // Vestnik of the St. Petersburg State Agrarian University. 2025. No. 1 (79). P. 90-103. doi: 10.24411/2078-1318-2025-1-90-103
20. Zhornik V. I., Ivakhnik A. V., Zapolsky A. V. Environmentally friendly lubricants based on a mixture of vegetable and mineral oils // Vestnik of the Vitebsk State Technological University. 2022. No. 1 (42). P. 99-114. doi: 10.24412/2079-7958-2022-1-99-114