

УДК 621.892

## ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ ГЛУБОКООЧИЩЕННЫХ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

© 2017 г. В. В. Остриков<sup>1</sup> \*, С. Н. Сазонов<sup>1</sup>, В. И. Балабанов<sup>3</sup>, В. А. Сафонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский НИИ использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия

<sup>2</sup>Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

<sup>3</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

\*E-mail: viitinlab@bk.ru

Поступила в редакцию 03.10.2016 г.

Рассмотрена возможность повышения эффективности использования отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды пластичных смазок. Установлено, что удаление из отработанных минеральных и синтетических моторных масел смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов позволяет получить масляную основу, близкую к товарным базовым маслам по основным характеристикам. Предложено использовать карбамид или моноэтаноламин в смеси с изопропанолом. Определено, что в процессе очистки отработанных моторных масел предложенными способами из них удаляются более 90% загрязнений. Очищенные масла обладают высоким запасом эксплуатационных свойств. Определен состав смазок аналогов Литола-24 и Солидола-Ж на основе очищенных отработанных моторных масел. Рассмотрены антикоррозионные, адгезионные и прочностные свойства составов смазок. Представлены результаты стендовых испытаний составов смазок в подшипниках качения, подтверждающие их высокие эксплуатационные свойства.

**Ключевые слова:** отработанное моторное масло, карбамид, моноэтаноламин, коагуляция, очистка, состав, дисперсионная среда, дисперсионная фаза, адгезия, напряжение сдвига, теплоемкость, стендовые испытания.

DOI: 10.7868/S0028242117040098

При производстве пластичных смазок основная доля затрат приходится на дисперсионную среду, представляющую собой различные виды базовых масел. Как известно, от свойств основы во многом зависят физико-химические и эксплуатационные свойства пластичных смазок.

Решая вопросы ресурсосбережения и снижения затрат на производство пластичных смазок, неоднократно делались попытки использования отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды [1–13]. Однако данное направление пока не получило широкого распространения в силу известных причин. Отработанные масла содержат в своем составе большое количество практически растворенных смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов [14], которые при взаимодействии с дисперсионной фазой в процессе приготовления смазки приводят к изменению структуры пластичной смазки.

Удаление смол, продуктов окисления из отработанных масел, как правило, сложный и дорогостоящий процесс, к тому же в процессе глубокой переработки отработанных масел из них практически полностью удаляются присадки [15].

При рассмотрении вопросов использования отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды в первую очередь необходимо решить следующие задачи. Удалить из отработанного масла смолы, продукты окисления при минимальном воздействии на остаточную базу присадок, определить оптимальный состав смазок на основе пластичных смазок, оценить их физико-химические и трибологические свойства.

Предмет данного исследования – закономерности изменения физико-химических свойств отработанных масел при их использовании в качестве дисперсионной среды и при приготовлении на их основе составов пластичных смазок.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объекты исследования – физико-химические процессы, происходящие в отработанных моторных маслах на минеральной и синтетической основе в процессе их очистки и при приготовлении смазок. Для проведения исследований использовали отработанное минеральное моторное масло М-10Г<sub>2</sub> и отработанное моторное масло на синте-

тической основе SAE 10W40. Отработанные масла анализировали по кинематической вязкости при 100°C по ГОСТ 33-2000, определяли щелочное и кислотное число по ГОСТ 11362-96, содержание нерастворимого осадка по ГОСТ 20684-75, цвет по ГОСТ 20284-74. В нагретое масло вносили карбамид, моноэтаноламин и изопропанол в концентрации 1–2%, смесь перемешивали в течение 10–15 мин. Под микроскопом Биолам-70 рассматривали эффективность процесса укрупнения, определяли дисперсный состав скоагулировавших примесей.

Далее смесь отстаивали 60–180 мин или подвергали разделению на центрифуге СТР-50 при частоте вращения 8000 мин<sup>-1</sup>, времени очистки 60 мин и температуре нагрева масла 90–130°C.

Очищенное масло анализировали по показателям кинематической вязкости, содержанию нерастворимого осадка, щелочному и кислотному числам, цвету в соответствии с методиками ГОСТ. На основании установленных оптимальных характеристик процесса получения дисперсионной среды, ее свойств делали вывод о целесообразности использования очищенного масла для приготовления смазок. В качестве базовых ориентиров для определения составов смазок принимали наиболее широко используемые пластичные смазки Солидол-Ж и Литол-24 производства “Роснефть” и других компаний, имеющие вязкость не ниже 280 Па·с, температуру каплепадения 185°C, пенетрацию 250 мм<sup>-1</sup> (для смазок Литол-24)Э, вязкость 250 Па·с, температуру каплепадения 80°C, пенетрацию 280 мм<sup>-1</sup> (для смазок Солидол-Ж). Вязкость смазки определяли по ГОСТ 26581-85, температуру каплепадения ГОСТ 6793-74, пенетрацию по ГОСТ 5346-78. В качестве дисперсионной фазы при приготовлении пластичной смазки Солидол-Ж применяли кубовые остатки синтетических жирных кислот (КОСЖК) в процентном соотношении 10, 20, 30 мас. %. Смесь нагревали и перемешивали, в полученную суспензию вносили гидроксид кальция 20–25 мас. %, нагревали до температуры 110–120°C и охлаждали с последующей гомогенизацией. Аналог Литола 24 получен внесением в очищенное отработанное минеральное и синтетическое масло литиевого мыла 10, 15, 20 и 25 мас. %. Смесь нагревали до 200–220°C, перемешивали, охлаждали до температуры 50–60°C и гомогенизировали.

После созревания смазок проводили исследования по определению противокоррозионных свойств в электрохимическом измерительном комплексе по ГОСТ 9042-75. Адгезионные свойства определяли на измерителе ПСО – МГ4 по ГОСТ 28574-90, прочностные характеристики пластичных смазок при различных скоростях сдвига – по специально разработанной методике

лаборатории использования смазочных материалов ФГБНУ ВНИИТиН, теплостойкость оценивали с помощью измерителя ИТ–С–400 по ГОСТ 23630.2-79. Эксплуатационные характеристики смазок проводили в конических подшипниках качения № 7203 А на специально разработанном стенде, при этом оценивали изменение температуры нагрева подшипников в зависимости от нагрузки, потери смазки по массе в подшипниках и содержания железа в смазке.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

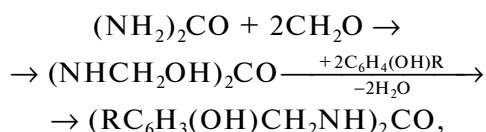
Учитывая опыт известных разработок по очистке отработанных масел от продуктов старения в [15–18], выдвигается гипотеза, что для получения дисперсионной среды смазки требуется удалить из масел примеси, смолы, асфальтены, карбены, карбоиды, продукты разложения углеводородной и синтетической основы, находящейся в мелкодиспергированном (менее 1 мкм) и взвешенном состоянии (менее 0.1 мкм) в масле. Подобного рода задачи решаются коагуляцией примесей с целью их последующего удаления простыми физическими методами.

Однако отработанные моторные масла имеют свои особенности, в их составе присутствуют не только загрязнения, но и некоторое остаточное количество моющих – диспергирующих присадок, препятствующих укрупнению примесей.

Одними из перспективных коагулянтов для очистки моторных масел можно считать различные амины. Так, молекулы мочевины способны при определенных условиях взаимодействия с органическими веществами перегруппировываться, образуя пространственные структуры. Полагают, что этому способствует действие ван-дер-ваальсовых, либо дисперсионных сил, или сил, обусловленных электростатическим напряжением [19].

Реакция конденсации мочевины может протекать в присутствии различных конденсирующих элементов в нейтральной, кислой и щелочной среде. Состав продуктов зависит от условий конденсации: типа катализатора, концентрации реагентов и продолжительности реакции, но первичными продуктами во всех случаях являются моно- и диметиллолпроизводные мочевины. Так, в щелочной среде при мольном соотношении формальдегида и мочевины 1 : 1 получается монометиллолкарбамид, а при избытке формальдегида – диметиллолкарбамид; в слабокислой среде при избытке формальдегида получается только диметиллолкарбамид, а в сильнокислой – высокомолекулярные продукты конденсации [20].

Диметилкарбамид в слабокислой среде конденсируется с алкилфенолами:



где R – алкил C<sub>3</sub>–C<sub>6</sub>.

Производные мочевины применяют в качестве антиокислительных присадок к синтетическим маслам. Кроме этого, карбамид обладает способностью образовывать кристаллические комплексы с линейными *n*-алканами, содержащими в молекуле шесть и более углеродных атомов, что используется для отделения их от изоалканов и циклоалканов [21].

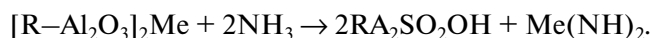
Как показывает практика известных исследований по очистке отработанных моторных масел от растворимых примесей, процесс не всегда протекает с ожидаемой эффективностью и масло после очистки даже современными физическими средствами (центрифугами, фильтрами) содержит значительное количество смол [19].

В данном случае, исходя из поставленной задачи определения эффективных разделяющих агентов, сделаем предположение, связанное с необходимостью введения в смесь коагулянта дополнительных активаторов – различных спиртов и растворителей. Активаторы должны препятствовать адсорбции присадок масла, способствуя ускорению процесса коагуляции.

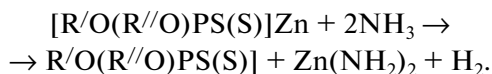
Присутствующие в отработанном масле моюще-диспергирующие и антиокислительные присадки могут замедлять или при определенных условиях ускорять процесс коагуляции. При этом одним из важнейших параметров процесса коагуляции является температура, характеризующая разложение коагулянта.

Возможные схемы взаимодействия продуктов температурного разложения с основными присадками моторного масла представлены ниже:

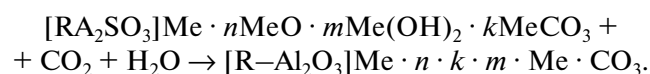
1. Взаимодействие выделяющегося аммиака с моюще-диспергирующими присадками:



2. Взаимодействие выделяющегося аммиака с антиокислительной присадкой:



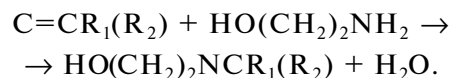
3. Взаимодействие выделяющегося углекислого газа с моюще-диспергирующими присадками:



Для выбора эффективных агентов необходимо создать условия, когда за счет химических взаимодействий разрушается молекулярно – адсорб-

ционный слой присадок вокруг частиц загрязнений, а остаточное количество присадок должно изменяться незначительно, что является дополнительным преимуществом дисперсионной среды получаемой на основе отработанного моторного масла.

В процессе химического взаимодействия смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов, например с моноэтаноламином, возможна реакция:



Аммиак, как летучее вещество, возможно удалить выпариванием, а примеси и вода при этом должна выпадать в осадок.

Для рассмотрения кинетики механизма действия карбамида в процессе коагуляции и удаления примесей из масел в минеральное отработанное масло вносили водный раствор карбамида в количестве 0.1–2.0%. Смесь нагревали до температуры 90–130°C, отстаивали в течение 120 мин, или проводили ее центрифугирование.

В результате установлено, что внесение в отработанное масло водного раствора карбамида позволяет укрупнять смолы, асфальтены. На рис. 1 представлены результаты исследований по рассмотрению процесса укрупнения мелкодиспергированных примесей <1 мкм, (*D<sub>s</sub>*) смол внесением водного раствора карбамида в зависимости от концентрации *K*, температуры нагрева *t<sub>H</sub>* смеси, времени отстаивания *t<sub>0</sub>* и центрифугирования *t<sub>ц</sub>*.

Частота вращения барабана центрифуги *n* = 8000 мин<sup>-1</sup> принималась постоянной т. к. в ранее известных разработках [16, 19] это значение обосновывалось как оптимальное.

Рассматривая полученные зависимости, следует отметить, что оптимальной концентрацией внесения карбамида в масло для коагуляции загрязнений является 0.5–1.0%. Температурный диапазон составляет 110–120°C. Время отстаивания масла для выпадения в осадок примесей превышает 60 мин. Увеличение времени очистки не рационально.

Для исключения отрицательных эффектов и приближения характеристик масел к требованиям базовых масел, используемых в качестве дисперсионной среды, была рассмотрена возможность активизации коагуляционных процессов добавлением изопропилового спирта. Данная мера может позволить на время “нейтрализовать” моюще-диспергирующие присадки, снижающие активность коагуляционных процессов. Для подтверждения имеющих место предположений масло нагревали до 90–95°C, в него вводили 0.5–2.0% карбамида в пересчете на сухое вещество и 0.5–2.0% изопропилового спирта. Далее температуру поднимали до 130°C. В результате установле-

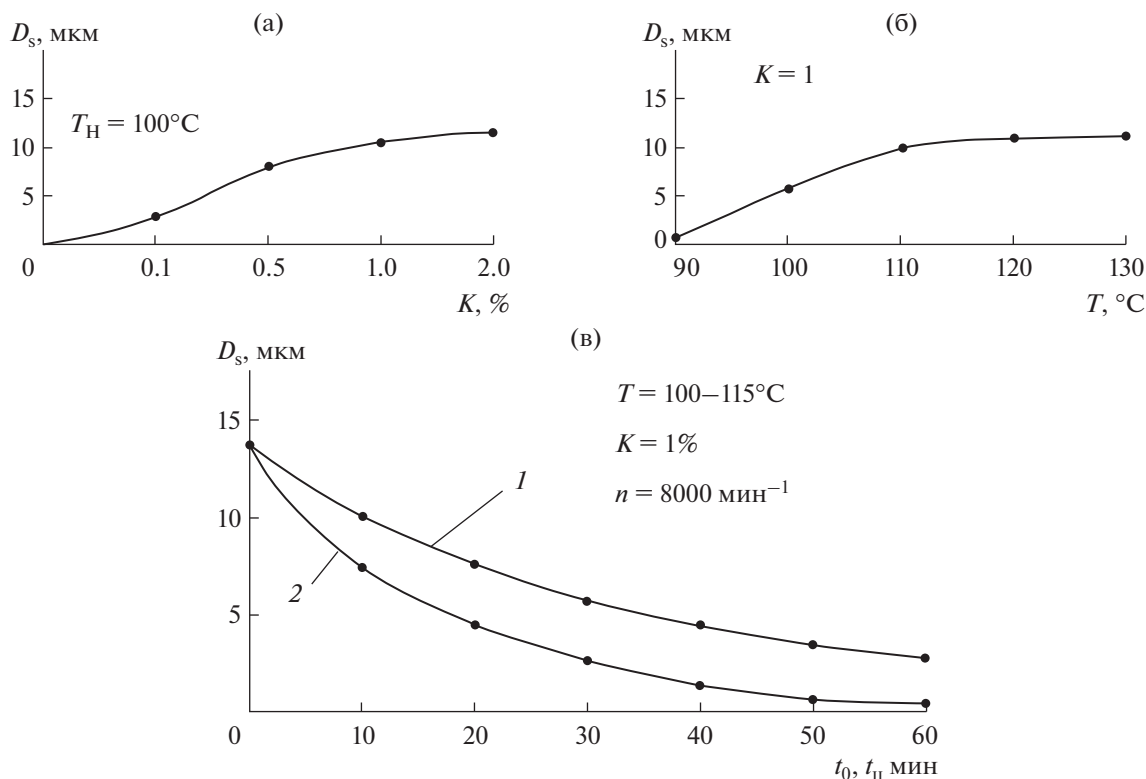


Рис. 1. Зависимости изменения дисперсного  $D$  состава загрязнений (а) от концентрации коагулянта, (б) температуры нагрева  $T_H$ , (в) времени отстоя  $t_0$  (1) и времени центрифугирования  $t_{\text{ц}}$  (2) при частоте вращения  $n = 8000 \text{ мин}^{-1}$ .

но, что оптимальной концентрацией смеси изо-пропилового спирта и карбамида является 1% по объему в соотношении 1 : 1. В табл. 1 представлены результаты анализа основных физико-химических показателей отработанного моторного масла М-10Г<sub>2</sub> до и после очистки в соответствии с рассмотренными технологическими приемами получения дисперсионной среды смазок.

Анализируя данные табл. 1, следует отметить, что в процессе очистки из отработанных масел под действием карбамида с изопропиловым спиртом удаляются практически все смолы, примеси, продукты окисления и происходит осветле-

ние масла. Щелочное число 2.9 мг КОН/г говорит о высоком остаточном содержании присадок.

На следующем этапе исследований рассматривали возможность очистки отработанных моторных масел на синтетической основе. В качестве разделяющего агента рассматривался моноэтанолламин (МЭА). Для оценки эффективности работы МЭА в отработанном синтетическом моторном масле его предварительно нагревали от 80 до 120 $^\circ\text{C}$ . МЭА вносили в концентрации 0.5–2.0%.

Как известно, синтетические масла обладают лучшими моюще-диспергирующими свойствами, чем минеральные. Отработанные синтетические моторные масла практически не подверже-

Таблица 1. Результаты анализа физико-химических свойств масел

Показатель	Исходное отработанное масло М10Г <sub>2</sub>	Отработанное масло М10Г <sub>2</sub> , очищенное карбамидом	Отработанное масло М10Г <sub>2</sub> , очищенное карбамидом + изопропанолом
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при 100 $^\circ\text{C}$	10.3	10.0	10.0
Щелочное число, мгКОН/г	3.2	3.0	2.9
Кислотное число, мгКОН/г	2.1	0.6	0.5
Содержание нерастворимого осадка, %	0.6	0.08	0.02
Цвет, балл ед. ЦНТ	8	6	5

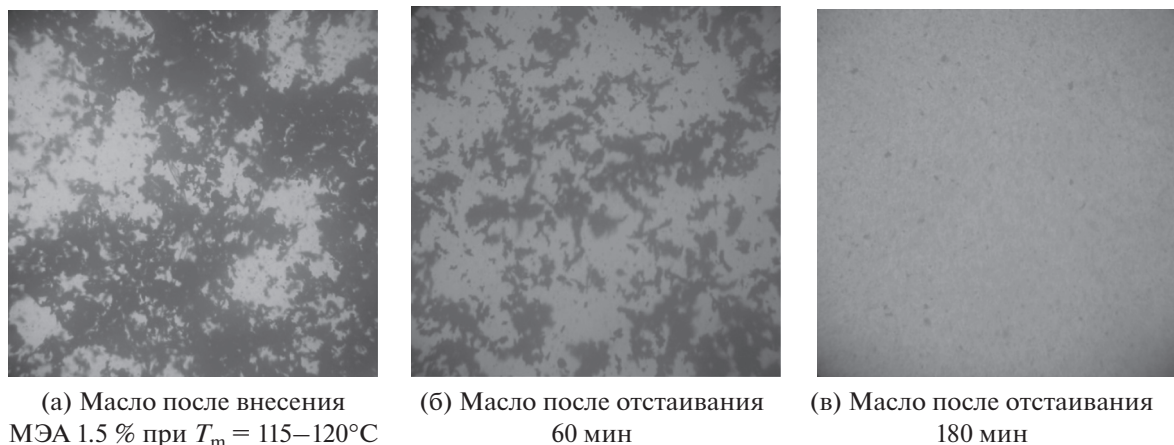


Рис. 2. Микрофотографии проб масел.

ны отстаиванию за счет остаточного действия диспергирующих присадок. Отстаивание масла в течение 180 мин после внесения в него МЭА показало, что только к 180 мин отстоя наблюдается значительное снижение содержания количества примесей (рис. 2).

Для активации процесса отстаивания и временной нейтрализации действия моюще-диспергирующих присадок в масло после внесения МЭА добавлялся изопропиловый спирт в концентрации 0.5–1.0 мас. %.

Установлено, что при внесении 1% изопропилового спирта и нагрева смеси до  $T = 100^{\circ}\text{C}$  наблюдается снижение времени отстаивания загрязнений в масле до 60 минут.

В результате анализа свойств масел до и после очистки, табл. 2, установлено, что внесение моноэтаноламина в совокупности с изопропиловым спиртом и последующее отстаивание позволяет удалять из отработанного синтетического моторного масла практически все загрязнения в течение 60 мин, не прибегая к использованию центрифуг.

Очищенное масло имеет достаточно высокие эксплуатационные свойства для использования его в качестве дисперсионной среды пластичных

смазок. Цвет масла соответствует некоторым образцам базовых масел используемых по ГОСТ 20799-88 при приготовлении пластичных смазок (например Солидола Ж, Литола-24).

На следующем этапе исследований были определены оптимальные составы смазок путем смешивания дисперсионной среды с дисперсной фазой. При определении состава смазки аналога Солидола в качестве компонента мыла использовались кубовые остатки синтетических жирных кислот КОСЖК, имеющие кислотное число 70 мг КОН/г. В качестве агента, обеспечивающего процесс омыления, применялся водный раствор извести (пушонки) в соотношении 3 : 1.

Для определения оптимальной концентрации смешивания дисперсионной среды и дисперсной фазы принимались следующие соотношения: 90 : 10 дисперсионной среды (ds) и дисперсной фазы (df); 80 : 20 (ds : df); 70 : 30 (ds : df).

Следует отметить, что состав смазки, состоящий из пропорции 80 на 20, позволяет получить температуру каплепадения смазки равную  $90^{\circ}\text{C}$ , что является приемлемым значением для смазок типа Солидол. Изменения концентрации в ту или другую сторону не приводит к положительному результату.

Таблица 2. Результаты анализа отработанного моторного масла на синтетической основе SAE 10W40 “Shell” до и после очистки

Показатель	Исходное отработанное масло SAE 10W40 Shell	Очищенное отработанное масло SAE 10W40 Shell
Вязкость кинематическая, $\text{мм}^2/\text{с}$ при $100^{\circ}\text{C}$	11.3	10.8
Щелочное число, мгКОН/г	4.1	3.6
Кислотное число мгКОН/г	2.8	0.65
Содержание нерастворимого осадка, %	0.56	0.01
Цвет, балл ед ЦНТ	7.5	4.5

**Таблица 3.** Изменение температуры каплепадения состава смазки в зависимости от соотношения дисперсионной среды (очищенного отработанного масла SAE 10W40 Shell и M-10Г<sub>2</sub>) и дисперсной фазы

Показатель	Соотношение дисперсионной среды (ds) к дисперсной фазе (df)						
	90/10	88/12	86/14	84/16	82/18	80/20	78/22
Температура каплепадения	ds (очищенное моторное синтетическое масло) + df (литиевое мыло)						
	94	115	123	134	147	161	180
	ds (очищенное моторное минеральное масло) + df (литиевое мыло)						
	85	99	118	126	138	142	159

Использование в качестве дисперсионной среды очищенного отработанного синтетического моторного масла SAE 10W40 Shell позволяет получать смазку с характеристикой каплепадения, близкой к нормативным значениям.

Характеризуя структуру смазки, следует отметить, что изменение состава 90 : 10 дисперсионной среды к дисперсной фазе приводит к ее текучести и расслаиванию, а при соотношении 70 : 30 к растрескиванию смазки.

В исследованиях по получению смазок Литол-24 в качестве дисперсной фазы используется литиевое мыло. Одним из компонентов мыла является 12-оксистеариновая кислота (44.5 мас. %) и в качестве агента способствующего омылению применяли водный раствор гидроксида лития (9.3% гидроксида лития, 27.7% воды).

Смазку составляли при следующих условиях: дисперсионную среду и дисперсную фазу смешивают при 20°C, дальше при постоянном перемешивании поднимают температуру до точки плавления мыла и проводят окончательную обработку при этой температуре в течение 10 мин. В табл. 3 представлены значения изменения температуры каплепадения при смешивании дисперсионной среды (очищенного отработанного моторного масла на синтетической основе) и дисперсной фазы.

Анализируя данные табл. 3, в первом приближении можно сделать вывод о том, что с увеличением количества дисперсионной фазы температура каплепадения исследуемых составов увеличивается как в случае использования синтетического масла, так и в случае смешивания с моторным минеральным очищенным маслом.

Сравнивая полученные значения температуры каплепадения экспериментальных составов с температурой каплепадения смазки Литол-24 установлено, что при концентрации 82/18, 80/20 и 78/22 она приближается к значениям товарных смазок. При этом также установлено, что увеличение содержания (df) выше значения 80/20 приводит к изменению структуры смазки.

Для оценки эффективности использования отработанных масел в качестве дисперсионной

среды проводились сравнительные исследования реологических и физико-химических свойств составов смазок приготовленных на основе отработанных минеральных и синтетических масел без их очистки и после очистки (табл. 4).

Обобщая результаты исследований по оптимизации составов смазок, можно сделать вывод, что смазки на основе неочищенных моторных отработанных масел по основным физико-химическим и реологическим свойствам не соответствуют требованиям ГОСТ, содержат примеси, имеют черный цвет, низкую коллоидную стабильность по сравнению со смазками на очищенных отработанных маслах.

Электрохимические исследования по определению антикоррозионных защитных свойств полученных составов смазок проводили в 0.5 М растворе NaCl. На катодной поляризационной кривой наблюдался линейный тафельский участок с наклоном  $t_{gк} \sim 140$  мВ, переходящий в область предельного катодного тока с  $i_{пред} \sim 0.040$  А/м<sup>2</sup>. Стационарный потенциал коррозии стали без покрытия составляет  $-0.457$  В (табл. 5) плотность тока коррозии, рассчитанная посредством экстраполяции линейных участков поляризационных кривых на потенциал коррозии, в фоновом растворе ( $i_{корр} - 0.0316$  А/м<sup>2</sup>). На анодной поляризационной кривой также имеется линейный тафельский участок с наклоном  $\approx 53$  мВ, близким к значению  $2.3 RT/F$  (где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $F$  – постоянная Фарадея), что характерно для анодной ионизации железа в хлоридных слабокислых средах в отсутствие пассивации (переход поверхности металла в неактивное, пассивное состояние, связанное с образованием тонких поверхностных слоёв соединений, препятствующих коррозии).

После нанесения на электрод всех исследуемых пластичных смазок потенциал коррозии сдвигается в сторону положительных потенциалов, по сравнению с незащищенной сталью. Наиболее сильно облагораживают потенциал коррозии Солидола на синтетической ( $\Delta E = 0.162$  В) и минеральной основе ( $\Delta E = 0.186$  В).

**Таблица 4.** Реологические и физико-химические свойства смазок

Показатели	Пластичные смазки					
	Солидол-Ж (ГОСТ 4.23-83)	аналог на основе отработанного масла	аналог на основе очищенного масла	Литол-24 (ГОСТ 4.23-83)	аналог на основе отработанного масла	Литол на основе очищенного масла
Температура каплепадения, °С	75–80	70	90	≥185	150	180
Пенетрация при 25 °С, ×10 <sup>-1</sup> мм	230–290	300	240	220–250	260	230
Вязкость эффективная при 0°С и 10 с <sup>-1</sup> , Па с	250	280	255	280	290	280
Содержание примесей (под микроскопом)	отс.	присут.	отс.	отс.	присут.	отс.
Внешний вид (цвет)	св-корич.	черн.	св-корич.	желтый	черн.	т. желт.
Коллоидная стабильность, %	13.0	8.0	13.0	12.0	10.0	13.0

**Таблица 5.** Результаты электрохимических измерений на стали, покрытой пленками исследуемых смазок, в 0.5 М NaCl при комнатной температуре

№ п/п	Природа защитного Покрытия	– E <sub>кор</sub> , В	tg b <sub>к</sub> , В	tg b <sub>а</sub> , В	i <sub>кор</sub> , А/м <sup>2</sup>	K <sub>э</sub> × 10 <sup>-3</sup> , г/м <sup>2</sup> ч	Z, %
1	Отсутствует	–0.457	0.070	0.053	0.0316	0.0329	–
2	Литол (синт. осн)	–0.339	0.133	0.050	0.0159	0.0165	50
3	Литол (мин. осн)	–0.350	0.133	0.053	0.01479	0.0154	53
4	Литол-24	–0.320	0.133	0.054	0.0162	0.0168	49
5	Солидол	–0.341	0.125	0.048	0.0162	0.0168	49
6	Солидол(синт. осн)	–0.295	0.125	0.053	0.0138	0.0144	56
7	Солидол (мин. осн)	–0.271	0.125	0.042	0.0143	0.0148	55

Величины Тафелевских наклонов анодных поляризационных кривых в присутствии пластичных смазок близки между собой и к полученным для стального электрода без покрытия. Это позволяет предположить, в первом приближении, что механизм анодной ионизации железа в присутствии пластичных смазок не изменяется, иной становится только кинетика процесса.

Величины Тафелевских наклонов катодных поляризационных кривых близки между собой, но отличаются от полученных для стального электрода без покрытия. Скорость катодной реакции также возрастает в присутствии всех исследуемых пластичных смазок. Возможно изменение механизма катодного восстановления.

В соответствии с полученными результатами все исследуемые пластичные смазки тормозят анодное растворение железа, но при этом наблюдается некоторое облегчение катодного процесса. Следовательно, исследуемые пластичные смазки можно отнести к ингибиторам коррозии смешанного типа.

Все исследуемые пластичные смазки обеспечивают защитную эффективность стальных поверхностей ~40–55%. Солидол на синтетической и минеральной основе имеет более высокую защитную эффективность.

В результате исследований адгезионных свойств экспериментальных составов смазок установлено, что усилие на разрыв Р пластин с нанесением на них пластичной смазкой Солидол-Ж толщиной 1 мм составляло 0.39 кН, что соответствует высоким адгезионным свойствам смазочного материала.

Аналог солидола, приготовленного на основе минерального очищенного отработанного масла с вышеуказанной дисперсной фазой, имел значение на разрыв равное 0.26 кН, а солидол, приготовленный на основе очищенного отработанного синтетического моторного масла с той же дисперсной фазой, 0.30 кН.

Увеличение толщины слоя смазки до 2 мм снизило адгезионные характеристики на 3–6%,

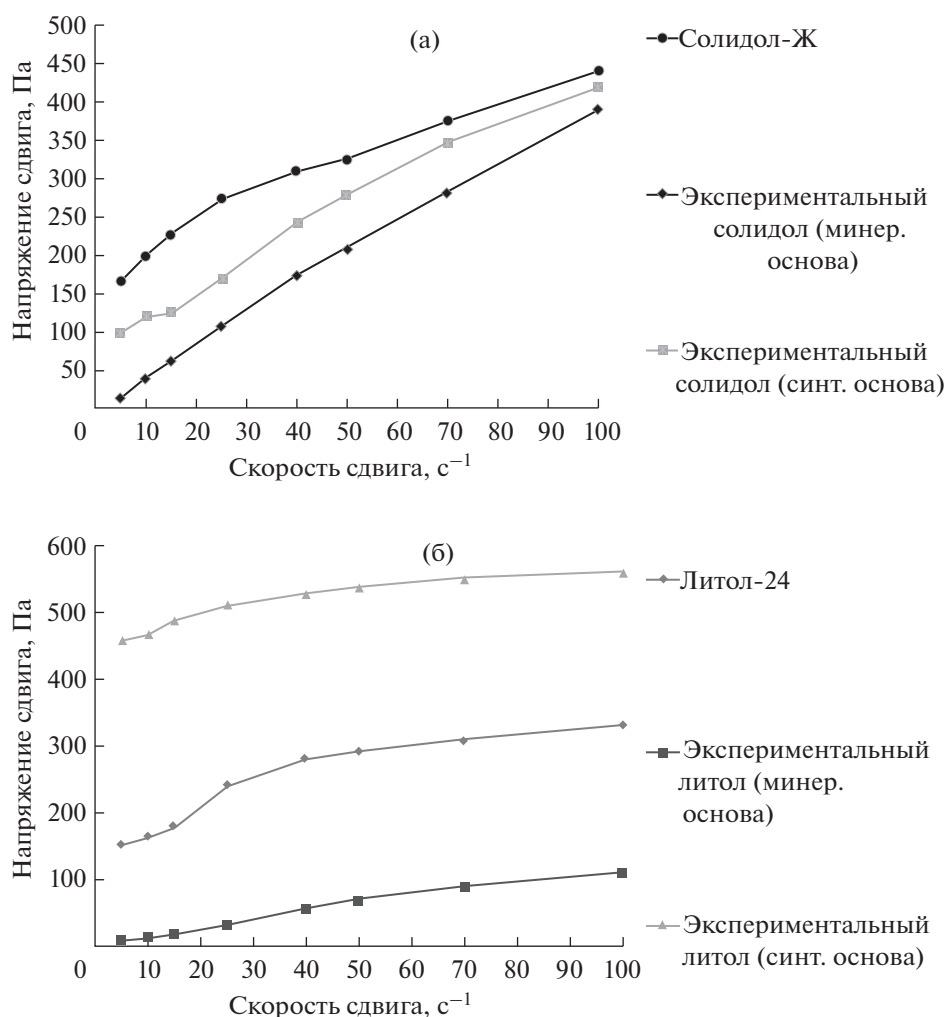


Рис. 3. Зависимость изменения напряжения сдвига от скорости сдвига.

что в принципе закономерно, так как процесс “склеивания” в целом не изменяется, а большая толщина слоя смазки только незначительно снижает усилие на разрыв. Исследования адгезионных свойств пластичных смазок аналогов Литол-24 на синтетической и минеральной основе (отработанных моторных синтетических и минеральных маслах) показали, что смазки аналогии Литола на минеральной основе имели нагрузку на отрыв на 10% больше, чем смазки аналога солидола на минеральной основе.

Предел прочности на сдвиг определяет практическую границу перехода смазки от состояния покоя к пластичному течению при приложении сдвигового напряжения. Оценка предела прочности на сдвиг позволяет характеризовать эксплуатационные свойства и качество смазок, правильно выбранную концентрацию загустителя (дисперсной фазы).

Так как температура работы смазки является в большинстве случаев определяющей характери-

стикой ее эксплуатационных свойств, то испытания проводились при температуре 10–100°C. Установлено, что при температурах 10–15°C солидол товарный имеет более высокие прочностные характеристики чем экспериментальные аналоги, приготовленные на основе отработанных масел (рис. 3а). Однако с увеличением температуры смазки напряжение на сдвиг при тех же скоростях изменяется несколько по другому. Например, у смазки аналога солидола (сдвиг 100  $c^{-1}$ ), напряжение на сдвиг практически соответствовало значению товарного Солидола-Ж.

Напряжение на сдвиг у некоторых образцов Литолов (рис. 3б) выше показателей Солидолов, что закономерно, так как составы смазок типа Литол-24 способны работать в более жестких условиях и имеют более высокие эксплуатационные характеристики. Экспериментальная смазка Литол на основе минеральных отработанных масел имела низкие прочностные характеристики.



В процессе воздействия повышенных температур на пластичные смазки происходит их термическое разложение, полимеризация и окисление, что в конечном итоге приводит к ухудшению эксплуатационных свойств смазок и как следствие увеличению износа в узлах трения.

В результате исследования теплоемкости смазок установлено, что при повышении температуры нагрева товарного солидола его теплоемкость увеличивалась и к 100–110°C достигла 2300 Дж/(кг К). Далее по мере увеличения температуры наблюдалось снижение теплоемкости смазки с последующим медленным ростом. Установлено, что теплоемкость при нагреве образцов во всех случаях увеличивалась равномерно и максимальное значение получено в образце Литол на минеральной основе – более 2400 Дж/(кг К).

Сравнительные стендовые испытания смазок проводились на специально разработанном устройстве, состоящем из ванны – корпуса, разделенного на две части. В ванне установлен вал, на который помещаются два конических подшипника качения № 7203 А. Наружная часть подшипника (неподвижна) фиксируется болтами. Нагрузка на подшипники составляет 10, 20, 30 Н и создается за счет усилия затяжки гайки прижимающей внутреннюю вращающуюся часть подшипника к обойме. Нагрузка создается и контролируется посредством использования динамометрического ключа.

В процессе испытания контролировали температуру нагрева подшипников, потерю массы смазки за период испытаний, износ дорожек качения – под микроскопом, содержание железа в смазке, в зависимости от нагрузки 10–30 Н на подшипниках.

В результате стендовых испытаний установлено, что в зависимости от времени работы температура нагрева подшипников увеличивалась (рис. 4).

Анализируя характер изменения температуры, установлено, что все исследуемые образцы смазок в зависимости от времени работы имели температуру на подшипниках не превышающую 50°C.

При испытании смазок Литол 24 (кривая 4) и их экспериментальных аналогов, образец смазки на синтетической основе (кривая 6) показал более низкую температуру нагрева обоймы подшипника после 180 мин испытаний по сравнению с товарной смазкой.

Расчетный ресурс работы подшипников при работе на экспериментальных смазках, оцениваемый в соответствии с теорией Харрисона, составил  $3.3\text{--}3.4 \times 10^{11}$  млн оборотов, в то время как товарные смазки имеют значение менее  $2.5 \times 10^{11}$  млн оборотов.

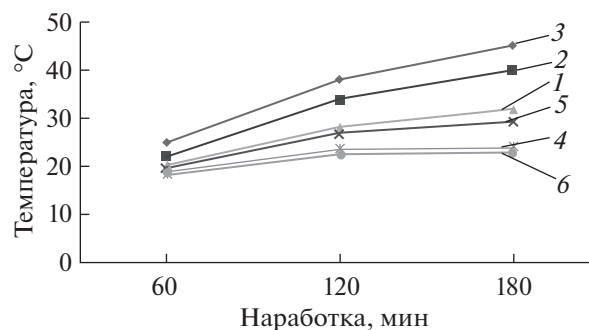


Рис. 4. Зависимость изменения температуры нагрева подшипника от времени работы при постоянной нагрузке  $P = 10$  Н. 1 – Солидол-Ж, 2 – солидол на синтетической основе, 3 – солидол на минеральной основе, 4 – Литол-24, 5 – литол на минеральной основе, 6 – литол на синтетической основе.

В результате проведенных исследований на стенде, моделирующем работу подшипника, установлено, что при вращении создаются условия к центробежному уносу смазки при повышении температуры. Для установления эффективности работы смазок и определения структурных изменений определялись потери массы смазки в зависимости от температуры нагрева смазки при постоянной частоте вращения подшипника и постоянной нагрузке. Установлено, что потеря массы смазки в подшипниках зависит от температуры нагрева, обеспечиваемой увеличением нагрузки на подшипник и увеличением времени испытаний (работы подшипника).

Наименьшие потери в процессе вращения подшипников зафиксированы при испытании смазок аналога Литола на синтетической основе.

В процессе проведения стендовых испытаний наиболее важной и информативной характеристикой работы смазки является способность смазки снижать износ, определяемый по изменению содержания железа в смазке.

В результате анализа содержания железа в смазке установлено, что по мере увеличения продолжительности испытания содержание железа в смазках увеличивалось. Максимальное количество железа 0.001 г/кг образовалось в смазке Литол 24 после 120 минут испытаний, далее процесс стабилизировался, и к концу испытаний отмечено увеличение железа в смазке до 0.0013 г/кг.

В ходе испытаний экспериментальной смазки Солидол содержание железа выросло незначительно до 0.0006 г/кг. Результаты испытаний характеризуют высокие эксплуатационные свойства экспериментальных образцов смазок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснован процесс приготовления пластичных смазок на основе отработанных масел. Установлено, что удаление из отработанных масел смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов позволяет получить высококачественную основу пластичных смазок. В качестве коагулянтов примесей для их последующего удаления целесообразно использовать карбамид и моноэтанол-амин в смеси с изопропанолом. Определено, что смешивание очищенного отработанного масла с дисперсной фазой, позволяет получать аналоги широкоиспользуемых пластичных смазок Солидол Ж и Литол-24. Сравнительная оценка антикоррозионных, противоизносных, адгезионных, прочностных свойств смазок на основе отработанных масел показала, что по своим физико-химическим свойствам они не уступают, а в некоторых случаях превосходят известные аналоги на основе базовых масел.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Любинин И.А.* // Химия и технология топлив и масел. 2012. № 1. С. 3.
2. *Покровская С.В., Ощепкова Н.В., Зубова А.В., Юревич Е.В.* // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2010. № 8. С. 167.
3. *Корнеев С.В., Корниенко А.А., Ярмович Я.В.* // Научные труды SWorld. 2013. Т. 12. № 3. С. 34.
4. *Корнеев С.В., Корниенко А.А., Мачехин Н.Ю., Аноприенко А.А.* // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 13. С. 180.
5. *Киякова А.Ю., Викулова А.А., Попов П.С.* // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2015. № 2. С. 73.
6. *Фукс И.Г.* // Пластичные смазки. М.: Химия, 1972. С. 160.
7. *Фукс И.Г., Шибряев С.Б., Лаихи В.Л., Сайдахмедов Ш.М.* // Теория и практика рационального использования ГСМ и РЖ в технике. Тезисы докладов VIII Научно-технологической конференции Челябинск, 1993. С. 12.
8. *Юнусов М.Ю.* // Дис. ... канд. техн. наук. Душанбе, 2006. С. 185.
9. *Ищюк Ю.Л.* // Дис. ... док. техн. наук. М., ВНИИ НП, 1978. С. 311.
10. *Скобельцин А.С.* // Дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. С. 133.
11. *Миронова Ж.Л.* // Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2003. С. 230.
12. *Sinthetic R L.* // Chemistry and Technology. Second Edition, 2013. P. 445.
13. *Шебле Э.Ю., Фукс И.Г., Китаев Ю.Н., Лукс А.* Влияние режима охлаждения на объемно-механические свойства литиевых смазок. М.: МИНХиГП им. И.М. Губкина, 1986. С. 153.
14. *Джерихов В.Б.* // Управление техническими системами. СПбГАСУ, 2009. С. 225.
15. *Остриков В.В., Клейменов О.А., Тупотилов Н.Н., Шелохвостов В.П., Корнев А.Ю.* Повышение эффективности использования смазочных материалов в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники (анализ, теория, исследования и практика). Воронеж: Истоки, 2008. 159 с.
16. *Остриков В.В., Зазуля А.Н., Голубев И.Г.* Современные технологии и оборудование для восстановления отработанных масел. М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2001. 60 с.
17. *Коваленко В.П.* Загрязнения и очистка нефтяных масел. М.: Химия, 1978. 304 с.
18. *Бутов Н.П.* // Дис. ... док. техн. наук. зерноград: ВНИИПТИМСХ, 1998. С. 392.
19. *Остриков В.В.* // Дис. ... кан. техн. наук. М.: МГАУ, 1996. С. 247.
20. *Остриков В.В., Сазонов С.Н., Шихалев И.Н.* // Saarbrücken. 2016. С. 155.
21. *Кулиев А.М.* Химия и технология присадок к маслам. Л.: Химия, 1985. 312 с.