



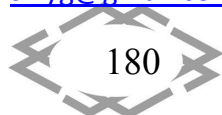
УДК 621.899

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Е. Олишевская¹, Г.С. Олишевский²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Государственное ВУЗ «Национальной горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: olishevskav.ye@gmail.com

²кандидат технических наук, доцент кафедры систем электроснабжения, Государственное ВУЗ «Национальной горный университет», г. Днепр, Украина, e-mail: olishevskiyg@gmail.com



Аннотация. Проведен анализ основных технологических процессов регенерации отработанных автомобильных смазочных материалов, который позволяет корректно формулировать требования, предъявляемые к качеству продуктов переработки, и выполнять выбор экономически и экологически перспективных технологий восстановления качества смазочных материалов.

Ключевые слова: отработанные автомобильные смазочные материалы, технологии регенерации, качество продуктов регенерации.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR THE REGENERATION OF AUTOMOTIVE LUBRICANTS

V.E. Olishevskaya¹, G.S. Olishevskiy²

¹Ph.D., Associate Professor of Automobiles and Automobile Economy Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevskaya.v.ye@gmail.com

²Ph.D., Associate Professor of Department of Power Supply Systems, National Mining University, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevskiyg@gmail.com

Abstract. The analysis of regeneration technologies of the automotive lubricants is conducted. The analysis allows correctly to formulate the requirements produced to quality of the products of regeneration and to choose economic and ecologically of perspective technologies of renewal of the automotive lubricants.

Keywords: automotive lubricants, regeneration technologies, quality of the products of regeneration.

Введение. Отработанные автомобильные смазочные материалы часто используются по схеме «производство – потребление – окружающая среда», завершающим этапом которой является нелегальное сбрасывание масел в почву и водоемы или использование в качестве топлива. Такая схема жизненного цикла автомобильных смазочных материалов приводит к потере ценного сырья, извлечению из экономического оборота, загрязнению окружающей среды. Отработанные смазочные материалы создают опасность возникновения пожаров и являются источником длительного и устойчивого биохимического загрязнения окружающей среды, так как они токсичны и имеют невысокую степень биоразлагаемости. Попадание в окружающую среду 1 л отработанного масла делает непригодным для питья до 1 млн л грунтовых вод. Ежегодное количество отработанных автомобильных масел в мире составляет более 40 млн т, а увеличение их количества на 5...7 % в год делает проблему одной из острых экологических проблем. Поэтому регенерация автомобильных смазочных материалов является актуальной и важной проблемой, требующей комплексного решения.

Цель работы. Сравнительный анализ современных технологий регенерации отработанных автомобильных смазочных материалов в Украине и за рубежом, оценка их достоинств и недостатков.

Материал и результаты исследований. Одним из путей решения проблемы является использование автомобильных смазочных материалов по схеме «производство – потребление – регенерация», которая позволяет восстанавливать качество отработанных смазочных материалов.

Современные автомобильные смазочные материалы представляют собой сложные коллоидные системы (рис. 1, а), состоящие из масел (минеральных или синтетических) и функциональных присадок (противоизносных, противозадирных, вязкостных, противокоррозионных, депрессорных, противопенных, антиокислительных, загущающих и др.) [1].

В процессе эксплуатации в смазочных материалах происходят физико-химические процессы окисления, полимеризации, загрязнения органическими (продуктами неполного сгорания топлива, окисления и полимеризации масел) и неорганическими веществами (пылью, частицами изношенных деталей, водой, соединениями серы и свинца).

Эти процессы приводят к изменению физико-химических свойств масел и снижению эксплуатационных характеристик: увеличению вязкости и кислотности, изменению температуры вспышки, появлению механических примесей и шлама, уменьшению прозрачности (рис. 1, б).

Сложный состав современных автомобильных смазочных материалов вызывает необходимость использования различных технологий регенерации, которые в зависимости от процесса, лежащего в его основе, разделяют на физические, химические, физико-химические и комбинированные методы.

Исторически первыми технологиями восстановления качества смазочных материалов являются **физические методы**: отстаивание, сепарация, фильтрация, отгон топлива (легких фракций), промывка водой, вакуумная перегонка.



а



б

Рисунок 1 – Моторное масло SAE 15W40 (API SF/CD):

а – свежее, б – отработанное

Физические методы регенерации позволяют удалять из отработанных смазочных материалов механические примеси (твердые частицы загрязнений, продукты износа деталей), воду, топливные фракции, смолы.

Особенностью физических методов регенерации является сохранение химического состава масел.

Отстаивание – процесс, основанный на осаждении в масле механических примесей, воды, смолистых веществ под действием силы тяжести.

Параметрами процесса отстаивания являются скорость осаждения частиц, температура, время отстаивания, высота столба масла, содержание механических примесей и воды в регенерированном масле.

Осаждение твердых частиц загрязнений размером 50...100 мкм описывается законом Стокса, согласно которому скорость осаждения прямо пропорциональна квадрату диаметра частиц, разности плотностей твердых частиц и масла и обратно пропорциональна абсолютной вязкости масла [2]. Повысить скорость осаждения частиц можно уменьшением вязкости масла путем его нагрева. При отстаивании с подогревом температура масел должна находиться в пределах 70...80 °С, для вязких масел – в пределах 80...90 °С [3]. Время отстаивания зависит от степени загрязнения масла, температуры и высоты столба масла.

Отстаивание масла проводится в отстойниках с коническим дном, на котором образуется осадок из металлических частиц, кокса, смол и собирается вода. Масла, имеющие меньшую плотность по сравнению с водой, образуют верхний слой, который заполняет цилиндрическую часть отстойника. Кран для отвода очищенного масла устанавливают в нижней цилиндрической части отстойника, что позволяет делать процесс регенерации непрерывным [2]-[3].

Отстаивание может применяться самостоятельным процессом восстановления качества масел или первой операцией при комбинированных способах регенерации смазочных материалов.

Недостатками технологии отстаивания являются большая длительность процесса (от 4 до 48 ч) и невозможность очистки масел с моющими присадками или мелкодисперсными загрязняющими примесями.

Ускорить процесс очистки отработанных масел от механических примесей и воды позволяют технологии сепарации.

Сепарация – процесс удаления механических примесей и воды под действием центробежных сил.

Параметрами процесса сепарации являются величина центробежной силы, скорость очистки, температура, время сепарации, содержание механических примесей и воды в регенерированном масле.



Скорость удаления загрязнений и воды зависит от величины центробежной силы и вязкости масла. Скорость очистки увеличивается при уменьшении вязкости масла, потому что масло нагревают до 60...65 °С.

Степень очистки при определенной скорости вращения центрифуги (сепаратора) определяется размером частиц загрязнений и разностью плотностей загрязняющих частиц и масла. Эффективность очистки зависит от времени процесса и количества воды в масле. При уменьшении содержания воды процесс ее удаления затрудняется, поэтому применяют фильтр-прессы, очищающие масло от следов воды и механических примесей.

В процессе сепарации механические примеси образуют слой отложений на стенках центрифуги, к которому прилегает слой воды, а очищенное масло собирается ближе к оси вращения.

Конструкции современных центрифуг позволяют проводить процесс очистки масел непрерывно [2]-[3].

В зависимости от загрязнений, очистка масел в центрифугах может проводиться методом осветления (кларификации) или методом сепарации (пурификации) [2].

Для предотвращения окисления масла применяют вакуумные сепараторы.

Фильтрация – процесс разделения неоднородных систем с помощью фильтровальных перегородок.

При фильтрации отработанное масло, подающееся под давлением, проходит через фильтровальную перегородку, а твердые частицы загрязнений задерживаются.

Параметрами процесса фильтрации являются: величина фильтровальной поверхности (площадь поверхности, радиус и длина капилляра), производительность фильтра, давление перед фильтром, скорость фильтрации, температура, вязкость масла, качество фильтрата.

Скорость фильтрации можно определить по формуле Пуазейля, согласно которой скорость увеличивается при повышении давления перед фильтром, площади и радиуса капилляров фильтровальной перегородки. Скорость фильтрации уменьшается при росте длины капилляра и вязкости масла. Вязкость масла уменьшают путем нагрева до 100...120 °С. При увеличении давления скорость фильтрации повышается, но падает качество фильтрата.

В качестве фильтровальной перегородки используют:

- материалы с каналами меньшими, чем средний диаметр задерживаемых частиц (фильтровальная бумага, картон, плотные ткани);
- материалы с каналами большими, чем средний диаметр задерживаемых частиц (войлок, волоконный асбест, шерстяные очесы, хлопковые

«концы»);

- материалы, каналы которого в начале фильтрации больше, чем средний диаметр удаляемых частиц, но во время фильтрации заполняются этими частицами и становятся меньше их среднего диаметра (металлическая сетка).

Новыми фильтровальными материалами являются пористый фторопласт и металлокерамика [3].

Выбор материала фильтровальной перегородки зависит от характера загрязнений масел.

Разницу давления при фильтрации создают с помощью компрессоров (сжатым воздухом), насосов (поршневых или центробежных), а также используют гидростатическое давление фильтруемого масла.

Метод фильтрации широко применяется для очистки масел в циркуляционных системах смазки в процессе работы механизмов. Процесс фильтрации входит во все технологические схемы маслорегенерационных и очистных установок.

Недостатком фильтрации является невозможность очистки масел, содержащих механические мелкодисперсные примеси (например, частицы сажи), и масел с высокоэффективными присадками.

Отгон топлива (легких фракций) от масла основан на разнице температур испарения топлива и масла. Температуры испарения топливных фракций значительно ниже температур испарения масел, поэтому при нагревании отработанного масла в первую очередь из него испаряется топливо.

Процесс испарения топливных фракций может быть осуществлен двумя методами:

- однократным испарением, при котором образующиеся пары нагреваются вместе с жидкой фазой до конечной температуры;

- постепенным испарением, при котором образующиеся пары непрерывно выводятся из системы, а в системе остается только жидкая фаза, находящаяся в равновесии с образующимися парами.

Добавление в масло воды (до 5 %) создает водомасляную эмульсию и способствует снижению температуры кипения на 50...70 °С, увеличению скорости движения масла, сокращению времени процесса регенерации.

Дополнительному снижению температуры отгона топливных фракций способствует применение вакуума в сочетании с перегретым водяным паром.

Промывка отработанных масел водой позволяет удалять водорастворимые кислоты, щелочи, соли органических кислот, кальцинированную соду.

Технология промывки водой заключается в следующем: в подогретое



до 60...80 °С масло подается в виде душа горячая вода (15...20 % от масла) и перемешивается 20...25 минут. Затем проводят отстаивание в течение 1...2 часов. Промывку масла можно выполнять 1...2 раза [2].

Параметрами процесса промывки являются температура масла, температура воды, расход воды, время перемешивания, время отстаивания.

Температура масла в пределах 60...80 °С оказывает большое влияние на эффективность регенерации, так как при температурах ниже 60 °С процесс отделения масла от воды затруднен, а при температурах более 80 °С в масле начинает растворяться шлам.

Технологию промывки отработанных масел водой часто применяют как один из этапов регенерации масел.

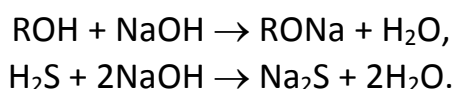
Для более глубокого удаления присадок и улучшения цвета масел применяют **вакуумную перегонку** отработанных масел в пленочных, роторно-пленочных, циклонных испарителях, ректификационной колонне при 300...350 °С и давлении 1...10 мм рт. ст. [3].

Химические методы регенерации отработанных смазочных материалов основаны на химическом взаимодействии загрязняющих элементов и специально вводимых веществ – реагентов. В результате химических реакций реагентов и загрязняющих веществ образуются легко удаляемые из масла соединения.

Широкое применение нашли следующие химические методы регенерации: кислотная и щелочная очистки, окисление кислородом, гидроочистка, осушка и очистка с помощью окислов, карбидов и гидридов металлов (натрия, кальция, алюминия, лития).

Кислотно-щелочной способ очистки применяют для удаления кислородных, сернистых, азотистых соединений и смолисто-асфальтовых веществ. Масла обрабатывают 92...96 % серной кислотой H_2SO_4 , которая вступает в химические реакции с вредными веществами, а продукты реакции выпадают в виде осадка (кислого гудрона).

После удаления кислого гудрона масла промывают щелочью NaOH для нейтрализации остатков серной кислоты и кислого гудрона. При добавлении щелочи происходят реакции типа

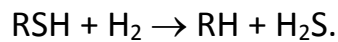


Образующиеся вещества растворимы в воде, поэтому продукты реакции и остатки щелочи удаляют промывкой водой с последующей просушкой перегретым паром или горячим воздухом.

Гидроочистка позволяет удалять кислородные, сернистые и азотистые

соединения. Под действием водорода при давлении 2 МПа и температуре 380...420 °С в присутствии катализатора соединения, содержащие кислород, серу и азот, превращаются в газообразные легкоудаляемые продукты.

Сернистые соединения превращаются в сероводород



Азотистые соединения превращаются с образованием аммиака NH_3 , кислородные соединения – с образованием воды.

Недостатками процесса гидроочистки масел являются большое количество водорода и зависимость экономической целесообразности процесса от объемов переработки.

Металлический натрий применяют для очистки отработанных масел от смол, высокотоксичных соединений хлора, продуктов окисления и присадок. В результате химических реакций, протекающих под давлением в присутствии катализатора, образуются полимеры и соли натрия с высокой температурой кипения, что позволяет отделять их от масла. Данная технология применяется в Германии, Франции, Швейцарии. Процессы переработки Resyclon и Lubrex (Швейцария) обеспечивают до 95 % выхода очищенного масла.

К физико-химическим методам регенерации отработанных масел относятся коагуляция, адсорбция, селективное растворение загрязнений [1]. Новыми методами являются регенерация в электрическом поле и ультразвуковая очистка.

Коагуляция – процесс укрупнения мелкодисперсных частиц загрязнений в отработанных маслах.

Коагуляция применяется для восстановления качества отработанных масел, содержащих мелкодисперсные механические примеси, а также многофункциональные присадки.

Коагуляция может происходить при механическом воздействии (перемешивании или встряхивании), термическом (нагревании или охлаждении), пропускании электрического тока, введении коагулянтов [3].

Широкое применение получили процессы коагуляции с использованием коагулянтов, в качестве которых применяют:

– неорганические электролиты – серную кислоту H_2SO_4 , кальцинированную соду Na_2CO_3 , тринатрийфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и др., действие которых основано на создании двойного электрического слоя на поверхности загрязняющих частиц;

– органические электролиты – ионогены поверхностно-активных ве-



ществ с активным органическим катионом или анионом (наиболее эффективные вещества – анионогенные поверхностно-активные вещества, алкилсульфонаты, алкиларилсульфонаты);

– неэлектролиты – неионогены поверхностно-активных веществ (полярные асимметричные органические вещества, например, октадециламид γ -оксимасляной кислоты, диэфир диэтиленгликоля);

– поверхностно-активные коллоиды (естественные растительные коллоиды: крахмал и его производные, щелочные вытяжки из торфа, бурого угля и др.; синтетические соединения: производные водорастворимых эфиров целлюлозы, например, карбоксиметилцеллюлоза) и гидрофильные высокомолекулярные соединения.

Органические электролиты и неэлектролиты снижают поверхностную энергию при адсорбции на границе раздела фаз [3].

Процесс коагуляции проводится в специальной мешалке с коническим дном, обеспеченной нагревательным и перемешивающим устройствами.

Основными параметрами процесса коагуляции являются концентрация коагулянта, его количество, температура, длительность обработки, эффективность перемешивания.

Температура, влияющая на вязкость отработанного масла и эффективность перемешивания с коагулянтom, должна находиться в пределах 60...80 °С. Длительность процесса коагуляции составляет 20...30 минут.

Наиболее эффективными коагулянтами являются серная кислота, кальцинированная сода, тринатрийфосфат, моющие вещества.

Серная кислота применяется для масел, содержащих не более 1,0 % воды. Процесс регенерации можно описать следующим образом: в отработанное масло, нагретое до 60...70 °С, при непрерывном перемешивании порциями добавляется 0,25...0,5 % масс. серной кислоты. Перемешивание продолжается 20...30 минут, а затем масло отстаивается от 12 до 24 часов. Отстоянное кислое масло нейтрализуют 10 % водным раствором кальцинированной соды (до 5 % масс.) или отбеливающей глиной (2...4 %). Процесс нейтрализации проводится при перемешивании на протяжении 20...25 минут с последующим отстаиванием нейтрализованного масла в течение 6...8 часов и проверкой водной вытяжкой [2].

Кальцинированную соду и тринатрийфосфат используют для масел, содержащих не более 1,0 % механических примесей. При загрязнении масел примесями более 1,0 % эффективными коагулянтами являются моющие вещества. Наличие воды в отработанном масле не влияет на процесс коагуляции. При регенерации масла нагревают до температур 75...80 °С и обрабатывают при перемешивании на протяжении 20...30 минут 10 % водным рас-

твором кальцинированной соды, тринатрийфосфата или моющими препаратами. Затем масла отстаиваются (до 48 часов) и направляются на последующую регенерацию.

Адсорбционная очистка (контактное фильтрование, кислотно-контактный способ очистки) основана на способности адсорбентов удерживать загрязняющие примеси на своей поверхности.

Адсорбционная очистка применяется для удаления кислородных, сернистых, азотистых, металлоорганических соединений, воды, смол.

В качестве адсорбентов применяют вещества естественного происхождения (отбеливающие глины – гидросиликаты алюминия с примесями оксидов щёлочноземельных элементов, бокситы, природные цеолиты $\text{CaNa}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaNa}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaNa}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) и искусственные (силикагель $\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$, окись алюминия, алюмосиликатные соединения, синтетические цеолиты CaA, NaA, NaX).

Адсорбционная очистка проводится в такой последовательности: масло смешивают с адсорбентом, нагревают, а затем адсорбент отделяют от масла фильтрацией. При этом вредные примеси адсорбируются на поверхности адсорбента и выводятся из состава масла.

Адсорбционная очистка может осуществляться контактным способом (масло и адсорбент перемешиваются), перколяционным методом (масло пропускается через сорбент) и методом противотока (масло и адсорбент движутся навстречу друг другу).

Недостатками адсорбционной очистки являются значительные потери масла с адсорбентом; высокая стоимость синтетических адсорбентов (например, силикагеля); необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду; сложное оборудование.

Разновидностью адсорбционной очистки является **ионно-обменная очистка**, основанная на способности ионно-обменных смол (ионитов) задерживать кислотные загрязнения. В процессе взаимодействия масла с зернами ионита (диаметром 0,3...2,0 мм) происходит обмен ионами: ионы загрязнений замещают ионы ионитов. Данный метод регенерации наиболее широко применяют в США.

Селективный способ очистки (при помощи растворителей) основан на различной (селективной) растворяющей способности некоторых веществ, при которой растворитель хорошо растворяет в себе вредные примеси и плохо или совсем не растворяет масло.

В качестве растворителей применяют фенол, фурфурол, крезолы, смесь фенола с крезолом, нитробензол, спирты, ацетон и др.



Технология селективной очистки заключается в добавлении в подогретое масло растворителя, который растворяет нежелательные примеси, и в последующем отделении его от масла.

Разновидностью селективного способа регенерации является **способ парных растворителей**, при котором используют растворители, состоящие из 2-х компонентов. Например, для растворения вредных примесей применяют креозол с 30...50 % фенола, а для растворения масла – пропан. Очистку проводят под давлением 2 МПа для поддержания пропана в жидком состоянии.

Селективный способ регенерации применяют для удаления из масел сернистых соединений, смолистых веществ.

Регенерация смазочных материалов в электрическом поле основана на механизмах коалесценции воды и коагуляции загрязнений [3]. Диполи воды в электрическом поле ориентируются вдоль силовых линий поля, притягиваются друг к другу, коалесцируются (укрупняются) и выпадают в отстойную зону. Механизм удаления загрязняющих частиц в электрическом поле обусловлен наличием двойного электрического слоя на поверхности частиц. Частицы загрязнений под действием силы, возникающей при разной диэлектрической проницаемости жидкости и частиц, двигаются в направлении электродов. Этот процесс приводит к коагуляции частиц. Эффективность регенерации зависит от разности потенциалов на электродах, скорости подачи и температуры масла.

В Украине и за рубежом разработаны различные конструкции электроочистных установок масел от воды и механических загрязнений [3]. Регенерацию масел в электрическом поле можно комбинировать с гравитационными или центробежными силами.

Ультразвуковая регенерация отработанных автомобильных масел проводится в вибрационном дегидрататоре [3]. В поле высокочастотных колебаний (мощностью не более 10 кВт/м²) молекулы воды коалесцируются и легко удаляются из масла. Ультразвуковая обработка с частотой до 30 кГц уменьшает время отстаивания масел в 6...8 раз.

Комбинированные способы регенерации отработанных масел представляют собой совокупность физических, химических и физико-химических методов. Широкое практическое применение получили следующие комбинированные способы регенерации: отстаивание и фильтрация; адсорбционная очистка и фильтрация; отгон топлива, адсорбционная очистка и фильтрация; обработка кислотой или щелочью, отгон топлива, адсорбционная очистка и фильтрация [4]-[5].

Восстановление качества моторных масел часто проводят по технологии: отгон топлива, адсорбционная очистка и фильтрация. Схема регенерации моторных масел с помощью деэмульгатора, адсорбционной очистки активированным бентонитом и сепарацией позволяет восстанавливать качество масла независимо от содержания присадок и количества воды [6]. В. О. Гриценко и Н. С. Орлов разработали способ регенерации «нефильтруемых» моторных масел коагуляцией и микрофильтрацией с помощью полимерных, металлокерамических, керамических и углеродных мембран с размером пор 0,03...0,10 мкм [7]. Для восстановления качества трансмиссионных масел широко применяют отстаивание и фильтрацию. Технологический процесс регенерации автомобильных масел с комплексными присадками состоит из обработки масла коагулянтами, отстаивания, адсорбционной очистки, отгонки топлива и воды, фильтрации [4].

Выводы. Эффективное решение проблемы переработки автомобильных отработанных масел по схеме «производство – потребление – регенерация» требует комплексного решения технических, экономических, организационных, правовых и экологических аспектов.

В Украине и за рубежом разработано большое количество технологий регенерации масел, которые позволяют перерабатывать минеральные и синтетические масла с современными присадками и получать выход масел в зависимости от качества сырья 80...95 %.

Регенерация смазочных материалов особенно важна для стран, не имеющих собственной нефти, так как позволяет получать ценное вторичное сырье. Одну тонну качественного масла можно получить из 7 т нефти или 1,2 т отработанного масла. Регенерированные масла позволяют получать базовые компоненты для производства моторных и трансмиссионных масел, пластичных смазок, различных видов топлива.

Экономическая эффективность регенерации отработанных масел определяется не только расходами на переработку масла, но и расходами на сбор, хранение и транспортировку масел к месту переработки.

Нормативно-правое регулирование переработки масел в промышленно развитых странах (США, Германии, Великобритании, Франции, Японии) позволяет регенерировать 50...80 % собранных отработанных масел. Сбор отработанных масел в нашей стране затрудняется несовершенством нормативно-правовой базы, отсутствием необходимых экономических и организационно-технических условий.

Качество вторичного сырья помогают сохранять организационно-технические условия, регламентирующие сбор и хранение отработанных масел на предприятиях автомобильного транспорта отдельно от других нефтепродуктов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Полянський С. К., Коваленко В. М. Експлуатаційні матеріали: підруч. для студентів вищ. навч. закл. Київ: Либідь, 2003. 448 с.
2. Коржавін Ю. А., Коробочка О. М. Ресурсозберегаючі технології при проведенні ТО та ремонту автомобілів. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. 176 с.
3. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Осипов І. М. та ін. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. 2-ге вид., перероблене та доповнене. За ред. В. Я. Чабанного. Кіровоград: КП «Центрально-Українське видавництво», 2008. Книга 2. Системи забезпечення якості паливно-мастильних матеріалів. 500 с. URL: http://library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn2.pdf (дата звернення: 22.03.2018).
4. Чумаченко Ю. Т., Чумаченко Г. В., Герасименко А. И. Материаловедение для автотехников: учебн. пособ. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. 480 с.
5. Григоров А. Б. Комплексная переработка отработанных моторных масел. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. № 05 (99). С. 40–44. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2012_5_7 (дата обращения: 25.03.2018).
6. Чайка О. Г., Петрушка І. М., Малик Ю. О. та ін. Апроксимаційні залежності процесу регенерації відпрацьованої моторної оливи. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2012. № 726(99). Хімія, технологія речовин та їх застосування. С. 265-269. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/18708> (дата звернення: 30.03.2018).
7. Гриценко В. О., Орлов Н. С. Применение микрофльтрации для регенерации отработанных моторных масел. Критические технологии. Мембраны. 2002. № 16. С. 10-16.