

На правах рукописи



Селезнев Максим Витальевич

**РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ
ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АВТОМОБИЛЬНЫХ
ТРАНСМИССИЯХ
(НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ)**

**Специальность 05.20.03 – технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П. А. Столыпина» (ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина»)

Научный руководитель

Холманов Валерий Михайлович

кандидат технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Остриков Валерий Васильевич

доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», заведующий лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов

Гуськов Юрий Викторович

кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия», профессор кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика»

Ведущая организация

ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита состоится 22 мая 2015 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.053.02 на базе ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» по адресу: 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, ауд.1246.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» и на сайте <http://pgsha.penza.net/>.

Автореферат разослан «24» марта 2015 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета**



Кухарев О. Н.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Проблемы экономного использования нефтепродуктов и ухудшение экологической обстановки вызывают необходимость в разработке методов и средств рационального использования как товарных, так и отработанных смазочных материалов в условиях АПК.

Одним из вариантов решения этой задачи является регенерация отработанных трансмиссионных масел и использование их в агрегатах трансмиссий грузовых автомобилей. Однако применяемые в настоящее время технологические процессы и технические средства для очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел до уровня товарных смазочных материалов являются сложными, дорогостоящими и малоэффективными.

Поэтому исследования, направленные на совершенствование технологических процессов и разработку новых технических средств, позволяющих регенерировать отработанные смазочные материалы до уровня товарных для последующего использования их в агрегатах трансмиссий грузовых автомобилей, являются актуальными и имеющими практическое значение для экономики России.

Степень разработанности темы. Вопросы применения технологических процессов регенерации отработанных смазочных материалов рассмотрены в научных трудах многих российских и зарубежных ученых. Регенерации трансмиссионных масел посвящено незначительное количество исследований. При этом одной из серьезных проблем является обеспечение качественной очистки отработанных масел от нерастворимых примесей и продуктов разложения масла. Недостаточно также обоснованы вопросы рациональных технологических режимов и технических средств для очистки отработанных трансмиссионных масел и восстановления их эксплуатационных свойств, изменения основных физико-химических и эксплуатационных показателей качества в процессе эксплуатации автомобилей, использования очищенных и восстановленных масел в агрегатах трансмиссий грузовых автомобилей. Поэтому решение этих задач требуют дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА имени П. А. Столыпина», тема «Повышение эффективности машинно-тракторных агрегатов эксплуатационными методами» (номер государственной регистрации № 01201157952).

Цель исследований. Совершенствование технологического процесса и разработка технических средств регенерации отработанных трансмиссионных масел для последующего использования в автомобильных трансмиссиях.

Задачи исследований:

1. Усовершенствовать технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел и разработать конструкцию гидроциклона для очистки трансмиссионного масла.

2. Выполнить теоретические исследования процесса гидроциклонной очистки отработанных трансмиссионных масел.

3. Экспериментально обосновать технологические режимы очистки отработанных трансмиссионных масел и восстановления их эксплуатационных свойств, а также конструктивные и режимные параметры гидроциклона, используемого для очистки масел.

4. Исследовать технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел в производственных условиях, оценить показатели качества регенерированного трансмиссионного масла в процессе эксплуатации автомобилей КамАЗ и определить эффективность его использования.

Объект исследований. Технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел на основе гидроциклонной очистки.

Предмет исследований. Показатели, оценивающие качество очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел.

Научная новизна работы:

- технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел, основанный на последовательном выполнении операций, связанных с очисткой масел от воды и нерастворимых примесей, а также вводом присадок для восстановления эксплуатационных свойств в концентрации, обеспечивающей баланс активных элементов;

- конструкция гидроциклона с теоретически и экспериментально обоснованными конструктивными и режимными параметрами;

- экспериментальные зависимости показателей физико-химических и эксплуатационных свойств товарного и регенерированного трансмиссионного масла от пробега автомобилей КамАЗ.

Новизна конструкции гидроциклона подтверждена патентами РФ на полезную модель №140817, №140822 «Гидроциклон для очистки отработанного масла».

Практическая значимость работы. Предложенный технологический процесс позволяет проводить регенерацию отработанных трансмиссионных масел, соответствующих по своим показателям уровню товарных масел, при себестоимости регенерирования, не превышающей 30-60% стоимости товарных масел, сократить в 2-2,5 раза расходы на покупку товарных масел. Очищенные отработанные масла и восстановленные по своим эксплуатационным свойствам до уровня товарных трансмиссионных масел рекомендуются использовать в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ, эксплуатирующихся на предприятиях АПК России.

Реализация результатов исследований. Полученные результаты исследований использованы при разработке производственной установки для регенерации отработанных трансмиссионных масел на предприятии ООО «Зенит-Химмаш» (г. Димитровград, Ульяновская область). Возможность использования регенерированного трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ подтверждена актами внедрения ООО «Зенит-Химмаш», ООО «Зенит-Авто», ООО «Золотой Теленок», филиала ООО «Газпром газораспределение Ульяновск» (Ульяновская область). Исследования по безопасной утилизации отходов производства, образующихся при очистке отработанного трансмиссионного масла, проводились в ОАО «Ульяновскавтодор» (г. Ульяновск).

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием основных положений теории центробежной очистки жидкости в гидроциклонном аппарате, методов математической статистики и сравнения теоретических и экспериментальных данных.

Экспериментальные исследования выполнены с использованием стандартных методик. За метод исследования принят метод сравнительных лабораторных и эксплуатационных исследований показателей регенерированного отработанного и

товарного трансмиссионного масла. Обработка экспериментальных данных выполнена с применением прикладных программ Statistica 6.1, Microsoft Excel, Math-Type 6.7 и др.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел и конструкция гидроциклона для очистки масел от нерастворимых примесей;
- теоретические исследования процесса центробежной очистки трансмиссионных масел в гидроциклоне с кольцевой вставкой и последующего восстановления эксплуатационных свойств методом компаундирования;
- рациональные значения конструктивных и режимных параметров гидроциклона;
- количественные оценки показателей качества регенерированного отработанного трансмиссионного масла и товарного масла ТСп-15К в процессе эксплуатации автомобилей КамАЗ.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов подтверждается сравнительными лабораторными и эксплуатационными исследованиями, сходимостью результатов теоретических расчетов содержания нерастворимых примесей при очистке масла в гидроциклоне с результатами экспериментальных исследований, использованием современного оборудования и приборов, в т. ч. специализированной аккредитованной лаборатории для оценки содержания активных элементов присадок в трансмиссионных маслах.

Основные положения диссертации и ее результаты доложены и одобрены на региональных, всероссийских и международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина» (2010 - 2013 г.г.), ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова» (2013 г.), ФГБОУ ВПО «Башкирский ГАУ» (2013 г.), ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» (2013 г.), в Чехии (г. Прага, 2013 г.). Конструктивные разработки и результаты исследований представлялись на конкурсах Минобрнауки (2012 г.), У.М.Н.И.К. (2012, 2013 г.г.), Russian Startup Tour (2014 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 18 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях, 2 статьи в зарубежном издании, получено 2 патента РФ на полезную модель. Без соавторов опубликованы 4 статьи. Общий объем публикаций 3,9 п.л., из них автору принадлежит 1,8 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованной литературы из 172 наименований и приложения на 64 с. Общий объем диссертации составляет 243 с., содержит 89 рис. и 10 табл.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследований, сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту, и дана общая характеристика работы.

В первом разделе «Состояние вопроса и анализ рационального использования отработанных трансмиссионных масел» раскрыта необходимость регенерации и проведен анализ методов очистки отработанных трансмиссионных масел и восстановления их эксплуатационных свойств, а также анализ конструкций используемых технических средств.

Существующие технологические процессы и технические средства для очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных масел позволяют получать смазочные материалы, соответствующие по качеству товарным маслам. Это подтверждают работы Брай И. В., Глуценко А. А., Гончаренко В. Г., Гуськова Ю. В., Гущина В. А., Зазули А. Н., Картошкина А. П., Коваленко В. П., Ленивцева Г. А., Литовкина А. В., Острикова В. В., Полканова И. П., Сафарова К. У., Уханова А. П., Холманова В. М., Шашкина П. И. и др.

Однако используемые в настоящее время технологические процессы и технические средства для регенерации отработанных трансмиссионных масел имеют низкую производительность и экономическую эффективность, требуют больших энергозатрат и утилизации высокотоксичных отходов. При этом эксплуатационные свойства масел восстанавливаются не полностью, что позволяет их использовать только в малоответственных узлах и системах. Используемые при этом технические средства имеют ряд недостатков: необходимость очистки самого оборудования, низкую эффективность очистки высоковязких масел, высокую стоимость, низкую надежность по причине применения на оборудовании вращающихся деталей с высокими скоростями, повышенную трудоемкость в обслуживании.

По результатам литературного и патентного обзора научной информации сформулированы цель и задачи исследований.

Во втором разделе «Теоретические исследования процесса очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел» предложен технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел (рис. 1). Обоснован метод восстановления эксплуатационных показателей и кинематической вязкости регенерируемых трансмиссионных масел путем ввода многофункциональных присадок ДФ-11, АзНИИ-11 в очищенное масло и его компаундирования с базовым маслом М-20. Данный метод позволяет осуществлять ввод присадок в требуемой концентрации, которая обеспечивает баланс активных элементов и заданные эксплуатационные свойства регенерированному трансмиссионному маслу.

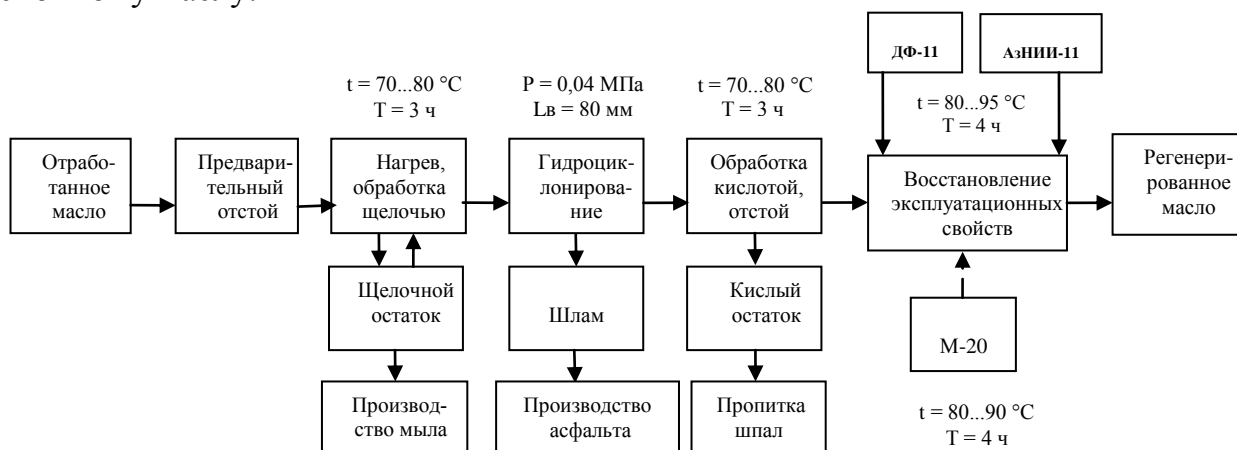


Рисунок 1 – Технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел

Предлагаемый технологический процесс позволяет использовать очищенные и восстановленные отработанные трансмиссионные масла в автомобильных трансмиссиях. В качестве технического средства для очистки отработанных масел предложен гидроциклон (патент РФ на полезную модель №140817, №140822).

Расчет необходимого количества ввода присадок предлагается проводить по формуле

$$N_n = \frac{N_{nn} \cdot (n_{mm} - n_{ом})}{n_n}, \quad (1)$$

где N_{nn} – количество присадки, содержащей нормативное количество активного вещества, кг; n_n – нормативное содержание активного вещества в товарной присадке, %; n_{mm} – нормативное содержание активного вещества присадки в товарном масле, %; $n_{ом}$ – остаточное содержание активного вещества присадки в очищенном отработанном трансмиссионном масле, %.

Очистка отработанного трансмиссионного масла в гидроциклоне происходит благодаря воздействию на частицу основных сил (рис. 2): центробежной $P_{ц}$, радиальной P_r , силы Кориолиса P_k , силы сопротивления P_c , силы инерции P_u . В качестве частицы нерастворимой примеси принят мельчайший продукт окисления, разложения, износа и загрязнения масла. Приняв допущение, что вследствие малого размера частицы нерастворимой примеси она вовлекается во вращательное движение вокруг оси гидроциклона с угловой скоростью ω , то основное влияние на нее будет оказывать центробежная сила.

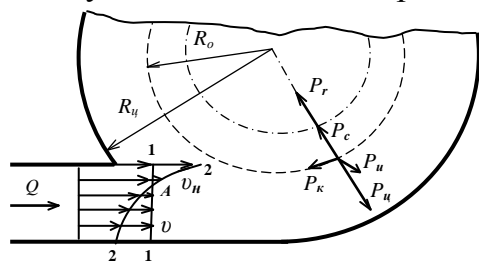


Рисунок 2 - Силы, действующие на частицу нерастворимой примеси в гидроциклоне

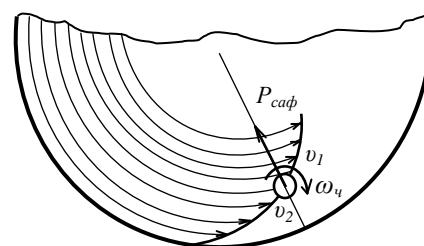


Рисунок 3 – Возникновение поперечной силы Саффмана

Изменение профиля скорости потока в гидроциклоне приводит к несимметричному обтеканию частиц и их вращению. При вращении частицы вместе с ней вовлекается во вращение поток, что приводит к увеличению скорости среды на одной стороне частицы и к уменьшению ее - на другой (рис. 3).

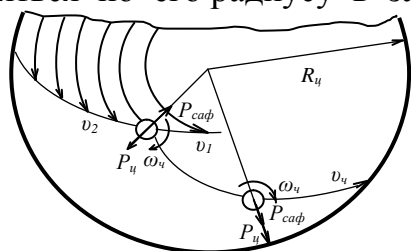
Кроме вышеперечисленных сил на частицу действует сила Саффмана, которая определяется по уравнению P. G. Saffmana

$$P_{саф} = 1,6515(v_1 - v_2)\delta^2(\omega_ц)^{0,5}(v \cdot v_1)^{0,5}, \quad (2)$$

где v_1 – скорость потока между частицей и центром гидроциклона, м/с; v_2 – скорость потока между частицей и стенкой гидроциклона, м/с; δ – размер частицы, м; $\omega_ц$ – угловая скорость частицы, рад/с; v – скорость потока, м/с.

При положительной скорости сдвига сила Саффмана будет направлена в сторону оси гидроциклона, а при отрицательном ее значении противоположно - в сторону стенки гидроциклона. Однако, при входе в гидроциклон частица имеет определенную скорость, равную скорости входного потока $v_ц = v_и$. При попадании частицы из центра потока в пристенную область скорость частицы будет превышать скорость потока $v_ц > v_1$, и поперечная сила $P_{саф}$ будет перемещать частицу к стенке. При отрыве частицы от стенки она будет отставать от потока $v_ц < v_1$, и сила $P_{саф}$

будет перемещать ее в центр потока и препятствовать ее осаждению (рис. 4). Центробежная сила, действующая на частицу в потоке гидроциклона, будет изменяться по его радиусу в зависимости от скорости сдвига потока и времени нахождения частицы в потоке при выполнении условия



$$v_u > v_1 \quad P'_u = P_u + P_{saf}, \quad \text{при } v_u < v_1 \quad - P'_u = P_u - P_{saf} \quad (3)$$

Таким образом, для увеличения центробежной силы и повышения степени очистки отработанных трансмиссионных масел необходимо выполнить условие увеличения скорости движения частицы в пристенной области гидроциклона. Это обеспечивается ограничением входного потока путем установки кольцевой вставки в гидроциклон с целью снижения угловой скорости отработанных трансмиссионных масел возле его оси (рис. 5).

Рисунок 4 - Изменение направления поперечной силы Саффмана в зависимости от положения частицы в потоке масла

Рисунок 5 – Схема размещения кольцевой вставки в гидроциклоне

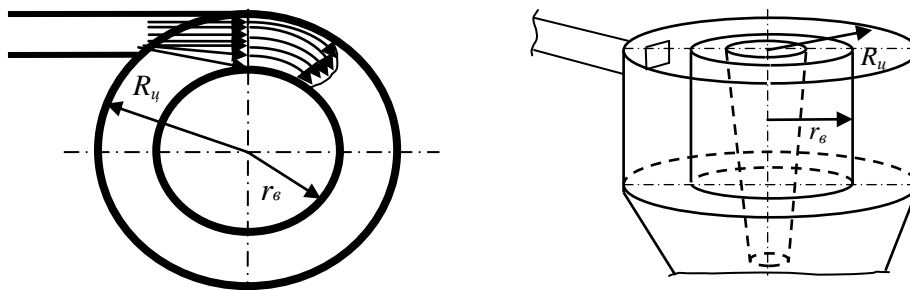


Рисунок 5 – Схема размещения кольцевой вставки в гидроциклоне

Так как перемещение частицы в плоскости, перпендикулярной его оси, осуществляется под действием центробежной P_u и радиальной P_r сил, то в каждой точке гидроциклона скорость частицы будет являться составляющей тангенциальной v_t и радиальной v_r скоростей. Тогда Марковское уравнение движения частицы нерастворимой примеси в потоке отработанного трансмиссионного масла примет вид

$$m_u \frac{d^2 r}{dt^2} = m_u \left(\frac{\rho_u}{\rho_m} - 1 \right) \frac{v_t(r)}{r} - \mu \left(\frac{dr}{dt} - v_r(r) \right) + \xi(t), \quad (4)$$

где $v_t(r)$ – функция, представляющая распределение тангенциальной составляющей скорости частицы в потоке масла; $v_r(r)$ – функция, представляющая распределение радиальной составляющей скорости частицы в потоке масла; $\xi(t)$ – функция времени, представляющая компонент скорости, вызванный столкновениями частиц и затруднительностью их движения; m_u – масса частицы, кг; ρ_u и $\rho_{ж}$ – плотность частицы нерастворимой примеси и трансмиссионного масла, кг/м³; r – радиус вращения частицы нерастворимой примеси, м.

Предположив, что функция $\xi(t)$ определяется функцией времени нахождения частицы в гидроциклоне, уравнение (4) можно представить одномерной плотностью вероятности распределения частиц в потоке очищаемого масла $W(t, r)$. А величина $W(t, r) dr$ будет учитывать относительное количество частиц, находящихся в определенный период времени t в профиле $r+dr$. Тогда функция $W(t, r)$

будет отражать концентрацию частиц в заданный момент времени в рассматриваемом сечении и определяться по уравнению

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(- \left(\frac{1}{r^3} - \frac{c}{r} \right) W + \frac{1}{2a} \frac{\partial W}{\partial r} \right), \quad (5)$$

где W – концентрация частиц нерастворимых примесей, %; a – коэффициент, характеризующий расходные свойства гидроциклона; c – коэффициент, характеризующий геометрические параметры гидроциклона.

Приняв за граничные условия пределы радиусов кольцевой вставки в цилиндрической части и стенки цилиндрической части гидроциклона

$$r = R_u \text{ и } r = r_g, \quad (6)$$

унос частиц в сливное приспособление $\bar{G}(\bar{t}, \bar{r})$ как скалярная величина будет характеризоваться уравнением

$$\bar{G}(\bar{t}, \bar{r}) = \left[- \left(\frac{1}{r^3} - \frac{c}{r} \right) \bar{W} + \frac{1}{2a} \frac{\partial \bar{W}}{\partial r} \right], \quad (7)$$

и определяется зависимостью вида

$$S_g(\bar{t}) = \frac{1}{2a} \int_0^{\bar{t}} \bar{G}(\bar{t}, \bar{r}) \Big|_{r=r_g} d\bar{t}, \quad (8)$$

Тогда количество уносимых частиц $S_g(\bar{t})$ будет определяться по формуле

$$S_g(\bar{t}) = \int_{R_u}^{\bar{r}_g} \bar{W} d\bar{r} = \frac{R_u^{2a+1} - \bar{r}_g^{2a+1}}{1 - r_g^{2a+1}}. \quad (9)$$

Таким образом, степень очистки отработанных трансмиссионных масел от нерастворимых примесей будет определяться временем t нахождения частицы в гидроциклоне и радиусом зоны кольцевой вставки $r = r_g$, обеспечивающей снос частиц к стенкам гидроциклона.

Для определения конструктивных параметров гидроциклона следует задаться минимальным размером отделяемой частицы, используя формулу Поварова А. И.:

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{9\mu Q}{\pi v_t h \rho_u}}, \quad (10)$$

где μ – динамическая вязкость масла, Па·с; Q – производительность гидроциклона, м³/ч; h – высота зоны радиального стока, м.

Поскольку в гидроциклоне устанавливается кольцевая вставка, высота зоны радиального слива будет соответствовать длине погружения кольцевой вставки во входящий поток масла, т.е.

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{9\mu Q}{\pi v_t^2 L \rho_u}}, \quad (11)$$

где L – длина погружения кольцевой вставки в поток масла, м.

Учитывая, что процесс отделения частиц в гидроциклоне осуществляется в результате спиралеобразного движения потоков, воспользуемся условием наложения спиральных потоков и проинтегрировав по высоте перемещения спирального потока, получим значение тангенциальной скорости

$$v_t(z) = \frac{2Q_1 n}{Lr_6} \left(1 + \frac{Q_2 z}{Q_1 L} \right) R_4, \quad (12)$$

где n – частота вращения потока, c^{-1} , Q_1 – расход масла через нижнее выходное отверстие, $m^3/ч$; Q_2 – расход масла через верхнее выходное отверстие, $m^3/ч$.

Подставив значения тангенциальной скорости в формулу (10), получим

$$d_{\min} = \frac{3r_6}{2(Q_1 + Q_2)n} \sqrt{\frac{\mu Q_2}{\pi L \rho_4}}. \quad (13)$$

Приняв L равным высоте цилиндрической части гидроциклона H_1 и подставив значения радиуса кольцевой вставки в формулу (9), получим зависимость степени очистки отработанного трансмиссионного масла от конструктивных параметров гидроциклона

$$S_6 = \frac{R_4^{2a+1} - \left(\frac{2(Q_1 + Q_2)n}{3} \cdot \sqrt{\frac{L\pi d_{\min}^2 \rho_4}{\mu Q_2}} \right)^{2a+1}}{1 - \left(\frac{2(Q_1 + Q_2)n}{3} \cdot \sqrt{\frac{L\pi d_{\min}^2 \rho_4}{\mu Q_2}} \right)^{2a+1}}. \quad (14)$$

Если задаться необходимой степенью очистки по минимальному размеру отделяемой частицы нерастворимой примеси из потока масла и его производительностью, то можно определить конструктивные параметры гидроциклона (табл. 1).

Таблица 1 – Конструктивные параметры гидроциклона

Конструктивные параметры	Значение параметра
Длина кольцевой вставки, мм	80
Высота цилиндрической части гидроциклона, мм	80
Диаметр входного отверстия, мм	16
Диаметр гидроциклона, мм	80
Ширина входного отверстия, мм	22
Высота входного отверстия, мм	9
Угол наклона входного патрубка, град.	5
Угол конусной части гидроциклона, град.	15
Диаметр нижнего выводного отверстия диафрагмы, мм	14
Диаметр нижнего сливного отверстия, мм	10
Диаметр патрубка для вывода очищенного масла, мм	25
Диаметр верхнего выводного отверстия диафрагмы, мм	32
Длина погружения диафрагмы в цилиндрическую часть гидроциклона, мм	144
Высота крышки гидроциклона, мм	44
Длина погружения диафрагмы в крышку гидроциклона, мм	30
Высота диафрагмы, мм	174
Высота конической части гидроциклона, мм	266
Высота сменной насадки, мм	16
Высота гидроциклона, мм	413

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» изложена программа исследований, которая включает: выбор объекта регенерации, лабораторные исследования технологических режимов очистки и вос-

становления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел; исследования конструктивных (длина погружения кольцевой вставки в поток масла) и режимных (давление на входе в гидроциклон) параметров гидроциклона; исследования оценочных показателей физико-химических и эксплуатационных свойств товарного и регенерированного трансмиссионного масла на соответствие их требованиям ГОСТ, исследования технологического процесса регенерации в производственных условиях, сравнительные эксплуатационные исследования автомобилей КамАЗ с использованием товарного трансмиссионного масла ТСП-15К и регенерированного масла.

Лабораторные исследования оценочных показателей физико-химических и эксплуатационных свойств товарного и регенерированного трансмиссионного масла предусматривали определение кинематической вязкости, кислотного числа, плотности, содержания нерастворимых примесей, продуктов износа деталей агрегатов трансмиссии (железо, хром, никель) и активных элементов присадок (сера, фосфор, азот). При проведении исследований были использованы следующие приборы, средства измерения и оборудование: вискозиметры ВПЖ-2 и ВПЖ-4, муфельная печь, аналитические весы ВЛА-2000, центрифуга ЦЛН-2, бездифракционный анализатор рентгеновский спектральный прибор БАРС-3, ареометры АНТ-2 с диапазонами измерения $830-910 \text{ кг/м}^3$ и $910 - 990 \text{ кг/м}^3$, микробюретка, четырехшариковая машина трения ЧМТ-1, рентгеновский флуоресцентный анализатор серы «Спектроскан SW-D3», спектрофотометр, анализатор TN-110 и прибор для определения пенообразующих характеристик.

Исследования технологического процесса регенерации в производственных условиях предусматривали оценку показателей качества регенерируемого трансмиссионного масла по следующим параметрам: содержание воды и нерастворимых примесей, кинематическая вязкость, щелочное и кислотное числа, температура вспышки. Определение показателей качества масла проводили с помощью оборудования для определения содержания воды, вискозиметра ВПЖ-2, универсального иономера ЭВ-74, микробюретки и аппарата LPO 400.

Экспериментальные исследования проводились по ГОСТ 33-2000, ГОСТ 2477-65, ГОСТ 3900-85, ГОСТ 4333-87, ГОСТ 5985-79, ГОСТ 9490-75, ГОСТ 9827-75, ГОСТ 11362-96, ГОСТ 20684-75, ГОСТ Р 53203-2008, ГОСТ ISO 6247-2013, а также по методикам № ФР 1.37.2006 №01.00169/01-07 и МВИ № 224.12.044/2007.



Рисунок 6 – Лабораторная установка для очистки отработанных трансмиссионных масел



Рисунок 7 – Производственная установка регенерации отработанных трансмиссионных масел

Исследования гидроциклона проводились на лабораторной установке (рис. 6). На базе ООО «Зенит-Химмаш» (г. Димитровград) была изготовлена и испытана производственная установка для регенерации отработанных трансмиссионных масел производительностью 1000 кг в смену (рис. 7), а также проведены исследования предложенного технологического процесса.

Сравнительные эксплуатационные исследования автомобилей КамАЗ с использованием товарного ТСП-15К и регенерированного трансмиссионного масла проводились в производственных условиях при перевозке различных грузов.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» приведены результаты лабораторных и эксплуатационных исследований и их анализ.

Анализ результатов исследований по определению вида щелочного соединения и основных режимов осушки отработанного масла показывает, что отсутствие воды в масле достигается при его обработке Na_3PO_4 и времени выдержки со щелочью – 3 ч при температуре 70 - 80 °С (рис. 8, 9).

По исследованиям определения вида кислотного соединения и основных режимов очистки установлено, что наибольшей коагулирующей способностью обладает H_2SO_4 (рис. 11), обеспечивающая снижение содержания нерастворимых примесей в масле с 0,15 % до 0,09 % или с 0,1132 г до 0,0542 г. Наилучшая очистка отработанного масла от нерастворимых примесей (до 48 %) наблюдается при температуре 70 - 80 °С и времени выдержки 3 ч (рис. 10).

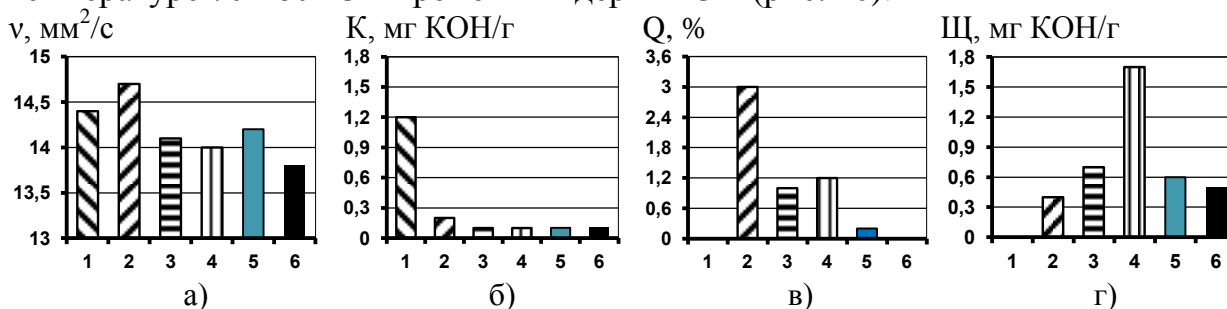


Рисунок 8 – Изменение показателей качества масла после обработки щелочными соединениями: а) кинематическая вязкость; б) кислотное число; в) содержание воды; г) щелочное число; 1 – товарное масло ТСП-15К; 2 – отработанное масло; 3 – отработанное масло после обработки NaOH ; 4 – отработанное масло после обработки Na_2CO_3 ; 5 – отработанное масло после обработки K_3PO_4 ; 6 – отработанное масло после обработки Na_3PO_4

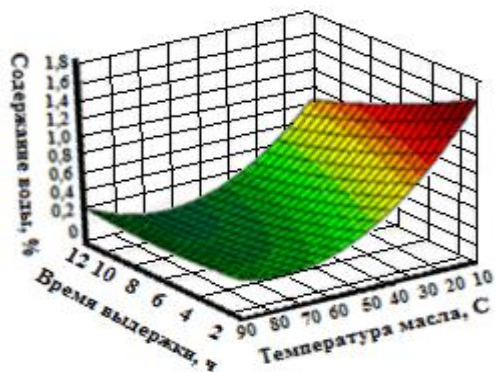


Рисунок 9 – Поверхность отклика содержания воды в отработанном трансмиссионном масле от температуры (t) и времени выдержки (T)

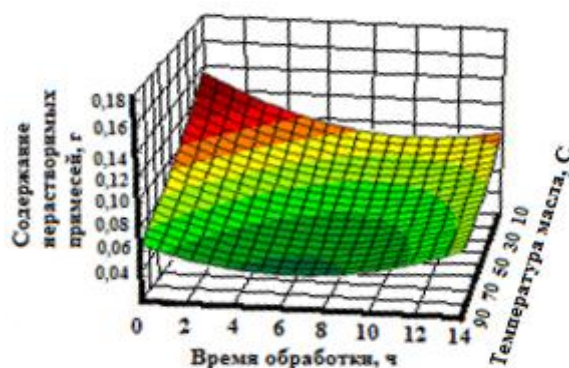


Рисунок 10 – Поверхность отклика содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от температуры нагрева (t) и времени обработки (T)

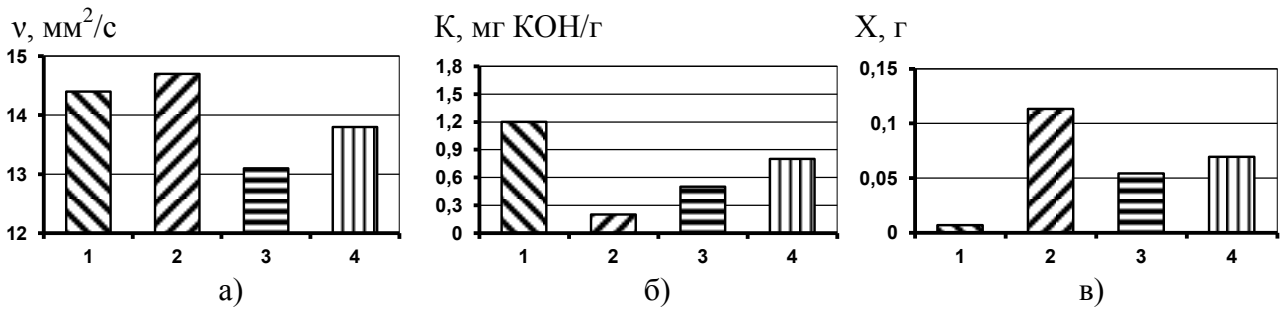


Рисунок 11 – Изменение показателей качества масла после обработки кислотными соединениями: а) кинематическая вязкость; б) кислотное число; в) содержание нерастворимых примесей; 1 – товарное масло ТСн-15К; 2 – отработанное масло; 3 – отработанное масло после обработки H₂SO₄; 4 – отработанное масло после обработки HCl

Результаты исследований по установлению режимов компаундирования базового масла М-20 с очищенным трансмиссионным маслом и ввода присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 показывают, что уровень кинематической вязкости в 14,4 мм²/с достигается при температуре нагрева 80 - 90 °С и времени перемешивания 4 ч (рис. 12, 13). Содержание серы, фосфора и азота в регенерируемом масле достигает нормативного значения в 3 % , 0,077 % и 0,07 % при температуре нагрева масла 80-95 °С и продолжительности перемешивания 4 ч (рис. 14).

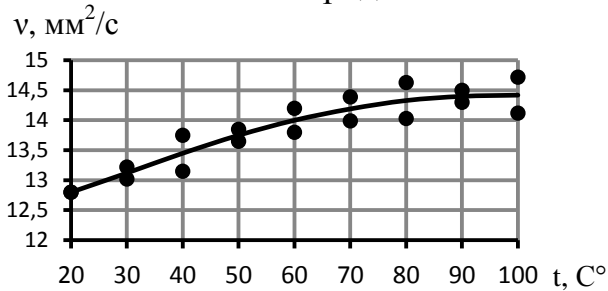


Рисунок 12 – Изменение кинематической вязкости (v) от температуры компаундирования (t) с базовым маслом М-20 в очищенном трансмиссионном масле

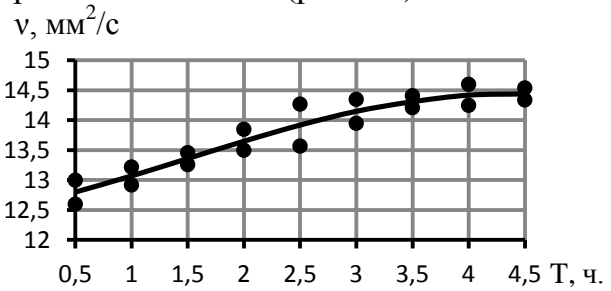


Рисунок 13 – Изменение кинематической вязкости (v) от времени перемешивания (T) с базовым маслом М-20 в очищенном трансмиссионном масле

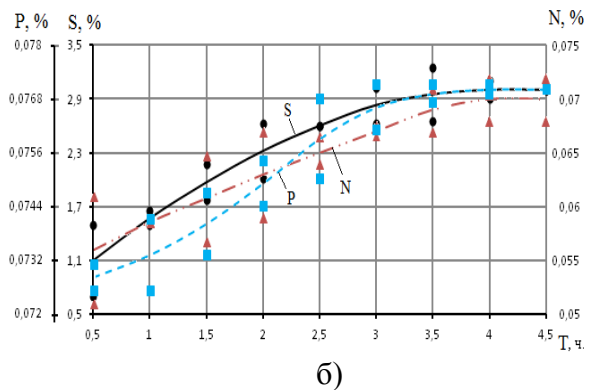
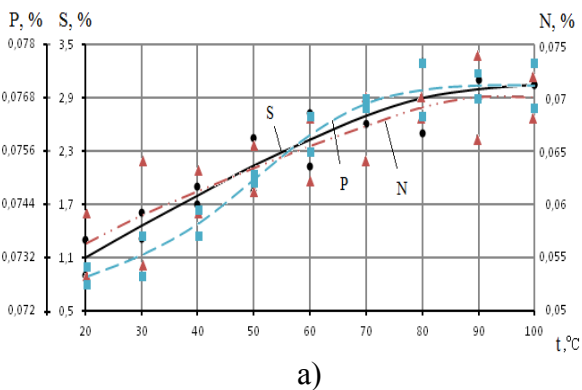


Рисунок 14 – Изменение содержания активных элементов присадок ● – серы (S), ■ - фосфора (P), ▲ – азота (N) в регенерируемом трансмиссионном масле от режимных параметров: а) температуры нагрева (t); б) времени перемешивания (T)

Анализ полученных данных исследований гидроциклона (рис. 15), поверхности отклика (рис. 16) и двухмерного сечения (рис. 17) показал, что наиболее ка-

чественная очистка (92 %) отработанного трансмиссионного масла от нерастворимых примесей осуществляется при давлении на входе в гидроциклон $P = 0,4$ МПа и длине погружения кольцевой вставки $L_{\kappa} = 80$ мм. Другие параметры приводят к ухудшению качества очистки масла.

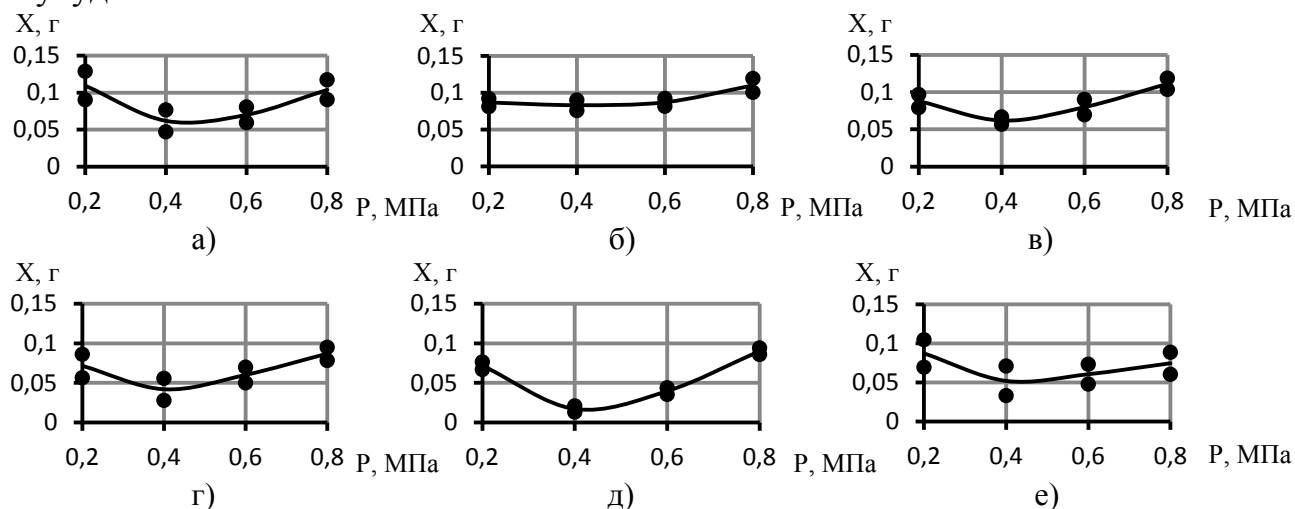


Рисунок 15 – Изменение содержания нерастворимых примесей (X) в масле от давления на входе в гидроциклон (P) и длины погружения кольцевой вставки: а) 10 мм; б) 20 мм; в) 40 мм; г) 60 мм; д) 80 мм; е) 100 мм

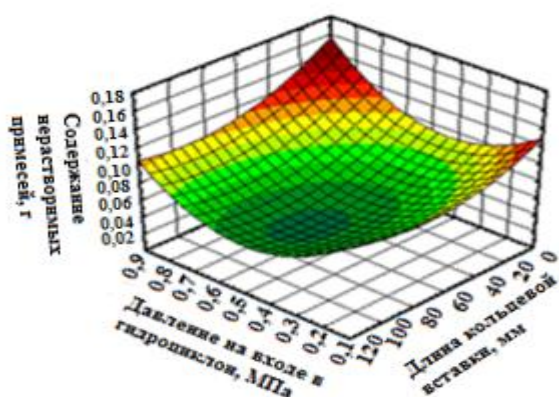


Рисунок 16 – Поверхность отклика содержания нерастворимых примесей в масле от давления на входе в гидроциклон (P) и длины погружения кольцевой вставки (L)

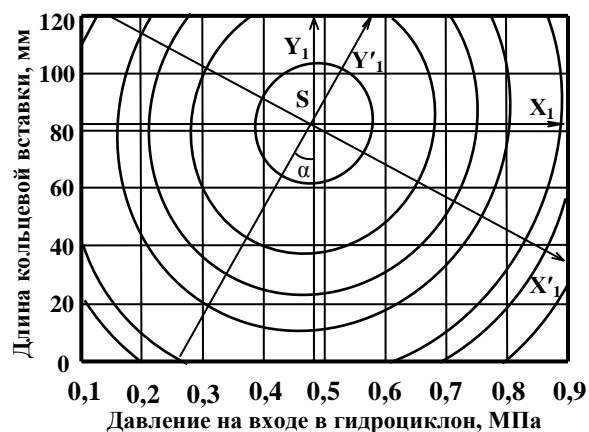


Рисунок 17 – Двухмерное сечение, характеризующее содержание нерастворимых примесей в масле от длины кольцевой вставки и давления на входе в гидроциклон

Сходимость содержания нерастворимых примесей при очистке отработанного трансмиссионного масла в гидроциклоне, полученного расчетным и экспериментальным путем составляет 90 - 92 %.

Исследования трансмиссионных масел на склонность к пенообразованию (рис. 18) показали, что объем пены у регенерированного масла увеличился на 40 % и 70 % при температуре 24 °С и на 45% при температуре 94 °С по сравнению с товарным маслом ТСп-15К. Однако данные значения находятся в допустимых пределах, соответствующих ГОСТ 23652-79.

Трибологические исследования трансмиссионных масел на машине трения ЧМТ-1 в паре трения «сталь-сталь» показали следующие результаты (рис. 19).

Регенированное трансмиссионное масло по противоизносным и противозадирным свойствам (критическая нагрузка – 1470 Н, нагрузка сваривания – 4136 Н, индекс задира – 556 Н, износ – 0,42 мм) показало лучшие результаты, чем товарное масло ТСп-15К ($P_{кр} - 1381$ Н, $P_{св} - 3920$ Н, $I_3 - 547$ Н, $D_{из} - 0,43$ мм).

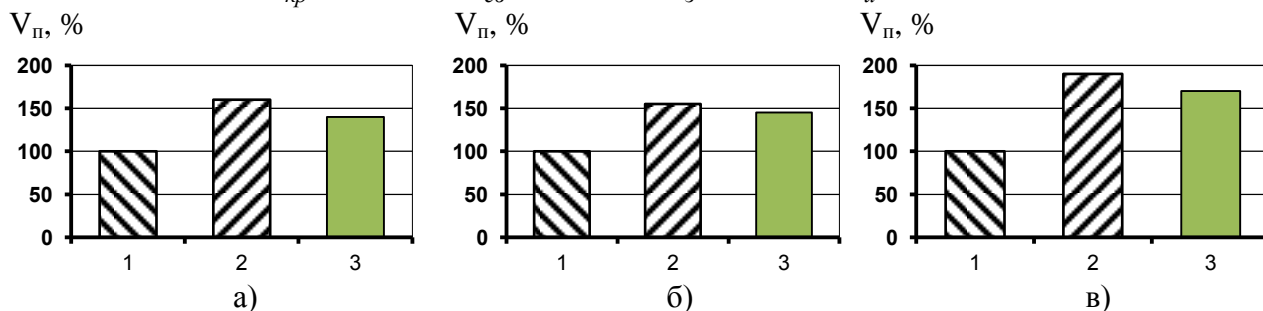


Рисунок 18 – Результаты исследований трансмиссионных масел на склонность к пенообразованию: а) при $t = 24$ °C; б) при $t = 94$ °C; в) повторное, при $t = 24$ °C; 1 – товарное трансмиссионное масло ТСп-15К; 2 – отработанное масло; 3 – регенированное масло

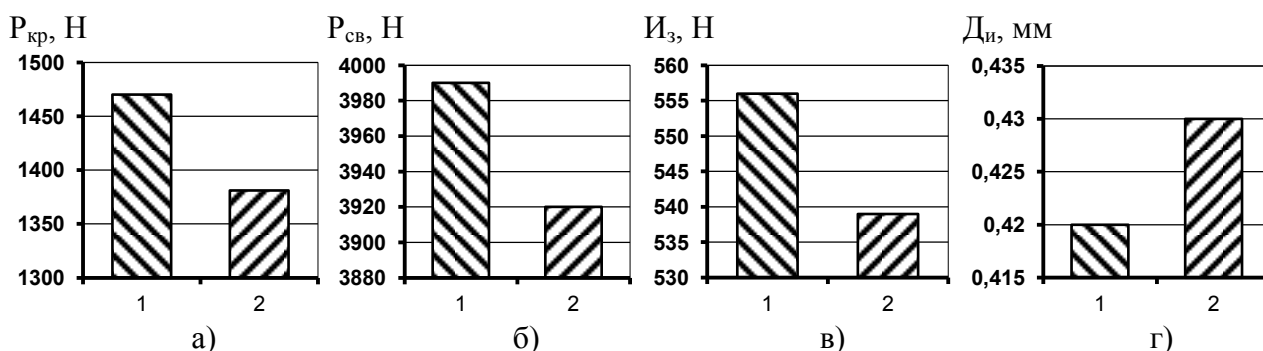


Рисунок 19 – Результаты трибологических исследований масел на машине трения ЧМТ-1: а) критическая нагрузка; б) нагрузка сваривания; в) индекс задира; г) показатель износа; 1 – регенированное масло; 2 – товарное масло ТСп-15К

Значения показателей качества регенированного масла после восстановления в производственных условиях составили: содержание нерастворимых примесей – 0,01%, кинематическая вязкость – $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$, температура вспышки – 282 °C, щелочное и кислотное число – 0,01 мг КОН/г и 1,2 мг КОН/г, отсутствие содержания воды (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели качества отработанного трансмиссионного масла в процессе регенерации

Показатели	Отработанное масло	После осушки щелочью	После очистки в гидроциклоне и обработки H_2SO_4	После компаундирования с базовым М-20	После ввода присадок
Содержание нерастворимых примесей, %	0,15	0,13	0,012	0,01	0,01
Кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$	14,7	13,8	12,8	14,4	14,4
Температура вспышки, °C	315	328	328	282	282
Щелочное число, мг КОН/г	0,4	0,5	0,01	0,01	0,01
Содержание воды, %	3	следы	следы	следы	следы
Кислотное число, мг КОН/г	0,2	0,1	0,5	0,5	1,2

Результаты сравнительных эксплуатационных исследований автомобилей КамАЗ с использованием товарного ТСП-15К и регенерированного трансмиссионного масла (табл. 3) в агрегатах трансмиссий представлены в виде средних значений по двум группам, каждая из которых состояла из пяти автомобилей.

Таблица 3 – Результаты сравнительных эксплуатационных исследований автомобилей КамАЗ в производственных условиях

Тип масла	Показатели	Коробка перемены передач		Средний мост		Задний мост	
		0 км	54000 км	0 км	54000 км	0 км	54000 км
Товарное трансмиссионное масло ТСП-15К	Кинематическая вязкость, мм ² /с	14,4	14,4	14,4	14,7	14,4	14,6
	Кислотное число, мг/КОН г	1,22	0,93	1,22	0,27	1,22	0,55
	Плотность, кг/м ³	891	893,6	891	898	891	895,5
	Содержание:						
	- нерастворимых примесей, г	0,0158	0,0346	0,0158	0,0495	0,0158	0,0430
	- железа, мг	0	1,72	0	5	0	3,72
	- хрома, мг	0	0,066	0	0,071	0	0,067
	- никеля, мг	0	0,021	0	0,0178	0	0,0186
	- серы, %	1,2979	1,2617	1,2979	1,2143	1,2979	1,2209
- фосфора, %	0,0778	0,0753	0,0778	0,0728	0,0778	0,0728	
- азота, %	0,0671	0,0621	0,0671	0,0570	0,0671	0,0584	
Регенерированное трансмиссионное масло	Кинематическая вязкость, мм ² /с	14,4	14,41	14,4	14,71	14,4	14,66
	Кислотное число, мг/КОН г	1,22	0,94	1,22	0,34	1,22	0,6
	Плотность, кг/м ³	891	893,5	891	897,6	891	895,2
	Содержание:						
	- нерастворимых примесей, г	0,0146	0,0343	0,0146	0,0483	0,0146	0,0411
	- железа, мг	0	1,6	0	4,68	0	3,45
	- хрома, мг	0	0,059	0	0,064	0	0,062
	- никеля, мг	0	0,0179	0	0,0155	0	0,0165
	- серы, %	2,9984	2,9697	2,9984	2,9207	2,9984	2,9307
- фосфора, %	0,0778	0,0759	0,0778	0,0733	0,0778	0,0735	
- азота, %	0,07	0,0658	0,07	0,0608	0,07	0,0625	

Анализ представленных результатов показывает, что изменение основных показателей качества регенерированного трансмиссионного масла в процессе эксплуатации находится практически на одном уровне с товарным маслом ТСП-15К. Таким образом, регенерированное масло может использоваться в качестве альтернативного заменителя товарного масла в автомобильных трансмиссиях.

В пятом разделе «Оценка эффективности результатов исследований и рекомендации производству» приводится экономический расчет применения регенерированного трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ взамен товарного масла ТСП-15К и даны рекомендации производству по использованию и регенерации отработанных трансмиссионных масел. При этом годовой экономический эффект для одного автомобиля типа КамАЗ за счет снижения затрат на приобретение товарного трансмиссионного масла составляет 1716 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан технологический процесс регенерации отработанных трансмиссионных масел, включающий в себя следующие технологические операции: предварительный отстой, нагрев масла в электропечах, осушка и очистка щелочью, очистка масла в гидроциклоне (гидроциклонирование), обработка масла кислотой с последующим отстоем, компаундирование очищенного масла с базовым маслом М-20 (при необходимости восстановления кинематической вязкости) и ввод присадок ДФ-11 и АзНИИ-11. В качестве технического средства для очистки масел от нерастворимых примесей предложена конструкция гидроциклона, отличительным признаком которого является наличие кольцевой вставки. Кольцевая вставка позволяет добиться повышения центробежной силы и степени очистки отработанных трансмиссионных масел путем увеличения скорости движения частицы в пристенной области гидроциклона.

2. Теоретически установлена взаимосвязь центробежной силы и степени очистки отработанных трансмиссионных масел от скорости движения частицы в пристенной области гидроциклона. Получены аналитические зависимости угловой скорости частицы нерастворимых примесей около оси гидроциклона и изменения центробежной силы, действующей на частицу, от условий ограничения входного потока масла, позволяющие определить конструктивные параметры гидроциклона. Теоретически установлена зависимость содержания нерастворимых примесей в отработанных трансмиссионных маслах от давления на входе в гидроциклон, влияющего на его производительность, и длины погружения кольцевой вставки гидроциклона в поток очищаемого масла.

3. Экспериментально определены технологические режимы очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел: температура нагрева масла при щелочной осушке – 70 - 80 °С, время выдержки масла со щелочью – 3 ч, температура обработки масла серной кислотой – 70 - 80 °С, время обработки масла кислотой – 3 ч, температура компаундирования базового масла М-20 с очищенным маслом – 80 - 90 °С, время перемешивания – 4 ч, температура ввода присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 – 80 - 95 °С, время перемешивания – 4 ч. Экспериментально установлены виды щелочного и кислотного соединений, применяемых для осушки и очистки отработанных масел.

Экспериментально подтверждены конструктивные и режимные параметры гидроциклона при очистке отработанных трансмиссионных масел: давление на входе в гидроциклон – 0,4 МПа, длина погружения кольцевой вставки в цилиндрической части – 80 мм, отношение длины кольцевой вставки к высоте цилиндрической части 1:1. Соблюдение этих параметров обеспечивает 92% степень очистки масел от нерастворимых примесей.

4. Проведенные исследования технологического процесса регенерации отработанных трансмиссионных масел в производственных условиях подтвердили целесообразность его использования для очистки и восстановления эксплуатационных свойств масел.

Антипенные характеристики регенерированного масла находятся на допустимом уровне, соответствующем ГОСТ 23652-79.

Регенерированное трансмиссионное масло (критическая нагрузка составляет 1470 Н, нагрузка сваривания – 4136 Н, индекс задира – 556 Н, показатель износа – 0,42 мм) превосходит по противозадирным и противоизносным свойствам товарное масло ТСп-15К (показатели которого соответственно равны 1381 Н, 3920 Н, 547 Н и 0,43 мм).

Сравнительные эксплуатационные исследования автомобилей КамАЗ с товарным и регенерированным трансмиссионным маслом показали, что восстановленное масло может использоваться в качестве альтернативного заменителя товарного масла в автомобильных трансмиссиях.

Экономический эффект от применения предлагаемого технологического процесса регенерации отработанных трансмиссионных масел обеспечивается за счет сокращения затрат на приобретение товарного масла и от использования регенерированного масла. Годовой экономический эффект на один автомобиль типа КамАЗ составляет 1716 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в рецензируемых изданиях

1. Селезнев, М. В. Анализ разделения отработанных масел на фракции в гидроциклоне / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ. – №2. – 2012. – С.77-80.

2. Глущенко, А. А. Гидроциклон для очистки отработанных масел / А. А. Глущенко, В. М. Холманов, М. В. Селезнев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – №6. – 2013. – С.26-27.

Патенты

3. Патент 140817 РФ, МПК В04С 5/00, В04С 5/04. Гидроциклон для очистки отработанного масла/ А. А. Глущенко, В. М. Холманов, М. В. Селезнев. – №2013157249/05; Заяв. 23.12.2013; Оpubл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

4. Патент 140822 РФ, МПК В04С 3/00. Гидроциклон для очистки отработанного масла/ А. А. Глущенко, В. М. Холманов, М. В. Селезнев. – №2013157649/05; Заяв. 24.12.2013. Оpubл. 20.05.2014. – Бюл. № 14.

Публикации в других изданиях

5. Селезнев, М. В. Особенности изменения состояния трансмиссионного масла / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Сб. материалов III Междунар. НПК. – Том 5. – Ульяновск: УГСХА, 2010. – С.112 - 114.

6. Селезнев, М. В. Передвижная установка для очистки трансмиссионных масел / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Сб. материалов 64-й внутривузовской студ. конф. – Том 3. – Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2011. – С.38-39.

7. Холманов, В. М. Результаты исследований трансмиссионных масел в ведущих мостах автомобилей КамАЗ / В. М. Холманов, А. А. Глущенко, М. В. Селезнев // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Сб. материалов III Междунар. НПК. - Том II. - Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2011. – С.325-327.

8. Селезнев, М. В. Технология восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: Сб. материалов Междунар. НПК - Димитровград: Технологический институт – филиал ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина, 2012. – С.100-102.

9. Селезнев, М. В. Использование гидроциклона для очистки высоковязких отработанных технических масел / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК (ФОНТиТМ-АПК-13): Сб. материалов Всеросс. НПК. Часть I. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – С.279-285.

10. Селезнев, М. В. Анализ температурного режима трансмиссионного масла в процессе эксплуатации автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Междунар. НТС им. В. В. Михайлова. – Вып. 26. – Саратов: ООО Буква, 2013. – С.176-178.
11. Селезнев, М. В. Универсальный гидроциклон для очистки отработанных технических масел / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Междунар. НТС им. В.В. Михайлова. – Вып. 26. – Саратов: ООО Буква, 2013. – С.179-181.
12. Селезнев, М. В. Анализ технических средств для очистки и восстановления отработанных трансмиссионных и других высоковязких технических масел / М. В. Селезнев, А. А. Майнцев // В мире научных открытий: Сб. материалов II Всеросс. студ. науч. конф. – Том II. – Ульяновск: Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. – С.139-142.
13. Селезнев, М. В. Изменение кинематической вязкости трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссии при эксплуатации автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев, В. М. Холманов, А. А. Глущенко // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: Сб. статей Всеросс. НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – С.97-99.
14. Селезнев М. В. Изменение кинематической вязкости трансмиссионного масла ТСП-15К в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев // Vědecký průmysl evropského kontinentu – 2013: Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická konference. – Díl 33. Technické vědy.: Praha. Publishing House Education and Science, 2013. – a.p. 30-32.
15. Селезнев, М. В. Динамика изменения кинематической вязкости трансмиссионного масла в среднем мосту автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев // Vědecký průmysl evropského kontinentu– 2013: Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická konference. – Díl 33. Technické vědy.: Praha. Publishing House Education and Science, 2013. – a.p. 33-35.
16. Селезнев, М. В. Динамика изменения плотности трансмиссионных масел в условиях эксплуатации автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев, А. А. Майнцев // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: Сб. научных трудов по материалам II Междунар. НПК: в 2 частях. Часть I; под общ. ред. М. Г. Петровой. – Белгород: ИП Петрова М. Г., 2014. – С. 83 – 85.
17. Селезнев, М. В. Динамика изменения содержания нерастворимых примесей в трансмиссионных маслах автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев, А. А. Майнцев // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам II Междунар. НПК: в 2 частях. Часть I; под общ. ред. М. Г. Петровой. – Белгород: ИП Петрова М. Г., 2014. – С. 86 – 88.
18. Селезнев, М. В. Изменение кислотного числа трансмиссионных масел в агрегатах трансмиссии автомобилей КамАЗ / М. В. Селезнев // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам II Междунар. НПК: в 2 частях. Часть I; под общ. ред. М. Г. Петровой. – Белгород: ИП Петрова М. Г., 2014. – С. 88 – 90.

Подписано в печать 12.03.2015 г. Формат 60×84/16.
Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 235
Отпечатано с готового оригинал-макета
в Пензенской мини-типографии
Свидетельство № 5551
440600, г. Пенза, ул. Московская, 74.