

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная
академия им. П.А. Столыпина»

ГЛУЩЕНКО А. А.

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ОТРАБОТАННОГО ТРАНСМИССИОННОГО
МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГИДРОЦИКЛОНА**

Ульяновск – 2015

УДК 631.3: 662.75/.76 + 502 Глущенко А.А. Восстановление эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла с использованием гидроциклона: Монография.
Г-55 Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2015, – 208 с.
ББК 35.514 + 28.081

Рецензенты: доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Проектирование и сервис автомобилей» ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет» ХУСАИНОВ А.Ш.

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Энергообеспечение предприятий и электротехнологии» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» САЛОВА Т.Ю.

В монографии рассмотрена экологически безопасная технология восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла.

Проведены исследования новой конструкции гидроциклона для очистки отработанного трансмиссионного масла с учетом его оптимальных конструктивных параметров и рациональных режимов работы, и технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла методом ввода присадок и компаундирования.

Проведены производственные и эксплуатационные исследования использования восстановленных отработанных трансмиссионных масел в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ. Табл. 6. Ил. 92. Библиограф. 164.

Предназначена для инженерно-технических работников научных организаций, а также аспирантов и студентов инженерных специальностей.

Печатается по решению научно-технического совета ФГБОУ ВПО "Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина".
Протокол № 1 от 24.02.2015.

ISBN 978-5-905970-45-0

© Глущенко А.А., 2015

© ФГБОУ ВПО "Ульяновская ГСХА им П.А. Столыпина", 2015

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия АПК являются одними из основных потребителей топливно-смазочных материалов, выпускаемых нефтяными компаниями РФ. Эффективное функционирование сельскохозяйственного производства основано на использовании разнообразной техники, её эксплуатационной надежности, позволяющей выполнять работы с минимальными затратами трудовых и энергетических ресурсов, экономии топлив, масел и эксплуатационных жидкостей. Одним из направлений экономного использования нефтепродуктов является вторичное использование отработанных смазочных материалов в узлах и системах сельскохозяйственной техники. Это может быть реализовано использованием различных технологий по очистке и частичному или полному восстановлению эксплуатационных свойств отработанных масел. В настоящее время существует множество технологических процессов и технических средств для очистки и восстановления моторных и промышленных масел, обеспечивающих практически полное восстановление эксплуатационных свойств и позволяющих их использовать повторно по прямому назначению. Однако, практически отсутствуют экономически эффективные технологии и технические средства для очистки и восстановления отработанных трансмиссионных масел до уровня товарного продукта. Это связано с отсутствием научно обоснованных и практически исследованных методов очистки и восстановления, спецификой свойств и состава трансмиссионных масел, а также изменения их свойств в процессе эксплуатации, высокой себестоимостью и низкой экономической эффективностью восстановления. А при использовании уже разработанных технологий очистки и восстановления образуются трудноутилизуемые экологически опасные отходы. Поэтому очистка и восстановление отработанных трансмиссионных масел имеет важное значение для экономики предприятий агропромышленного комплекса и страны в целом.

Анализ состояния вопроса показывает, что разработка новых высокоэффективных и безопасных технологий, создание принципиально нового технологического оборудования по переработке и очистке отработанных трансмиссионных является актуальной задачей сегодняшнего времени. Решение данной задачи позволит не только сни-

зять затраты и объем потребляемых масел, но и улучшить экологическую обстановку за счет снижения образования высокотоксичных отходов. Это обуславливает необходимость дальнейших исследований по рациональному использованию отработанных трансмиссионных масел путем создания экологически безопасных и безотходных технологий и оборудования для восстановления их эксплуатационных свойств.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

1.1 Состав и назначение трансмиссионных масел

Одним из видов смазочных материалов, широко используемых в агропромышленном комплексе России, являются трансмиссионные масла. Правильный выбор трансмиссионного масла позволяет значительно продлить срок службы агрегатов трансмиссии. Это очень важно, так как ежегодная стоимость их ремонта составляет большую сумму и на этих работах занято до 15 % кадров машиностроителей и загружено около 10 % станочного парка [85, 96, 163].

К трансмиссионным маслам относят материалы, используемые для смазки зубчатых передач трансмиссий автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин. Трансмиссионные масла представляют собой сложную коллоидную систему, включающую две группы компонентов: первая - основа масла, вторая - функциональные присадки для улучшения эксплуатационных свойств масел. Основой трансмиссионных масел служат высококачественные дистиллятные или остаточные минеральные масла, подвергнутые специальной очистке и депарафинизации, фракции нефти асфальтового основания, высокополимерные соединения и синтетические масла. Для получения трансмиссионных масел с необходимыми вязкостно-температурными свойствами используются следующие методы: смешение высоковязких масел с маловязкими; загущение маловязких масел высокополимерными загущающими присадками; глубокая очистка масел для удаления из них компонентов с неудовлетворительными вязкостно-температурными свойствами. Присадки чаще всего вводятся в масла при их изготовлении. Применяют антифрикционные, противоизносные, противозадирные, антиокислительные, антикоррозионные, защитные, диспергирующие, противопенные, депрессорные и другие типы присадок. В большинстве случаев используются поверхностно-активные вещества в виде животных и растительных жиров, жирных кислот и их эфиров, мыла жирных кислот и др. Эти вещества адсорбируются на поверхностях трения, препятствуя их непосредственному контакту.

Хорошими противоизносными и противозадирными присадками являются серосодержащие соединения: осерненные минеральные масла, олефиновые полимеры, дисульфиды и полисульфиды и т. п. При повышенных температурах и нагрузках эти соединения взаимодействуют с металлом с возникновением пленки сульфида железа на поверхностях трения, препятствующей износу и задиру.

Противозадирный эффект обеспечивается и при использовании хлорсодержащих присадок. К ним относятся гексахлорэтон, хлорированный парафин, ароматические углеводороды, минеральные масла и др. Хлорсодержащие соединения коррозионно-агрессивны, особенно при контакте с водой. Хлорсодержащие присадки чаще всего применяют в сочетании с другими присадками, устраняющими этот недостаток. Противозадирный и противоизносный эффекты достигаются также фосфорсодержащими присадками - органическими производными фосфорных и фосфористых кислот, их средними эфирами, солями кислотных эфиров и др. Фосфорсодержащие присадки эффективно увеличивают нагрузку заедания трущихся поверхностей при небольших скоростях скольжения. Однако они недостаточно эффективны при высоких скоростях и ударном нагружении.

В товарные масла вводят присадки с несколькими активными элементами (*S-Cl*, *S-P*, *Cl-P*). В этом случае действие одного активного элемента при изменении условий трения дополняется действием другого. Трансмиссионные масла длительное время работают при высоких температурах и окисляются, что приводит к изменению их свойств. Для избежания этого, к маслам добавляют антиокислительные присадки. К ним относятся соединения, например, фенолов, соединения, содержащие серу, фосфор, аминные и другие функциональные группы. Для защиты деталей от коррозии в масло добавляют антикоррозионные присадки - соединения, содержащие либо серу, либо фосфор, либо серу и фосфор одновременно, образующие каталитически неактивную пленку на поверхности металла, предохраняющую ее от воздействия продуктов окисления масла.

Для предотвращения пенообразования в масле используются противопенные присадки, обычно на основе кремнийорганических соединений. Противопенные присадки добавляют к трансмиссионным маслам, в количестве не более 0,001 %. Для уменьшения температуры

застывания масел и улучшения их текучести при низких температурах применяют депрессорные присадки (полиметакрилаты, окисленный петролатум и др.). Эффективность действия этих присадок зависит от химической природы масла, его вязкости, содержания высокозастывающих углеводородов. Присадки могут снизить температуру застывания масла на 5...25 °С. Иногда в одном соединении содержится несколько различных функциональных групп, что делает присадку универсальной. Например, соли кислых эфиров диалкилдитиофосфорной кислоты. Они обладают противоизносными, противозадирными, моющими, антикоррозионными, антиокислительными, депрессорными свойствами [76].

Условия, в которых работает трансмиссионное масло, определяются следующими факторами: температурным режимом, частотой вращения шестерен (скоростью относительного скольжения трущихся поверхностей зубьев), удельным давлением в зоне контакта. Рабочая температура масла в агрегатах трансмиссии меняется в широких пределах - от температуры окружающего воздуха в начале работы даже до 150 °С в процессе работы. В температурном режиме работы зубчатых передач различают следующие характерные температуры: минимальную - в начальный момент работы передачи, равную наиболее низкой температуре окружающего воздуха; максимальную - соответствующую самым экстремальным условиям работы; среднеэксплуатационную - наиболее вероятную во время работы агрегата изделия или машины.

Минимальная температура масла в агрегатах трансмиссии автомобилей в холодной климатической зоне может достигать -60 °С. Максимальная и среднеэксплуатационная температура масла зависит от температуры воздуха, условий эксплуатации, вязкости масла и других факторов. Среднеэксплуатационная температура в агрегатах трансмиссии автомобилей обычно составляет 60...90 °С. Фактическая температура масла в зоне контакта зубьев шестерен на 150...200 °С выше температуры масла в объеме. Заметное влияние на температуру оказывает скорость скольжения на поверхности зубьев в зоне их контакта. Скорости скольжения в цилиндрических и конических передачах составляют на входе в зацепление 1,5...3 м/с. В некоторых агрегатах они достигают 9...12 м/с. Для гипоидных передач скорости скольжения дости-

гают 15 м/с и более. В цилиндрических и конических передачах удельные нагрузки в зоне зацепления составляют 0,5...1,5 ГПа, достигая в некоторых случаях 2 ГПа. В гипоидных передачах они в два раза выше. Под действием таких нагрузок условия для гидродинамической смазки ухудшаются.

Трансмиссионные масла характеризуются:

- высокими противоизносными, противозадирными и противопиттинговыми свойствами;
- хорошей термической и термоокислительной стабильностью;
- способностью защищать смазываемые поверхности от коррозионного воздействия агрессивных веществ;
- пологой вязкостно-температурной кривой и сравнительно малой вязкостью в области отрицательных температур;
- стойкостью к пенообразованию;
- высокой физической стабильностью в условиях применения и длительного хранения;
- способностью не оказывать вредного воздействия на резиновые уплотнительные материалы.

По классификации Американского нефтяного института (API), трансмиссионные масла, в зависимости от конструкции агрегатов и условий их эксплуатации, разделены на шесть групп от ТМ-1 до ТМ-6 [87, 123, 157]. Трансмиссионные масла без присадок ТМ-1 применяют ограниченно. Они работают при малых нагрузках и температуре, не превышающей 50...70°C, обладают низкими эксплуатационными свойствами. Масла ТМ-2 применяются на грузовых автомобилях средней грузоподъемности и междугородных автобусах в ведущих мостах. Они содержат противоизносные присадки некорродирующие бронзу, из которой изготавливают червячные колеса. Эксплуатационные свойства несколько лучше, чем у масел предыдущей группы. Масла ТМ-3 широко применяются в ведущих мостах автомобилей со спирально-коническими главными передачами. Они являются основными маслами для всех видов передач автомобилей КамАЗ и другой техники. Масла ТМ-3 не предназначены для гипоидных передач. ТМ-4 в настоящее время применяют в большинстве синхронизированных коробок перемены передач. Эти масла применяют также для не синхронизированных коробок передач грузовых автомобилей, тягачей и автобу-

сов. ТМ-5 применяют для работы в суровых условиях. Основное предназначение - гипоидные передачи, имеющие существенное смещение осей. Применяются в качестве многофункциональных масел, которые могут использоваться в агрегатах трансмиссии любой конструкции. Масла ТМ-6 применяются в особо нагруженных зубчатых передачах, которые эксплуатируются в особо трудных условиях. Данные условия эксплуатации связаны с высокими скоростями скольжения, а также большими ударными нагрузками. Масло ТМ-6 соответствует наивысшему уровню эксплуатационных свойств. В настоящее время класс ТМ-6 практически не применяется, в связи с тем, что масла типа ТМ-5 обеспечивают самые строгие заданные требования [27, 29, 131].

1.2 Изменение состояния трансмиссионных масел в процессе эксплуатации

Процесс изменения состояния трансмиссионных масел неразрывно связан с режимом и условиями работы в трансмиссии. Изменение состояния масла наглядно можно проследить при рассмотрении процесса его работы в трансмиссии (рис. 1.1). В результате проведенных исследований было выявлено следующее [2]. При достижении определенной критической температуры $T_{кр}$, в месте контакта происходит дезориентация молекул масла на поверхности трения. При этом степень покрытия поверхности трения маслом значительно снижается.

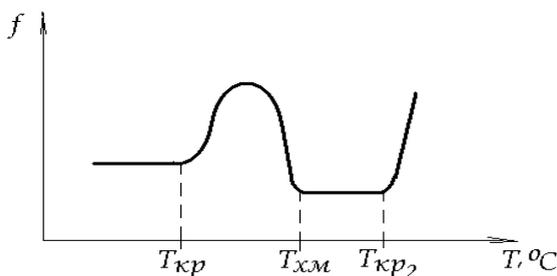


Рисунок 1.1 – Изменение коэффициента трения от температуры в месте контакта сопрягаемых поверхностей при трении

Дальнейшее увеличение температуры приводит к росту доли металлического контакта, в результате продолжающейся десорбции, и, соответственно, к увеличению коэффициента трения и температуры в месте контакта. Увеличение температуры интенсифицирует химические процессы смазочного масла, образование активных радикалов, вступающих в реакцию с поверхностями трения. При этом образуются участки химически-модифицированного слоя. При дальнейшем увеличении температуры растет скорость реакции активных компонентов масла с поверхностями трения. Все большая доля поверхности покрывается химически-модифицированным слоем. При дальнейшем увеличении температуры происходит разрушение модифицированного слоя и разложение масла.

Зависимость скорости разложения масла в зоне контакта описывается уравнением Аррениуса [1]

$$\lg v = A - \frac{B}{t}; \quad B = 3R \frac{E}{2}; \quad (1.1)$$

где A – постоянная величина; E – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; t – абсолютная температура в зоне трения, °С.

Постоянные этого уравнения могут быть использованы в качестве параметров оценки противозадирных свойств масел.

Окисление масла, происходящее под действием кислорода, при повышенной температуре в присутствии каталитически активных металлов, из которых изготовлены детали трансмиссии, идет по двум основным направлениям с образованием кислот и смол (рис. 2.).



Рисунок 1.2 - Окисление трансмиссионного масла

Продукты окисления, в частности нерастворимые в масле смолы, асфальтены и карбены, влияют на эксплуатационные свойства ма-

сел, повышают вязкость, коррозионную агрессивность, пенообразование, снижают теплоотдачу [2].

Смолисто-асфальтовые вещества - сложная смесь наиболее высокомолекулярных компонентов, содержание которых достигает 10...50 % масс. Смолисто-асфальтовые вещества представляют собой гетероорганические соединения гибридной структуры, включающие в состав молекул азот, серу, кислород и некоторые металлы (*Fe, Mg, V, Ni* и др.). На долю углеводородной части смолисто-асфальтовых веществ приходится 80-95% всей молекулы.

Смолисто-асфальтовые вещества объединяют две большие группы высокомолекулярных соединений - смолы и асфальтены, в химическом составе, строении и свойствах которых имеется много общего. Соотношение между смолами и асфальтенами в отработанных маслах, составляет от 9:1 до 7:1.

Состав и свойства образующихся нефтяных смол зависят от химической природы масел. Смолы могут составлять от 10 до 80 % всех соединений отработанного масла, в зависимости от условий и времени эксплуатации трансмиссионного масла. Большую часть смол составляют нейтральные вещества (до 40...50 %). Кислотные продукты представлены главным образом асфальтеновыми кислотами.

Основными структурными элементами молекулы смол являются конденсированные циклические системы, в состав которых входят ароматические, циклоалкановые и гетероциклические кольца, соединённые между собой короткими алифатическими мостиками и имеющие по несколько алифатических, реже циклических заместителей в цикле.

Смолистые вещества термически и химически нестабильны, легко окисляются и конденсируются, превращаясь при этом в асфальтены (рис. 1.2).

Асфальтены являются более высокомолекулярными соединениями, чем смолы. Они отличаются от смол не только несколько меньшим содержанием водорода, но и более высоким содержанием гетероатомов. Предполагают, что асфальтены являются продуктами конденсации смол.

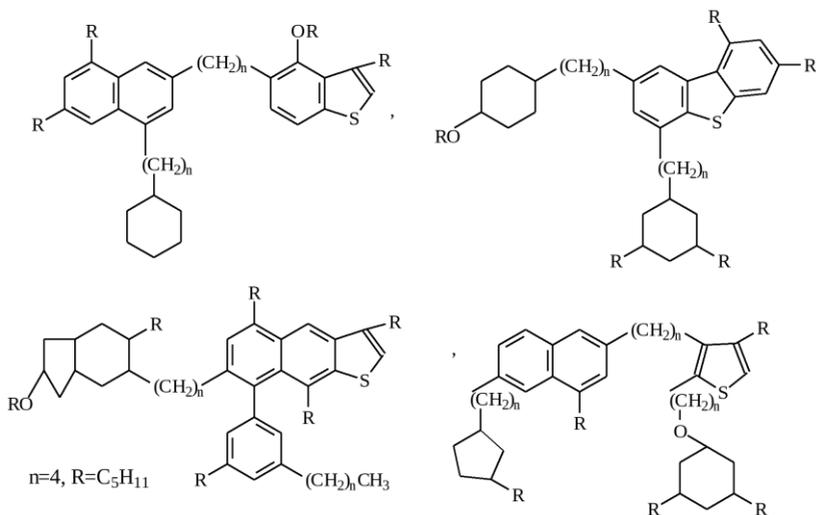


Рисунок 1.3 – Строение молекул смол по Сергиенко С.Р.[76]

На основании многочисленных исследований химического строения молекул асфальтенов считают, что последние представляют собой полициклическую, ароматическую, сильно конденсированную систему с короткими алифатическими заместителями у ароматических ядер. В молекулах асфальтенов присутствуют также пяти- и шестичленные гетероциклы [76].

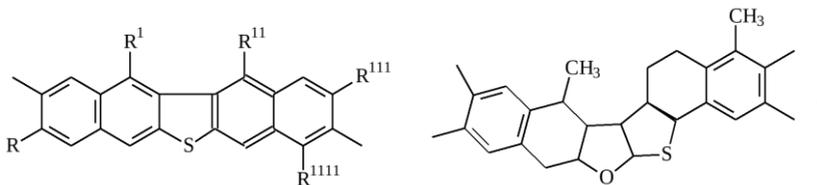


Рисунок 1.4 - Типы полициклических структур - звенья молекул смол и асфальтенов

Из асфальтенов нефтяных масел, подвергшихся термической обработке в присутствии кислорода или воздуха, выделяют две подгруппы соединений в зависимости от растворимости -карбены и карбоиды (рис. 1.2). Карбены нерастворимы ни в каких углеводородах и частично растворимы только в пиридине и сероуглероде; карбоиды не растворяются практически ни в чём.

Накопление вышеперечисленных веществ приводит к изменению физико-химических и эксплуатационных свойств масла и его выбраковке [12, 156].

1.3 Анализ существующих технологий и технических средств для восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел

Выбор метода регенерации отработанных масел определяется характером и количеством поступающих извне загрязнений, образующихся продуктов старения и окисления самого масла. Все используемые методы можно разделить на: физические, физико-химические, химические и комбинированные (рис. 1.5) [132].



Рисунок 1.5 - Методы регенерации масел

Как правило, в практической деятельности для достижения более высокого эффекта очистки применяют сразу несколько методов регенерации. А сами методы очистки выбирают, исходя из того, какие физико-химические свойства масла требуют исправления, т.е., регене-

рация отработанных трансмиссионных масел требует специального подхода.

Самыми распространенными являются физические и физико-химические методы восстановления отработанных масел. При всей своей простоте и доступности данные методы имеют ряд недостатков: низкое качество очистки; длительность процесса; возможность переработки не более 20...30 % образующихся нефтяных отходов.

Химические и комбинированные методы, несмотря на высокое качество получаемых масел, не нашли широкого применения из-за высокой стоимости реактивов, необходимости последующей утилизации отработанных очистительных материалов и реактивов. Кроме того, использование атмосферной, вакуумной или каталитической перегонки связано с выбросами в атмосферу значительного количества разнообразных полициклических аренов (нафталина, пирена, бенз- α -антрацена, бенз- α -пирена и др.), многие из которых являются канцерогенами [20, 43, 58, 112].

Наиболее широкое применение получила сернокислотная очистка. При этом методе очистки основным реагентом, входящим в соединения с нежелательными примесями, является серная кислота. Она разрушает смолисто-асфальтовые и ненасыщенные соединения, которые вместе с непрореагировавшей кислотой выпадают в осадок, образуя кислый гудрон. Очистка заканчивается промывкой масла водой и его последующим обезвоживанием.

Такая технология считается традиционной для сернокислотной очистки. Кислый гудрон, который является отходом при этом способе очистки, очень токсичный продукт. Его химический состав включает смолистые вещества, «органику», продукты полимеризации ненасыщенных углеводородов, а присутствие свободной серной кислоты в гудронах доходит до 70 % от массы. Дальнейшее использование его по ряду причин нерентабельно и поэтому он складывается в прудах-накопителях, где скапливается в огромных количествах без надлежащей утилизации, представляя значительную экологическую опасность.

Для предотвращения возможности образования стойких водомасляных эмульсий обработку щелочью заменяют контактным фильтрованием с использованием отбеливающих глин, обладающих большой адсорбционной способностью поглощать полярно-активные ве-

щества, к которым относятся продукты взаимодействия с серной кислотой. Кислотную очистку с контактным фильтрованием через отбеливающие земли называют кислотно-контактной очисткой. При таком методе одновременно с кислым гудроном образуется и отработанный сорбент.

Наиболее эффективным с точки зрения экологии можно считать процесс фирмы Meinken, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1.6.

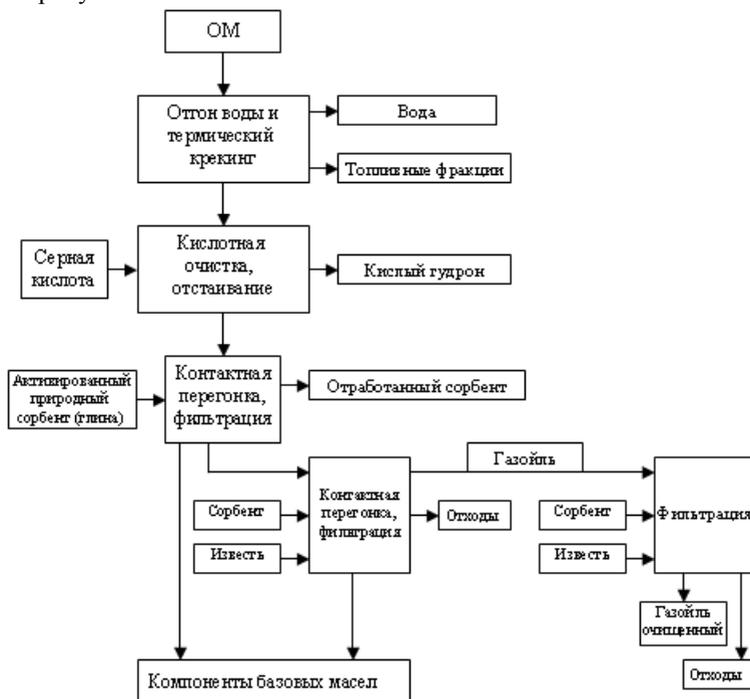


Рисунок 1.6 - Схема процесса Meinken

Однако, будучи разновидностью серноокислотной очистки, этот метод имеет те же недостатки, что и предыдущие методы. А именно, образование большого количества токсичного трудноутилизируемого отхода – кислого гудрона. Нельзя также регенерировать серной кислотой современные масла, совместимые с окружающей средой (синтетические сложные эфиры и сложные эфиры растительного происхожде-

ния), поскольку серная кислота разлагает их, что, в частности, увеличивает выход кислого гудрона.

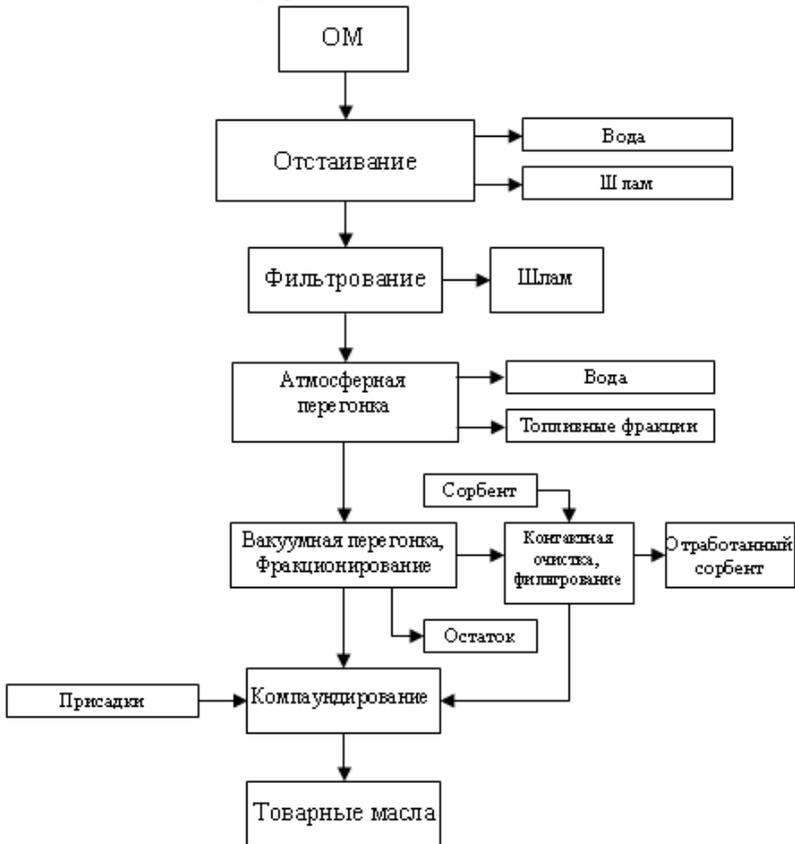


Рисунок 1.7 - Схема процесса Rotovac

Адсорбционная очистка занимает второе место по объему промышленного применения. Адсорбционная очистка может осуществляться:

- контактным методом - масло перемешивается с измельченным адсорбентом;
- перколяционным методом - очищаемое масло пропускается через адсорбент;
- методом противотока - масло и адсорбент движутся навстречу друг другу.

Наиболее широко контактную очистку применяют на предприятиях в США. Схема предусматривает отгон воды и легких фракций с последующей контактной очисткой. В качестве сорбентов используют активированные глины. К недостаткам такой технологии следует отнести большие потери масла с сорбентом. К тому же необходимо утилизировать большое количество адсорбента, загрязняющего окружающую среду.

При перколяционной очистке в качестве адсорбента чаще всего применяется силикагель, что делает этот метод дорогостоящим. Наиболее перспективным методом является очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, однако применение этого метода связано с использованием довольно сложного оборудования, что сдерживает его широкое распространение.

Также можно выделить процесс фирмы Rotovac (Финляндия) (рис. 1.7).

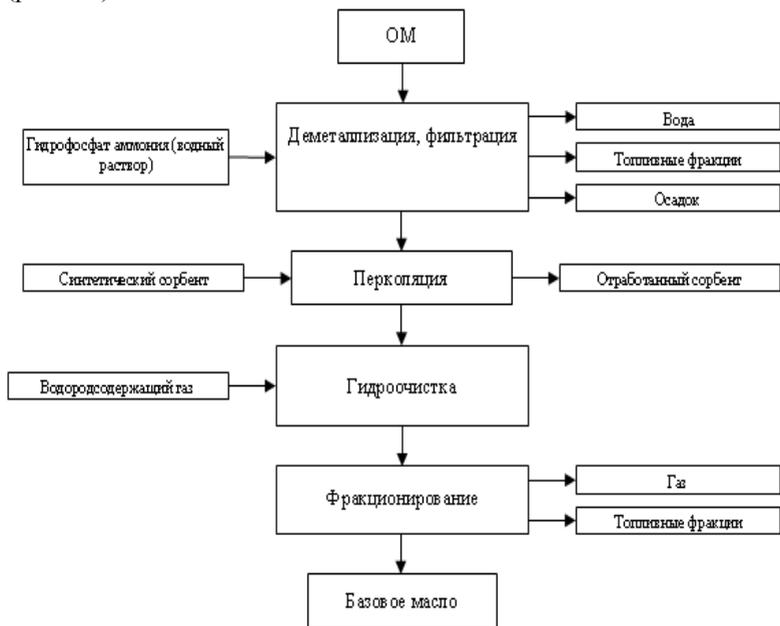


Рисунок 1.8 - Схема процесса PROP

В рассматриваемой схеме отстоянное от воды и шлама масло подвергается фильтрации, атмосферной и вакуумной перегонке. После

этого производят контактную очистку кислотно-активированным диатомитом и ввод присадок.

Среди применяемых в промышленности процессов используется технология PROP (компания Phillips Petroleum, США). На первой стадии проводят деметаллизацию отработанного моторного масла водным раствором гидрофосфата аммония. После фильтрации масло подвергают перколяции, гидроочистке и фракционированию. Побочные продукты, нейтральные отходы и топливные фракции подвергаются дальнейшей переработке. Принципиальная схема процесса деметаллизации PROP (рис. 1.8).

В России применяют комбинированную схему переработки с использованием процессов коагуляции и адсорбции разработанные Петербургским государственным университетом путей сообщения (ПГУПС) (рис. 1.9), а также процесс, разработанный организацией «Вторнефтепродукт» (рис. 1.10):

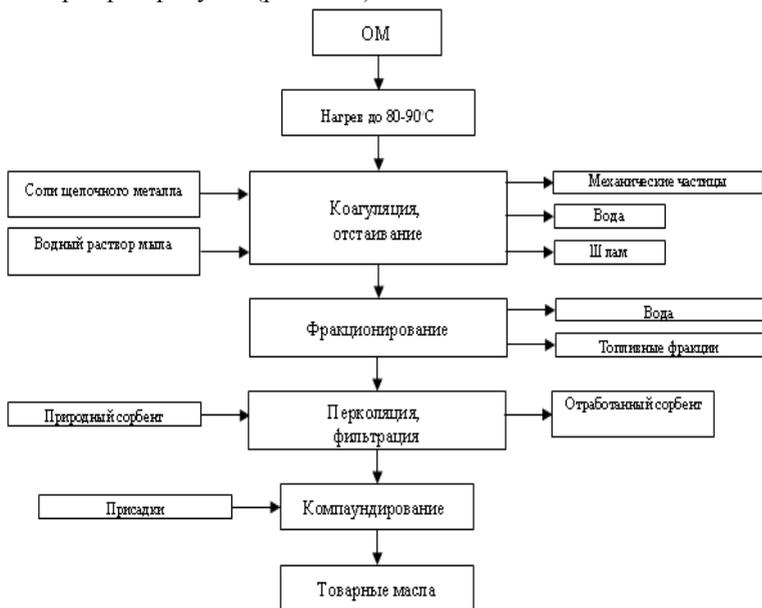


Рисунок 1.9 - Схема процесса, разработанного в ПГУПС

Меньшее распространение получили гидрогенизационные процессы проводимые под давлением до 2 МПа в присутствии различных

катализаторов и водорода при температуре 380...400 °С. Для защиты катализаторов гидроочистки от загрязнителей отработанных масел также используются сорбенты.

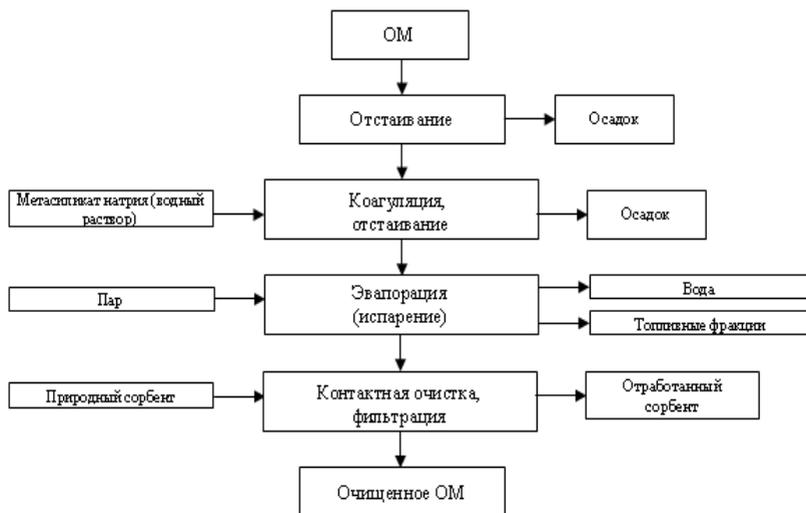


Рисунок 1.10 - Схема процесса «Вторнефтепродукт»

Также в качестве основной стадии гидроочистку использует компания UOP (Великобритания) (рис. 1.11).

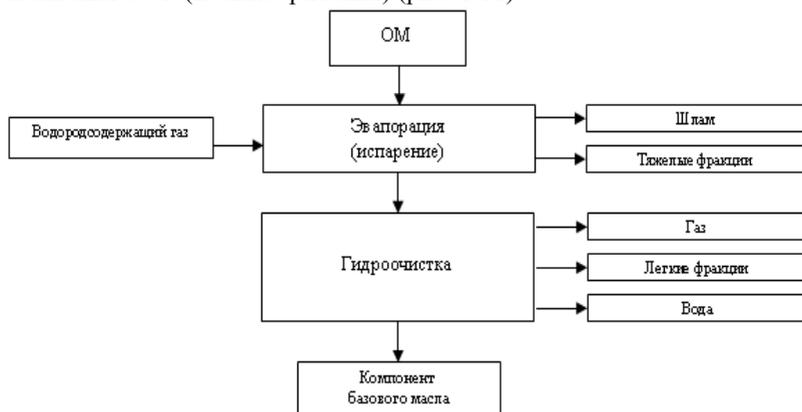


Рисунок 1.11 - Схема процесса UOP

Принцип селективной очистки заключается в следующем. Подбирают растворитель, который при определенной температуре и количественном соотношении с очищаемым маслом выборочно (селективно) растворяет в себе все вредные примеси и плохо или совсем не растворяет очищаемый продукт, в данном случае - масло.

Это современный и эффективный способ очистки масел, особенностью которого является возможность в процессе очистки многократного использования селективных растворителей. В качестве селективных растворителей и веществ, как правило, применяют фурфурол и фенол.

Для получения качественной очистки высоковязких остаточных масел используют метод парных растворителей. Причем, один из них должен выборочно растворять вредные примеси, а другой - очищаемое масло, тем самым разделяя сырье на очищенную и загрязненную фракции. При растворении примесей применяют крезол с 30...50 % фенола, а при растворении рафинада - пропан. С целью поддержания пропана в жидком состоянии очистку производят под давлением до 2 МПа. При таком методе углеводороды масла растворяются в пропане, а асфальтосмолистые вещества, находящиеся в масле в коллоидном состоянии, выпадают в осадок.

Тонкопленочное испарение является одним из перспективных процессом вторичной переработки смазочных масел, хотя предложено уже сравнительно давно (рис. 1.12).

Близкая к КТИ схема разработана компанией Booth Oil Co., Inc. (США), единственное отличие заключается в наличии такой стадии как адсорбционная очистка. Остаток тонкопленочного испарения (ТПИ) в данном случае можно использовать в качестве топлива или компонента асфальтового покрытия.

Самым небезопасным с точки зрения воздействия на окружающую среду являются методы, основанные на очистке ОМ серной кислотой. И, несмотря на это, на практике традиционный вариант кислотно-контактной переработки ОМ при его известных недостатках достаточно широко применяют во многих странах мира. Иногда он используется в комбинации с вакуумной перегонкой, с обработкой пропаном, фурфуролом и сорбентами, что немного снижает объем ис-

пользования серной кислоты, а, следовательно, и снижает образование такого токсичного отхода как кислый гудрон [15, 21, 76].

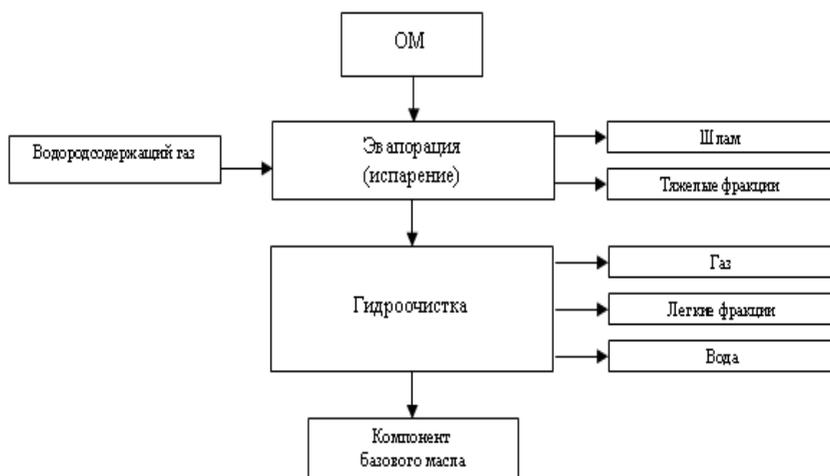


Рисунок 1.12 - Схема процесса КТИ

Для очистки отработанных трансмиссионных масел используются различные технические средства, работа которых основана на физических, физико-химических, химических процессах, а также их различной комбинации (таблица 1.1).

Наиболее простыми являются отстаивники. Они применяются для отстоя отработанных трансмиссионных масел от воды и нерастворимых примесей. Также широко применяются сепараторы для очистки отработанных масел. Кроме того, сепараторы вводят в состав маслогенерационных установок для проведения предварительной очистки масел. По технологическому назначению сепараторы делятся на три класса: сепараторы - разделители, сепараторы - очистители и комбинированные сепараторы [146, 158].

Сепарация включает два способа очистки: центрифугирование и сепарацию. Для улучшения качества сепарации дополнительно используют адсорберы, позволяющие концентрировать на собственной поверхности (наружная и внутренняя поверхность их зерен, гранул, капилляров) загрязняющие трансмиссионное масло соединения (отбеливающие глины, природные цеолиты, бокситы).

Таблица 1.1 - Технические средства для очистки отработанных трансмиссионных масел

Применяемый метод	Применяемый процесс	Техническое средство
Физический	Влияние силового поля (центробежного, гравитационного, магнитного, электрического)	Центрифуга Гидроциклон Отстойник Магнитный очиститель Электроочиститель
	Фильтрация сквозь пористые перегородки	Фильтр-водоотделитель Фильтр
	Теплофизические процессы (промывка водой, нагревание, выпаривание)	Вакуумный дистиллятор Выпарная колонка Массообменный аппарат
	Комбинированные процессы	Фильтрующая центрифуга Гидродинамический фильтр Трибоэлектрический очиститель Магнитный фильтр
Физико-химический	Адсорбция	Адсорберы
	Коагуляция	Смеситель-отстойник
	Селективная очистка	Экстрактор
Химический	Очистка щелочным соединением	Щелочной реактор
	Очистка кислотным соединением	Кислотный реактор

Фильтрующие устройства в зависимости от условий работы можно разделить на две группы: предназначенные для фильтрации слитых отработанных масел и используемые для фильтрации масел непосредственно в системах очистки. Широко используются различные мобильные станции для очистки отработанных трансмиссионных масел. Принцип работы основан на предварительном нагреве трансмиссионного масла с дальнейшей обработкой его адсорбентами. Затем отработанное масло подвергается операции отстоя или фильтрования. Действие стационарных установок основано на более сложной очистке с дальнейшей обработкой масла разнообразными ПАВ, фракционным разделением и др.

Однако используемые технические средства для очистки трансмиссионных масел имеют следующие недостатки: необходимость очистки самого оборудования; низкую эффективность очистки высоковязких масел; высокую стоимость; низкую надежность. Адсорберы, которые применяются для улучшения процесса сепарации, необходимо безопасно утилизировать, так как они являются сильными канцерогенными веществами. Фильтры после их периодической замены также требуют утилизации [54, 59, 70, 72, 158].

1.4 Анализ показателей качества трансмиссионного масла

Физико-химические и эксплуатационные показатели определяют область применения трансмиссионных масел. Значения показателей являются основным критерием для выбраковки масел, установления срока замены, восстановления отработанных трансмиссионных масел до уровня товарных (рисунок 1.13). Показатели качества трансмиссионных масел регламентируются ГОСТ 23652-79 и ГОСТ 17479.2 [53, 67, 74] (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Показатели качества трансмиссионного масла ТМ-3-18

Наименование показателя	Масло ТСП-15К
Обозначение по ГОСТ 17479.2	ТМ-3-18
Вязкость, класс SAE	90
Эксплуатационный класс API	GL-3
Эксплуатационный класс ГОСТ 17479.2	ТМ-3
Вязкость при 100°C, мм ² /с	14,0 – 16,0
Температура вспышки в открытом тигле, °C, min	185
Температура застывания, °C, max	-25
Кислотное число, мг КОН/1г масла, min	1,2
Зольность, %, max	0,3
Содержание активных элементов, %, min:	
	<i>P</i> 0,06
	<i>S</i> 3,0
	<i>N</i> 0,07



Рисунок 1.13 – Показатели качества трансмиссионных масел

Использование трансмиссионных масел в агрегатах трансмиссий осуществляют до достижения предельных значений показателей качества определяемых браковочными значениями (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Браковочные показатели работающего масла
ТМ-3-18

Наименование показателя	Значение
Вязкость при 100°С, мм ² /с	12,0, 17,0
Кислотное число, мг КОН/1г масла, не менее	2,0
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не менее	200
Содержание нерастворимых примесей, %, не более	3,0
Содержание воды, %, не более	0,3
Содержание активных элементов, %, не мене:	
<i>P</i>	Не регламентируется
<i>S</i>	Не регламентируется
<i>N</i>	Не регламентируется

При достижении трансмиссионным маслом хотя бы одного браковочного значения. Оно подлежит замене и сдаче на утилизацию или регенерацию.

Выводы

Анализ состояния вопроса показал, что существующие технологии очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел имеют низкую производительность и экономическую эффективность, большую энергоемкость, требуют утилизации высокотоксичных отходов и приводят к выбросу большого количества канцерогенных веществ. При этом восстановленные масла имеют заниженные эксплуатационные свойства и не могут использоваться повторно в трансмиссиях автомобилей и тракторов.

Технические средства, используемые для очистки масел, имеют ряд существенных недостатков: необходимость очистки самого оборудования; низкую эффективность очистки высоковязких масел; высокую стоимость; низкую надежность, ввиду применения на оборудовании деталей вращающихся с высокими скоростями; трудоемкость в обслуживании.

Все это подтверждает необходимость дальнейших исследований по разработке новых, высокопроизводительных, экономически

целесообразных технологий восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел, созданию эффективного и высокотехнологичного оборудования по очистке отработанных масел. Это позволит проводить регенерацию и повторно использовать отработанные трансмиссионные масла в агрегатах трансмиссий автомобилей и улучшить экологическую обстановку окружающей среды.

Поэтому целью данных исследований является повышение эффективности использования отработанных трансмиссионных масел путем разработки технологии очистки с применением гидроциклона и восстановления эксплуатационных свойств.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННЫХ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

2.1 Теоретическое обоснование способа очистки отработанных трансмиссионных масел

Для разработки эффективных способов очистки отработанных масел необходимо знать процессы старения масла при эксплуатации их в узлах, системах и агрегатах автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин. На всем протяжении использования смазочные минеральные масла претерпевает целый ряд количественных и качественных изменений. Из комплекса физических и химических процессов, составляющих старение масла, обобщенно можно выделить три основных:

- загрязнение масла продуктами износа деталей агрегатов (металлы трущихся узлов);
- накопление в масле продуктов окисления и разложения углеводородов (жидкие, полужидкие и твердые высокополимерные продукты);
- попадание и накапливание в масле примесей из окружающей среды (вода, пыль, песок).

Под действием этих процессов масла частично или полностью теряют свои основные физико-химические и эксплуатационные свойства, что является причиной их выбраковки и отправке на регенерацию или утилизацию.

Поэтому метод очистки необходимо выбирать с учетом состояния отработанного масла. Вопрос о выборе той или иной технологии очистки масла необходимо рассматривать, исходя, прежде всего, из технико-экономической целесообразности и экологической безопасности.

Все агрегаты очистных установок должны удовлетворять следующим требованиям: невысокая стоимость, технологичность конструкции, безотказность работы без обслуживания, высокая степень очи-

стки, производительность и надежность, а также простота в эксплуатации.

Исходя из вышеперечисленных требований, выбран способ очистки отработанных масел в условиях сельскохозяйственных предприятий. Предлагаемый способ включает в себя следующие операции:

1. удаление крупных загрязнений и воды с помощью предварительного отстоя и обработки масла поверхностно-активными веществами;
2. удаление нерастворимых примесей и продуктов изнашивания с помощью гидроциклона в силовом центробежном поле;
3. удаление продуктов окисления и разложения с помощью обработки масла коагулянтами с последующим отстоем;
4. ввод в очищенное масло многофункциональных присадок и при необходимости компаундирование с базовым маслом.

Так как в отработанном моторном масле содержится значительное количество воды и механических примесей, используется комбинированный способ очистки, представляющий собой сочетание центробежного способа очистки с предварительной обработкой масла поверхностно-активными веществами. Центробежный метод очистки основан на принципе разделения жидкостей различной плотности и отделения нерастворимых примесей с большей плотностью под действием центробежных сил. Установлено [62, 64], что обработка отработанного масла поверхностно-активными веществами позволяет добиться укрупнения и уплотнения мелкодисперсных частиц и продуктов окисления и термического разложения, после чего происходит их интенсивный отстой.

Основными техническими средствами, используемыми в современных технологических процессах центробежного способа очистки масла, являются различного рода центрифуги и сепараторы. Использование центрифуг и сепараторов позволяет получать высокое качество очистки масла от механических примесей. Принципиальным недостатком всех центрифуг и сепараторов является ухудшение качества очистки масла при понижении его температуры, сложность самих аппаратов и низкая надежность [75, 132]. Поэтому был сделан приоритет в выборе гидроциклона, как аппарата для очистки масла от нерастворимых примесей, имеющего ряд преимуществ: непрерывность очистки,

стабильность производительности, возможность разделения по фракциям, в зависимости от веса частиц загрязнений, простота конструкции и обслуживания [133, 137].

Очистка масла в силовом центробежном поле позволяет проводить удаление примесей с плотностью превышающей плотность очищаемого масла (твердые продукты разложения и окисления углеводов, продукты износа, песок и т.д.). Содержащиеся в масле жидкие и полужидкие высокополимерные продукты окисления и термического разложения углеводов и присадок имеют равную маслу плотность и в центробежном поле не могут быть удалены. Поэтому, после проведения центробежной очистки, необходимо удалить эти продукты с использованием коагулянтов. В виде коагулянтов могут быть использованы вещества, обеспечивающие укрупнение примесей по объему и ускоряющие их отстой. При этом использование сорбентов и сорболов в виде гранулированных материалов использовать не желательно, поскольку это ведет к увеличению отходов очистки масла и дополнительных проблем по утилизации прореагировавших веществ. Поскольку основными и наиболее вредными продуктами деструкции масла являются оксикислоты и продукты их полимеризации, очистка, в первую очередь, должна быть направлена на их удаление. Оксикислоты, содержащие в молекуле гидроксильную группу (*OH*) и карбоксильную группу (*COOH*), являются сильными кислотами и не вступают в реакции с минеральными кислотами, но безвозвратно дегидратируют при обработке щелочью с образованием нерастворимого осадка.

Смолистые вещества термически и химически нестабильны, легко окисляются и конденсируются, превращаясь при этом в асфальтены, легко сульфурются, переходя в раствор серной кислоты. На этом основан сернокислотный способ очистки топлив и масел.

Асфальтены хорошо растворяются в сероуглероде, хлороформе, бензоле, циклогексане и других органических растворителях, но не растворяются в низших алкановых углеводородах. Полярные центры, возникающие в молекуле за счёт гетероатомов и сопряжённых систем-электронов ароматических фрагментов обуславливают склонность асфальтенов к ассоциации даже в разбавленных растворах. Асфальтены химически активны, легко вступают в реакции окисления, сульфирования, галогенирования, нитрования, несколько труднее гидрируются.

Асфальтены склонны к комплексообразованию с хлоридами металлов и ортофосфорной кислотой.

Поэтому наилучшим вариантом является использование в виде коагулянтов жидких веществ в виде кислот, щелочей или их соединений.

В соответствии с вышесказанным технологический процесс очистки отработанных масел от воды и нерастворимых примесей будет иметь следующую последовательность операций (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Схема технологического процесса очистки отработанных трансмиссионных масел от воды и нерастворимых примесей

По предлагаемой технологии очистка масла осуществляется следующим образом. Отработанные масла по маркам или их смеси отстаиваются для удаления воды и крупных нерастворимых примесей. Затем осуществляется нагрев с одновременным введением щелочи с целью удаления растворенной в масле воды. В качестве поверхностно-активных веществ, для удаления из отработанных масел воды, выбраны щелочи. Для щелочной очистки трансмиссионных масел используют главным образом растворы каустической соды (едкого натрия) NaOH и реже — кальцинированной соды Na_2CO_3 , а также трикалий фосфата K_3PO_4 , тринатрий фосфата Na_3PO_4 , этаноламинов. Щелочную очистку применяют для удаления из отработанных масел кислых кислородсодержащих соединений (нафтеновых кислот, фенолов), некоторых серосодержащих соединений (сероводорода, меркаптанов), растворенной воды. В результате действия щелочи на кислые вещества образуются натриевые соли этих соединений, являющиеся щелочными отходами, которые выпадают в осадок [15]. Анализ литературных источников показал, что оптимальным временем перемешивания отработанного трансмиссионного масла со щелочью, позволяющим получить

необходимую степень обезвоживания, является период равный 0,5 часа [32, 54, 70, 114].

После этого проводится очистка масла в центробежном поле с использованием гидроциклона (гидроциклонирование) для удаления мелкодисперсных нерастворимых примесей.

После гидроциклонирования проводится обработка масла коагулянтами (кислотами) с последующим отстаем для удаления продуктов окисления и разложения углеводов, а затем обработкой щелочью для удаления низкомолекулярных кислот и оксикислот. Кроме того, реакция деструктурированных углеводов с кислотами и щелочами проходят в условиях относительно низких температур (до 20 °С) [59], что обеспечивает предотвращение дальнейшего окисления углеводов и первичных продуктов окисления и образование продуктов полимеризации (смола, асфальтов и др.) и полициклических аренов. Для кислотной очистки отработанных трансмиссионных масел используют главным образом серную H_2SO_4 и соляную HCl кислоты.

При повышенной величине щелочной или кислой среды, дополнительно может быть проведена нейтрализация очищенного масла.

Высокое качество очистки отработанного трансмиссионного масла является залогом успешного восстановления эксплуатационных свойств, поскольку если в масле остаются продукты окисления и термического разложения (оксикислоты, асфальтовые соединения), то обеспечить стабильность масла к окислению в процессе повторной эксплуатации невозможно в силу нейтрализации вводимых в него антиокислительных присадок, а также полимеризации первичных продуктов окисления.

2.2 Обоснование способа восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел

Для обоснования метода восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел необходимо учитывать межкомпонентный состав масла и основные процессы, которые вызывают изменения качественных показателей при работе в агрегатах трансмиссии [64]. В процессе эксплуатации под действием высоких температур, скоростей вращения шестерен, относительного скольже-

ния поверхностей зубьев, удельных давлений в зоне контакта в трансмиссионном масле происходят процессы окисления, термического разложения базовых углеводородов, изменения вязкости и срабатываемость находящихся в нем присадок. Отличительной особенностью трансмиссионных масел является их высокая базовая кислотность, которая образуется в результате используемых в них присадок, представляющих собой различные производные кислот фосфора. Соединения этих присадок вступают в реакцию с металлами деталей агрегатов трансмиссии и под действием различных температур образуют на поверхности трения защитные пленки [76].

В целях получения высокого противозадирного и противоизносного эффекта производители вводят в трансмиссионные масла различные присадки, содержащие в качестве активных элементов серу, фосфор и азот (приложение А) [18, 60]. Однако по химическому составу и функциональному строению присадки различных производителей могут значительно различаться. Поэтому восстановление эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел можно проводить только вводом определенных присадок. Метод компаундирования со штатными маслами в данном случае исключается, в силу возможного межкомпонентного взаимодействия различных композиций и функциональных групп, при котором может произойти снижение эффективности присадок, а именно противоизносных, противозадирных и антиокислительных свойств масла, а в некоторых случаях, полная потеря этих свойств. Для восстановления вязкости, в случае необходимости, следует использовать компаундирование с базовым маслом, которое не содержит в своем составе присадок и не вызовет межкомпонентное взаимодействие различных композиций и функциональных групп присадок, входящих в состав трансмиссионных масел [121]. Использование вязкостных присадок, для восстановления кинематической вязкости масла, в данном случае исключается, так как они обладают низкой стойкостью к нагрузкам. Это вызвано малой устойчивостью высокомолекулярных полимеров, из которых состоят данные присадки, к деструктивным воздействиям [76, 140].

Предлагаемый метод восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел будет иметь следующую последовательность операций (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 - Технологический процесс восстановления

В очищенное трансмиссионное масло будут вводиться определенные присадки для восстановления противоизносных, противозадирных и антиокислительных свойств и производится компаундирование с базовым маслом, в случае необходимости, для доведения кинематической вязкости до уровня товарного продукта. Принятие решения о вводе определенных присадок в очищенное трансмиссионное масло и необходимости компаундирования с базовым маслом основывается на результатах анализа масла по остаточным значениям основных эксплуатационных показателей, чистоты масла, необходимости восстановления определенных значений показателей и их величины.

Необходимыми свойствами для восстановления эксплуатационных свойств обладают комплексные серо-, фосфор-, азотсодержащие присадки или отдельные фосфорсодержащие и серосодержащие присадки [31, 101]. К комплексным фосфор - серосодержащим присадкам относятся продукты реакции сульфида фосфора (рисунок 2.3).

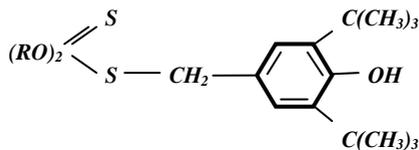


Рисунок 2.3 - Группа реакций сульфида фосфора

Наиболее часто в трансмиссионных маслах используют многофункциональные присадки, содержащие серу, фосфор и азот, предназначенные для одновременного улучшения несколько свойств масла, а именно противоизносных, противозадирных, антиокислительных и противокоррозионных. Производители присадок, в качестве химических веществ, содержащих серу, фосфор и азот обычно используют диалкилдитиокарбамиддитиофосфат (рисунок 2.4).

Многофункциональные присадки, по своим свойствам, эффективны в широком диапазоне режимов эксплуатации [13, 61]. Это про-

исходит благодаря взаимодействию активных элементов фосфора, серы и азота, входящих в состав присадок, с металлом трущихся деталей агрегатов трансмиссии, образуя защитные пленки на их поверхности и оказывая антиокислительное действие.

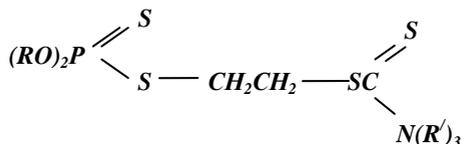


Рисунок 2.4 – Химическая формула диалкилдитиокарбамиддифосфата

Они обеспечивают снижение износа при умеренных нагрузках и низких температурах (за счет содержания фосфора, благодаря которому образуются пленки фосфида железа на поверхности трения) и усиливают противозадирный эффект при высоких температурах, скоростях и давлениях (за счет содержания серы и образования пленки сульфида железа, при тяжелых режимах работы, отличающиеся высокой твердостью и прочностью). Присутствие азота обеспечивает высокие антиокислительные и противокоррозионные свойства трансмиссионному маслу.

Таким образом, использование многофункциональных присадок в процессе восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел приведет к упрощению технологии [55].

Проведенный анализ выпускаемых присадок по их химическому составу показал, что для полного восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел необходимо использовать присадку, содержащую диалкилдитиофосфат металла, которая обеспечит повышение антиокислительных, противокоррозионных и противозадирных свойств при малых нагрузках и высоких скоростях относительного перемещения трущихся поверхностей. В качестве такой многофункциональной присадки предлагается использовать присадку ДФ-11 [33, 139, 140]. Данная присадка содержит активные добавки серы и фосфора, обеспечивающие высокие противоизносные и противозадирные свойства при высоких нагрузках и малых скоростях трения. Кроме того, для обеспечения антиокислительных свойств

необходимо использовать присадку, содержащую в качестве активного элемента азот. В виде такой присадки предлагается использовать наиболее доступную и эффективную присадку АзНИИ-11 содержащую до 3,2...3,9 % азота [60, 61, 140]. Предлагаемые присадки обладает хорошей растворимостью в масле в любых концентрациях, не вымываются водой, достаточно термически и химически устойчивы, не вызывают подавляющего действия на присадки, находящиеся в очищенном трансмиссионном масле в остаточном количестве, не ухудшают физико-химических свойств базового масла.

В случае не соответствия очищенного трансмиссионного масла по кинематической вязкости требованиям товарного масла необходимо провести ее восстановление. Для восстановления кинематической вязкости можно использовать вязкостные присадки типа ПМА «В-2». Однако практика показывает, что вязкостные присадки не стойки к высоким нагрузкам [76, 139]. Поэтому для восстановления кинематической вязкости, при необходимости, предлагается использовать базовое масло марки М-20 (ТУ 38.101523-00). Масло М-20 обладает высокой термоокислительной стабильностью и стойкостью к сдвигу [109, 147].

В качестве противопенных присадок в основном используют кремнийорганические соединения – полисилоксаны (силиконы). Механизм их действия основан на концентрации частичек силикона на поверхности пузырьков, где они вызывают быстрый разрыв в тот момент, когда пузырьки достигают поверхности масла. Силиконы не только предупреждают пенообразование, но и разрушают уже образовавшуюся пену. Данные соединения обладают высокой эффективностью даже при малой концентрации. В отечественной практике в качестве противопенной присадки широко используют полиметилсилоксан под товарным названием ПМС-200А [139, 140].

В результате проведенного анализа и исследований было выяснено [5, 15, 25, 69, 76, 101, 142, 158], что срабатываемость присадок трансмиссионного масла в процессе его эксплуатации носит незначительный характер. Кроме того, содержание противопенных присадок находится на допустимом уровне концентрации, который позволяет после восстановления обеспечивать необходимые противопенные свойства трансмиссионному маслу. Данное обстоятельство связано с

отсутствием в масле моющих присадок, а также меньшей частотой вращения деталей агрегатов трансмиссии в отличие от деталей ДВС [10, 69, 76]. Поэтому введение полного комплекса присадок, которое соответствует свежему трансмиссионному маслу, не требуется. Вследствие этого, процесс восстановления отработанных трансмиссионных масел должен включать в себя предварительный анализ очищенного масла на содержание активных элементов присадок с целью получения необходимых сведений о срабатываемости той или иной присадки, отвечающей за обеспечение тех или иных свойств и расчет ввода оптимальной концентрации присадок, обеспечивающих восстановление работавшегося компонента до первоначальных значений.

Количество вводимых присадок и их концентрация основывается на различных методах расчета. В настоящее время широко используется метод расчета по основным показателям присадки. Однако проведенный анализ показывает, что применение данного метода приводит к повышенному значению эксплуатационных показателей, в сравнении с товарными маслами, перерасходу присадок и повышению стоимости восстановления отработанных трансмиссионных масел [27, 82, 107].

Поэтому расчет о количестве ввода присадок предлагается проводить по остаточному количеству активных элементов присадок в очищенном масле. Метод расчета представляет собой проведение предварительного физико-химического анализа на содержание активных элементов присадок (сера, фосфор, азот) с целью получения данных о концентрациях содержащихся присадок в очищенном масле и степени их сработанности. Затем, по полученным данным, производится расчет о необходимом количестве ввода многофункциональных присадок, соответствующим поэлементному содержанию активных элементов, по следующему уравнению [32]:

$$Q_n = \frac{Q_{mn} \cdot (Y_n - Y_{om})}{Y_n}, \quad (2.1)$$

где Q_{mn} - количество присадки, содержащей нормативное количество активного вещества, кг; Y_n - нормативное содержание активного вещества в товарной присадке, %; Y_n - нормативное содержание актив-

ного вещества присадки в товарном масле, %; $Y_{ом}$ - остаточное содержание активного вещества присадки в очищенном отработанном трансмиссионном масле, %.

Данный метод позволит осуществлять ввод только необходимых присадок, в требуемой концентрации, которые обеспечат заданные эксплуатационные свойства восстановленному трансмиссионному маслу.

Таким образом, технология очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел (рисунок 2.5) будет включать в себя следующую последовательность операций: предварительный отстой, поступившего на восстановление отработанного трансмиссионного масла; нагрев масла в электропечах, осушка и обработка щелочью; очистка масла в гидроциклоне (гидроциклонирование); обработка масла кислотой с последующим отстоем; компаундирование очищенного масла, при необходимости с базовым маслом М-20, для восстановления кинематической вязкости и ввод многофункциональных присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 в расчетном количестве и постоянном перемешивании.



Рисунок 2.5 – Безотходная технология очистки и восстановления отработанных трансмиссионных масел методом ввода присадок и компаундирования с базовым маслом М-20

Анализ литературных источников показал, что оптимальной частотой вращения перемешивающих механических установок при вводе в очищенное масло присадок и компаундировании с базовым маслом является величина равная $60 \dots 80 \text{ мин}^{-1}$ [2, 21, 59, 76, 111].

С целью осуществления контроля и своевременного регулирования процесса очистки и восстановления эксплуатационных свойств трансмиссионного масла, на каждой ступени производства отбирают соответствующие пробы для анализа.

Присадку ДФ-11 вводят в очищенное масло первой при определенной температуре и постоянном перемешивании. Присадка АзНИИ-11 вводится второй также при определенной температуре и перемешивании. Данные условия позволят добиться хорошего растворения и перемешивания вводимых присадок с очищенным трансмиссионным маслом [15, 18, 21, 76, 127].

Продолжительность перемешивания базового масла М-20, присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 с очищенным маслом определяется путем экспериментальных исследований.

2.3 Обоснование безотходности способа очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла

Процесс ввода присадок и компаундирования с базовым маслом в очищенное масло проходит без отходов. Однако другие операции технологии протекают с образованием отходов в виде шлама, щелочных и кислотных осадков.

Процесс осушения отработанного масла протекает с образованием щелочных осадков. Отходы щелочной очистки, получаемые при очистке масел, являются ценными продуктами в производстве мылонафта и эмульсола. Образующиеся нафтеновые кислоты применяют в качестве заменителя растительных и животных жиров при изготовлении мыла. Поэтому щелочные отходы могут быть использованы в данном производстве [56, 99].

При очистке отработанного трансмиссионного масла в гидроциклоне, в качестве отходов, образуется шлам. Специализированная осушка, при себестоимости 2000 руб/т [148], позволит применять его в виде наполнителей для производства строительных материалов (шлакоблоков) и дорожном строительстве (для производства асфальта).

Этап обработки трансмиссионного масла кислотой протекает с образованием осадка, который состоит из кислого гудрона. Кислый

гудрон на 80 % состоит из дикарбоновых кислот и их производных, 20 % составляют смолисто-асфальтеновые вещества, различные сульфо-соединения. Поэтому данный нефтяной остаток можно использовать в виде компонента для пропитки шпал, добавки к котельному топливу, в дорожном строительстве в качестве связующего компонента, в виде наполнителя к консервационным смазкам [21, 153]. Предлагаемая технология, исключает использование различного рода реагентов (сорбентов и сорбойлов), которые после очистки отработанных масел представляют большую опасность для экологии и ставят задачи по их непосредственной утилизации. Проведенные исследования и анализ существующих данных показывают, что образующиеся отходы в процессе очистки отработанных трансмиссионных масел можно использовать в качестве сырья в других производствах (приложение Б). Таким образом, все образующиеся отходы, могут быть использованы во вторичном производстве в качестве различных материалов и компонентов, а предлагаемая технология очистки и восстановления может считаться безотходной.

2.4 Разработка технических средств для очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла

2.4.1 Разработка гидроциклона

В разрабатываемой технологии, для очистки отработанных трансмиссионных масел от нерастворимых примесей, предлагается использовать гидроциклон [6, 113].

Гидроциклон (рисунок 2.6) представляет собой устройство, которое включает в себя цилиндроконический корпус 1, кольцевую вставку 4, коническую диафрагму 5, входной патрубков прямоугольного сечения 7 подачи отработанного масла, патрубков для вывода очищенного масла 2, крышку цилиндрической формы 8. Тангенциально расположенный входной патрубков 7 присоединен под углом к верхней части цилиндроконического корпуса 1. Диафрагма 5 имеет наружный круговой выступ 3, необходимый для ее фиксации к корпусу 1 и располагается под крышкой 8. Патрубков для вывода очищенного масла 2

присоединен тангенциально к цилиндрической крышке 8. В нижней части конуса закреплена сменная насадка отводного отверстия 6. Движущихся частей в гидроциклоне нет. Однако, для очистки высоковязких отработанных технических масел, таких как трансмиссионных, гидроциклоны не используются и не применяются. Гидроциклоны, используемые в других отраслях промышленности, не удовлетворяют предъявляемым требованиям по качеству очистки масел от нерастворимых примесей. Для выполнения заданного условия, требуется установить зависимость содержания нерастворимых примесей в масле от конструктивных параметров и рационального технологического режима работы гидроциклона

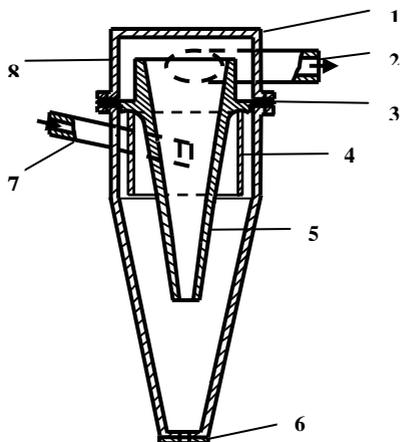


Рисунок 2.6 – Общий вид гидроциклона (пояснения в тексте).

Несмотря на простоту конструкции, работа гидроциклона (рис. 2.7) характеризуется сложной гидродинамикой процесса разделения [77, 78, 159]. Отработанное трансмиссионное масло подается тангенциально в верхнюю часть корпуса гидроциклона под давлением через входной патрубок, приобретая круговое движение и перемещаясь в коническую часть корпуса. Вследствие чего, образуется центробежная сила, превышающая в несколько раз силу тяжести, в результате которой более тяжелая фаза масла отбрасывается к стенкам корпуса гидроциклона, а затем спускается по конусной стенке вниз, откуда непре-

рывно удаляется через сменную насадку отводного отверстия в нижней части конуса. Более легкая фаза масла перемещается во внутреннем спиральном потоке, который направлен вверх, через диафрагму. Затем она попадает во внутреннюю полость крышки и через патрубок для вывода очищенного масла отводится из гидроциклона.

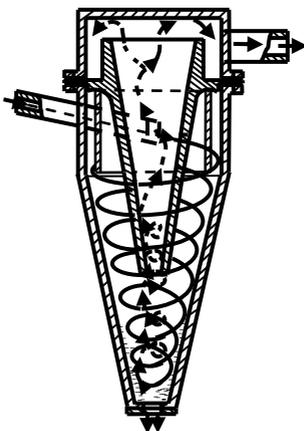


Рисунок 2.7 – Схема движения потока отработанного трансмиссионного масла при очистке в гидроциклоне

Необходимое качество очистки отработанного трансмиссионного масла достигается благодаря применению: входного патрубка подачи отработанного масла, выполненного в форме прямоугольного сечения, тангенциально присоединенного с углом наклона в верхнюю часть цилиндроконического корпуса; кольцевой вставки; конической диафрагмы и сменных насадок. Прямоугольное сечение входного патрубка, в отличие от круглого, создает ламинарность потока масла при его круговом движении в корпусе гидроциклона и позволяет получить более высокую тонкость разделения [159]. Крепление патрубка для вывода очищенного масла тангенциально к цилиндрической крышке обеспечивает снижение сопротивления движению очищенного масла при его отводе из данного устройства. Кольцевая вставка позволяет добиться повышения центробежной силы и степени очистки отработанного масла путем увеличения скорости движения частицы в пристенной области гидроциклона. Установленная, внутри корпуса гид-

роциклона, коническая диафрагма повышает качество процесса разделения масла на фазы, а используемые сменные насадки в нижней части конуса позволяют изменять отводное отверстие в оптимальных пределах.

2.4.2 Определение конструктивных параметров гидроциклона

Оптимальные конструктивные параметры и технологический режим работы гидроциклона напрямую влияют на степень очистки. По общепризнанному мнению производительность гидроциклона зависит от давления на входе в гидроциклон и ряда его конструктивных параметров, основными из которых являются диаметр гидроциклона, размеры и сечение входного отверстия, диаметры отводных отверстий и угол конической части корпуса. Для расчета производительности гидроциклона предлагаются различные эмпирические формулы [4, 8, 11, 79, 80, 134], однако надежность их невелика. В результате проведенного теоретического исследования было выяснено, что расчетные формулы, необходимые для определения производительности гидроциклона, в большинстве случаев одинаковы.

Для определения основных конструктивных параметров гидроциклона при очистке трансмиссионного масла применялась методика расчета, разработанная Р. Н. Шестовым [159]. Применение данной методики, представляет возможным создать гидроциклон для очистки высоковязких технических масел, таких как трансмиссионных. Однако при расчете гидроциклона по методике Р. Н. Шестова не учитываются силы и скорости, действующие на частицу нерастворимой примеси в потоке масла. Поэтому оптимальные конструктивные параметры гидроциклона необходимо рассчитывать, учитывая данное условие.

2.4.2.1 Силы и скорости действующие на частицу нерастворимой примеси в гидроциклоне

Очистка отработанного трансмиссионного масла в гидроциклоне происходит благодаря воздействию на частицу нерастворимой примеси основных сил (рисунок 2.8): центробежной $P_{ц}$; радиальной цен-

тростремительной P_r ; кориолисовой силы инерции P_k ; силы сопротивления P_c ; силы инерции P_u [7, 11, 72, 159].

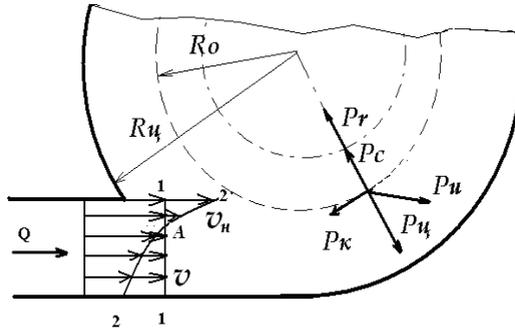


Рисунок 2.8 – Основные силы, действующие на частицу нерастворимой примеси в гидроциклоне

Если допустить, что вследствие малого размера отделяемой частицы нерастворимой примеси, она вовлекается во вращательное движение вокруг оси гидроциклона с угловой скоростью ω , то самое большое влияние на нее будет оказывать центробежная сила:

$$P_{ц} = m_{ц} \omega^2 r_{ep} = \frac{\pi d_{ц}^2 \rho_{ц} \omega^2 r_{ep}}{6} = \frac{\pi d_{ц}^2 \rho_{ц} v^2}{6 r_{ep}}, \quad (2.2)$$

где $m_{ц}$ – масса отделяемой частицы нерастворимой примеси, кг; ω – угловая скорость вращения, рад/с; r_{ep} – радиус вращения, м; $\rho_{ц}$ – плотность частицы нерастворимой примеси, кг/м³; v – линейная локальная скорость потока, м/с.

При движении частицы нерастворимой примеси в гидроциклоне, относительно вращающейся системы отсчета, на нее действует кориолисова сила инерции [72]:

$$P_{к} = 2m_{ц} \omega \overline{v_c}. \quad (2.3)$$

В связи с тем, что скорость $\overline{v_c}$ меняется в сторону центробежной силы $P_{ц}$ незначительно, кориолисовой силой инерции в данном случае, пренебрегаем.

Сила сопротивления, возникающая благодаря трению среды о частицу, выражается следующим уравнением [79]:

$$P_c = \frac{\xi S_v \rho_v v_c^2}{2}, \quad (2.4)$$

где ξ – коэффициент сопротивления формы частицы; S_v – площадь сечения частицы, м^2 .

Противодействующая силе инерции и генерируемая частицей, радиальная центробежная сила равна [159]:

$$P_r = \frac{3\mu Q d_v}{2hr}, \quad (2.5)$$

где μ – вязкость трансмиссионного масла, $\text{мм}^2/\text{с}$; Q – производительность гидроциклона, $\text{м}^3/\text{ч}$; h – высота воздушного столба в гидроциклоне, м .

Возникновение силы инерции P_u в гидроциклоне вызвано изменением скорости частицы, а именно переменной профиля скорости движения, в начальный момент времени, при входе через питающий патрубок. Отработанное трансмиссионное масло подается в гидроциклон с начальной скоростью v_i , которая впоследствии меняет профиль по линии 1–1 (рисунок 2.8).

Подача трансмиссионного масла в гидроциклон через входной патрубок, имеющего угол наклона к горизонтальной оси, вызывает перемену профиля скорости v по линии 2–2 (рисунок 2.8) и она имеет зависимость вида [159]:

$$vr^n = const, \quad (2.6)$$

где n – показатель степени.

Значительное количество исследователей считает $n = 1$ [1, 11, 79, 134, 159].

Скорость отделения частиц нерастворимой примеси \overline{v}_c из потока отработанного масла соответствует уравнению [11]:

$$\overline{v}_c = \overline{v}_n - \overline{v}(r), \quad (2.7)$$

где \overline{v}_u - вектор скорости потока обработанного масла на входе через питающий патрубок, м/с; $\overline{v}(r)$ - вектор скорости частицы нерастворимой примеси по радиусу гидроциклона, м/с.

В связи с изменением скорости отделения частиц нерастворимой примеси возникает сила инерции [159]:

$$P_u = m_c \left(\frac{d\overline{v}_c}{d\tau} \right), \quad (2.8)$$

где τ - время отделения частицы нерастворимой примеси, ч.

Направление движения вектора скорости v_c постоянно меняется в зависимости от области потока масла. Если движение потока соответствует положению ниже уровня точки A , вектор скорости будет направлен к стенке гидроциклона, а если выше данной точки, то к его центру. Изменение профиля скорости приводит к несимметричному обтеканию частиц нерастворимых примесей, находящихся в потоке, 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. 2.9).

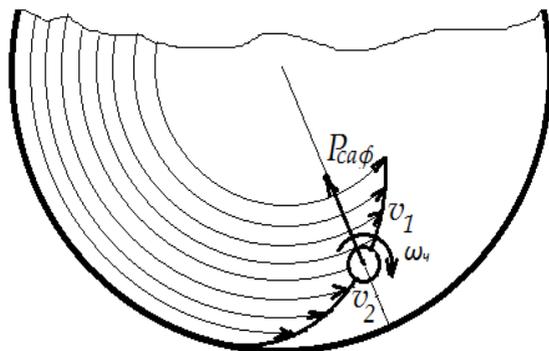


Рисунок 2.9 - Возникновение поперечной силы Сафмана

При этом на частицу действует сила, которая стремится переместить ее в поперечном направлении. Эта сила получила название силы Сафмана [71, 79]:

$$P_{саф} = \frac{1,615(v_1 - v_2)\delta^2(\omega_c)^{0,5}(v \cdot v_1)}{(v \cdot v_1)^{0,5}}, \quad (2.9)$$

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; ω_c - угловая скорость частицы, c^{-1} ; v - скорость потока, м/с.

Из уравнения (2.9) видно, что при положительной скорости сдвига сила Сафмана будет направлена в сторону оси гидроциклона, а при отрицательном ее значении противоположно направлена - в сторону стенки гидроциклона. Однако, при входе в гидроциклон частица имеет определенную скорость равную скорости входного потока $v_c = v_u$.

При попадании частицы из центра потока в пристенную область скорость частицы будет превышать скорость потока $v_c > v_1$, и поперечная сила $P_{саф}$ будет перемещать частицу к стенке. Напротив, при отрыве частицы от стенки она будет отставать от потока $v_c < v_1$, и поперечная сила $P_{саф}$ будет перемещать ее в центр потока и препятствовать осаждению (рисунок 2.10).

Соответственно центробежная сила, действующая на частицу нерастворимой примеси в потоке гидроциклона, будет изменяться по радиусу гидроциклона в зависимости от скорости сдвига потока и нахождения частицы в потоке.

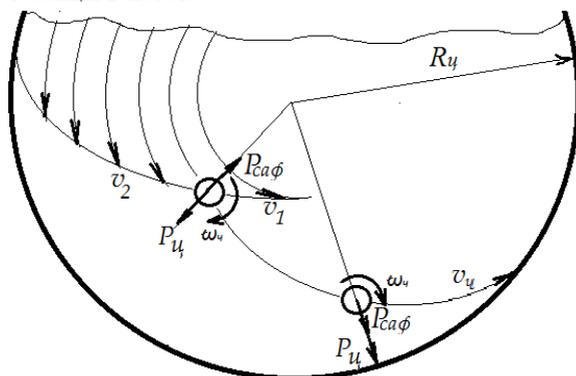


Рисунок 2.10 - Изменение направления поперечной силы Сафмана в зависимости от положения частицы в потоке масла

При выполнении условия (рис. 2.10):

$$v_u > U_1 \quad P'_u = P_u + P_{саф}, \quad \text{при } v_u < U_1 \quad P'_u = P_u - P_{саф} \quad (2.10)$$

Таким образом, для увеличения центробежной силы и повышения степени очистки отработанного трансмиссионного масла необходимо выполнить условие увеличения скорости движения частицы в пристенной области гидроциклона. Это может быть обеспечено ограничением входного потока кольцевой вставкой в цилиндрической части гидроциклона в месте входа очищаемого трансмиссионного масла в гидроциклон (рис. 2.11).

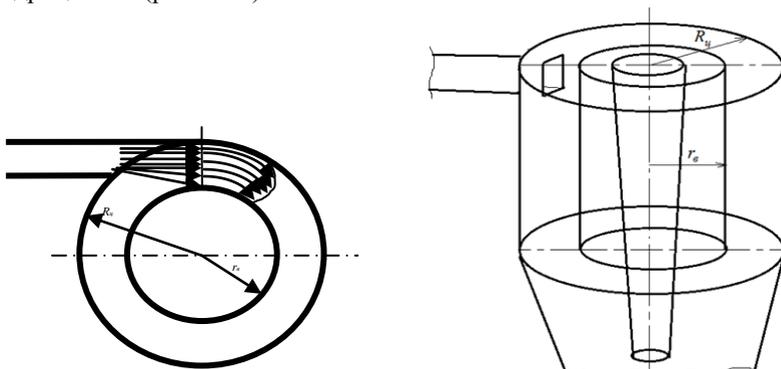


Рисунок 2.11 – Схема размещения кольцевой вставки в гидроциклоне

В результате действия всех перечисленных сил, скорость движения частицы нерастворимой примеси, в заданной точке гидроциклона, складывается из трех составляющих скоростей (рис. 2.12): v_t - тангенциальной, v_r - радиальной и v_z - вертикальной.

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 из тангенциальной v_t и радиальной v_r скоростей (рис. 2.12).

Тогда уравнение движения частицы нерастворимой примеси в потоке отработанного масла, в плоскости, перпендикулярной оси гидроциклона, может быть записано следующим образом:

$$m_q \frac{d^2 r}{dt^2} = m_q \left(\frac{\rho_q}{\rho_m} - 1 \right) \frac{v_t(r)}{r} - \mu \left(\frac{dr}{dt} - v_r(r) \right) + \xi(t), \quad (2.11)$$

где $v_t(r)$ – функция, представляющая распределение тангенциальной составляющей скорости частицы нерастворимой примеси в потоке масла; $v_r(r)$ – функция, представляющая распределение радиальной составляющей скорости частицы нерастворимой примеси в потоке масла; $\xi(t)$ – функция времени, представляющая компонент скорости, вызванный столкновениями частиц нерастворимой примеси и затруднительностью их движения.

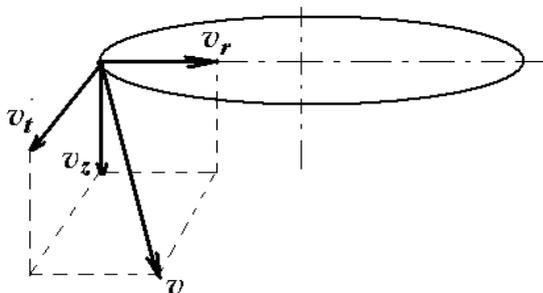


Рисунок 2.12 – Составляющие скорости движения частицы нерастворимой примеси в гидроциклоне

Если допустить противоположную пропорциональность тангенциальной $v_t(r)$ и радиальной $v_r(r)$ составляющей скорости трансмиссионного масла радиальной координате, при положении отсутствия относительного перемещения частицы нерастворимой примеси в окружном направлении и ускорения их при радиальном движении и рассчитав значение силы сопротивления по линейному закону Стокса, уравнение (2.11) может быть записано:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{d_q^2 \left(\frac{\rho_q}{\rho_m} - 1 \right) A^2}{18v_c} \frac{1}{r^3} - \frac{\gamma}{r} + \frac{\xi(t)}{3\pi d_q \rho_q v_c}, \quad (2.12)$$

где ρ_m - плотность трансмиссионного масла, кг/м³; A – коэффициент, характеризующий конструктивные параметры гидроциклона [79]:

$$A = v_t R_t, \quad (2.13)$$

где v_t – тангенциальная скорость движения частицы на заданном участке, м/с; R_t – радиус, соответствующий значению $v_t = const$, м; γ – коэффициент, характеризующий пропускную способность гидроциклона [79].

$$\gamma = A \left(\frac{d_{\text{вх}}}{8HR_t} - 4C^2 \right), \quad (2.14)$$

где $d_{\text{вх}}$ – диаметр входного патрубка гидроциклона, м; H – высота конической части корпуса гидроциклона, м; C – параметр, учитывающий зависимость производительности гидроциклона от его высоты [159].

$$C = \frac{Q}{2\pi L}, \quad (2.15)$$

где Q – производительность гидроциклона, м³/ч; L – расстояние от сливного отверстия до верхней части диафрагмы, м.

Предположив, что функция $\xi(t)$, учитывающая случайное изменение скорости, определяется функцией времени нахождения частицы в гидроциклоне, уравнение (2.12) может быть представлено одномерной плотностью вероятности распределения частиц в потоке очищаемого масла $W(t, r)$. А величина $W(t, r)dr$ будет учитывать относительное количество частиц нерастворимой примеси, находящихся в определенном периоде времени t в профиле $r+dr$. Тогда функция $W(t, r)$ может отражать концентрацию частиц в заданный момент времени в рассматриваемом сечении и определяться по уравнению:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(- \left(\frac{1}{r^3} - \frac{c}{r} \right) W + \frac{1}{2a} \frac{\partial W}{\partial r} \right), \quad (2.16)$$

где W – концентрация частиц нерастворимых примесей, %.

с соответствующим уравнению коэффициентом a , характеризующим расходные свойства гидроциклона [159]:

$$a = \frac{\pi^2 \delta_v^4 \rho_m v_c \left(\frac{\rho_v}{\rho_m} - 1 \right) A^2}{2R_t^2 b}, \quad (2.17)$$

и коэффициентом c , характеризующим геометрические параметры гидроциклона [159]:

$$c = \frac{18v_c R_y^2 \left(A \frac{d_e^2}{8L_s R_t} - 0,014 \right)}{\delta_v^2 \left(\frac{\rho_v}{\rho_m} - 1 \right) A^2}, \quad (2.18)$$

где d_e – диаметр входного патрубка, м; L – высота конической части рассматриваемого сечения, м; R_t – радиус нахождения частицы в плоскости, перпендикулярной оси гидроциклона, где $v_t=0$.

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

$$r = R_y \text{ и } r = r_{\text{в}} \quad (2.19)$$

соответствующие радиусу кольцевой части вставки, унос частиц в сливное приспособление может быть записан в виде:

$$\bar{G}(\bar{t}, \bar{r}) = \left[- \left(\frac{1}{\bar{r}^3} - \frac{\bar{c}}{\bar{r}} \right) \bar{W} + \frac{1}{2a} \frac{\partial \bar{W}}{\partial \bar{r}} \right], \quad (2.20)$$

и определяться зависимостью вида:

$$S_{\text{в}}(\bar{t}) = \frac{1}{2a} \int_0^{\bar{t}} \bar{G}(\bar{t}, \bar{r}) \Big|_{r=r_{\text{в}}} d\bar{t}. \quad (2.21)$$

Таким образом, степень очистки отработанного трансмиссионного масла, которая характеризуется количественным содержанием частиц нерастворимых примесей, удаляемых через нижнее сливное отверстие, будет определяться временем t нахождения частицы в гидроциклоне и радиусом зоны кольцевой вставки $r = r_{\text{в}}$, обеспечивающей снос частиц к стенкам гидроциклона.

Сделав допущение, что $\frac{\partial W}{\partial t} = 0$ и применив в силу граничных

условий (2.20), получим:

$$W = \Pi r^{2a}, \quad (2.22)$$

где Π – постоянная величина, учитывающая стационарность движения потока масла в цилиндрической части гидроциклона [11].

$$\Pi = \frac{2a+1}{1-r^{2a+1}}. \quad (2.23)$$

Тогда, количество уносимых в сливное отверстие частиц может быть выражено:

$$S_g(\bar{t}) = \int_{R_g}^{\bar{r}_g} \bar{W} d\bar{r} = \frac{R_g^{2a+1} - r_g^{2a+1}}{1 - r_g^{2a+1}}. \quad (2.24)$$

При этом время нахождения частицы будет определяться [79]:

$$t = \left(\frac{d_{\min}^2 \left(\frac{\rho_g}{\rho_m} - 1 \right) v_i^2}{18v_c} - c \right) \frac{1}{R_g^2}. \quad (2.25)$$

Таким образом, степень очистки характеризуется функцией с учетом изменения радиуса кольцевой вставки во входящий поток масла и временем нахождения частицы в гидроциклоне.

2.4.2.2 Определение конструктивных параметров гидроциклona

Для определения конструктивных параметров гидроциклona необходимо задаться минимально необходимым размером отделяемой частицы нерастворимой примеси [159].

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{9\mu Q}{\pi v_i h \rho_g}}, \quad (2.26)$$

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

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

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{9\mu Q}{\pi v_i L \rho_g}}, \quad (2.27)$$

Учитывая, что процесс отделения частиц в гидроциклоне осуществляется в результате спиралеобразного движения потоков, воспользуемся условием наложения спиральных потоков:

$$\frac{\omega_1}{Q_1} = \frac{\omega_2}{Q_2} = \frac{\omega_1}{Q_1 + \frac{Q_2 z}{L}}, \quad (2.28)$$

где Q_1 и Q_2 – расход масла, соответственно, через нижнее и верхнее выходные отверстия, м³/ч; z – координата расположения радиального слива по высоте гидроциклона.

Тогда, угловая скорость сливного потока масла составит:

$$\omega_2 = \omega_1 \left(1 + \frac{Q_2 z}{Q_1 L} \right), \quad (2.29)$$

а величина тангенциальной скорости в месте радиального слива:

$$v_t(z) = \omega_1 \left(1 + \frac{Q_2 z}{Q_1 L} \right) R_y, \quad (2.30)$$

Подставив известные величины зависимостей параметров, и проинтегрировав по высоте перемещения спирального потока, получим:

$$v_t(z) = \frac{2Q_1 n}{L r_g} \left(1 + \frac{Q_2 z}{Q_1 L} \right) R_y, \quad (2.31)$$

где n – частота вращения потока, с⁻¹.

При этом, частота вращения потока:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\nu}{2\pi r_{ep}}. \quad (2.32)$$

где ω – угловая скорость вращения, рад/с.

Подставив значения тангенциальной скорости в формулу (2.27), получим:

$$d_{\min} = \frac{3r_g}{2(Q_1 + Q_2)n} \sqrt{\frac{\mu Q_2}{\pi L \rho_u}}. \quad (2.33)$$

Приняв L равным высоте цилиндрической части гидроциклона H_1 , длина погружения кольцевой вставки во входящий поток масла:

$$L = H_1 = \left(\frac{3r_g}{2(Q_1 + Q_2)n} \right)^2 \cdot \frac{\mu Q_2}{\pi d_{\min}^2 \rho_u}. \quad (2.34)$$

Таким образом, задавшись необходимой степенью очистки, по минимальному размеру отделяемой из потока масла частицы и произ-

водительностью гидроциклона, можно определить его конструктивные параметры.

Внутренний диаметр корпуса D является одним из важнейших геометрических размеров гидроциклона [159]:

$$D = 5d_n. \quad (2.35)$$

где d_n – диаметр входного отверстия, мм.

Диаметр входного отверстия [159]:

$$d_n = 0,017 \frac{\sqrt{Q_c}}{\sqrt[4]{H}}. \quad (2.36)$$

где Q_c – производительность гидроциклона, м³/ч; H – давление на входе в гидроциклон, м. вод. ст.

Размеры прямоугольного входного отверстия рассчитывают с учетом установленного многими исследователями [6, 79, 159, 161] соотношения ширины к высоте входного отверстия как $a : b = 0,4$

$$0,4b^2 = \frac{\pi d_n^2}{4}, \quad (2.37)$$

$$b = \sqrt{\frac{\pi d_n^2}{1,6}}, \quad (2.38)$$

$$a = 0,4b. \quad (2.39)$$

Угол наклона входного патрубка в цилиндрическую часть гидроциклона [72]:

$$\varphi = \arctg \frac{b}{\pi D}. \quad (2.40)$$

Расчет значения диаметра нижнего выводного отверстия диафрагмы производят путем преобразования уравнения производительности гидроциклона [159]:

$$Q = 3600 \psi D d_n \sqrt{qH}, \quad (2.41)$$

где ψ – коэффициент производительности, учитывающий устройство конструкции гидроциклона; d_n – диаметр нижнего выводного отверстия диафрагмы, м; q – ускорение свободного падения, м/с².

Угол конуса α принимаем равным 15°. По мнению большинства исследователей, дальнейшее увеличение угла конуса ухудшает качест-

во очистки, а уменьшение приводит к нецелесообразному увеличению конструктивных размеров [72, 79, 159].

При значении угла конуса конической части гидроциклона более 10° в формулу вводится дополнительный коэффициент [7, 11]:

$$\frac{0,81}{\alpha^{0,2}}, \quad (2.42)$$

где: α - угол конуса конической части корпуса гидроциклона, рад.

Формула для расчета производительности гидроциклона позволяет определить диаметр нижнего сливного отверстия [11]:

$$Q = 7776Dd_n\sqrt{H}. \quad (2.43)$$

Тогда диаметр нижнего выводного отверстия диафрагмы:

$$d_n = \frac{Q}{7776D\sqrt{H}}. \quad (2.44)$$

Диаметр нижнего сливного отверстия определяется из формулы [159]:

$$d_c = \frac{d_n}{1,4}. \quad (2.45)$$

Диаметр патрубка для вывода очищенного масла [159]:

$$d_{\text{выг}} = 0,31D. \quad (2.46)$$

Диаметр верхнего выводного отверстия диафрагмы [159]:

$$d_g = 0,4D. \quad (2.47)$$

Длина погружения диафрагмы в цилиндрическую часть гидроциклона [159]:

$$L_{\text{ц}} = 1,8D. \quad (2.48)$$

Высота крышки гидроциклона [11]:

$$H_{\text{кр}} = 0,55D. \quad (2.49)$$

Длина погружения диафрагмы в крышку гидроциклона [159]:

$$L_{\text{к}} = 0,38D. \quad (2.50)$$

Высота диафрагмы определяется из соотношения [159]:

$$H_o = L_{\text{ц}} + L_{\text{к}}. \quad (2.51)$$

Высота конической части гидроциклона вычисляется по уравнению:

$$H_{\text{к}} = (0,5D \cdot \text{tg}82,5^\circ) - (0,5d_c \cdot \text{tg}82,5^\circ). \quad (2.52)$$

Высота сменной насадки [159]:

$$H_n = 0,2D. \quad (2.53)$$

Таким образом, высота гидроциклона определяется по формуле:

$$H_z = H_{кр} + H_1 + H_k + H_n + 2T_z. \quad (2.54)$$

где T_z – толщина стенок гидроциклона, мм.

Данные расчетов основных конструктивных параметров гидроциклона представлены в таблице 2.1

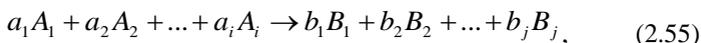
Таблица 2.1 – Конструктивные параметры гидроциклона

Конструктивный параметр	Значение
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

Представленные формулы позволяют рассчитать основные конструктивные параметры гидроциклона с необходимым качеством очистки и размером отделяемых частиц нерастворимых примесей.

2.4.3 Обоснование средств восстановления эксплуатационных свойств

Процесс восстановления эксплуатационных свойств отработанных масел методом компаундирования с присадками и товарным маслом, является гомогенной реакцией. Поскольку в водимых присадках и товарных маслах содержатся различные компоненты активных элементов, то реакция компаундирования может быть представлена как



где $a_1, a_2, \dots, a_i, b_1, b_2, \dots, b_j$ – стехиометрические коэффициенты активных элементов; $A_1, A_2, \dots, A_i, B_1, B_2, \dots, B_j$ – соответственно, содержание активных элементов в вводимых присадках или товарном масле и в полученном масле.

В общем виде скорость реакции по i -му активному элементу в гомогенной системе будет определяться как количество N_i -го элемента, образующееся в единице смешиваемого объёма масла за единицу времени τ :

$$t_p = \frac{dN_i}{Vd\tau}. \quad (2.56)$$

где V – объём смешиваемого масла, м^3 ; N_i – количество i -го элемента, м^3 .

При восстановлении эксплуатационных свойств вводом присадок, поскольку количество вводимых присадок несравнимо мало по сравнению с восстанавливаемым маслом, можно ввести допущение, что объём смешиваемого масла не меняется, и реакция протекает изохорически. Концентрация вводимой присадки и объём восстанавливаемого масла будут связаны соотношением

$$C_i = \frac{N_i}{V_{ом}}, \quad (2.57)$$

где $V_{ом}$ – объём восстанавливаемого очищенного масла, м^3 .

Восстановление эксплуатационных свойств компаундированием с товарным маслом проходит с увеличением объема масла, поэтому концентрация активного элемента и объём будут связаны соотношением

$$C_i = \frac{N_{imm}}{V_{om} + V_{mm}}, \quad (2.58)$$

где N_{imm} – количество i -го элемента в товарном масле, м^3 ; V_{mm} – объем вводимого товарного масла, м^3 .

Тогда скорость реакции компаундирования может быть выражена как изменение концентрации i -го элемента за единицу времени

$$t_p = \frac{dC_i}{d\tau}. \quad (2.59)$$

То есть, при учете изменения количества активного элемента в единицу времени в единице объема, скорость реакции может быть выражена

$$t_p = \frac{\Delta n_i}{V \cdot \Delta \tau}, \quad (2.60)$$

где Δn_i - изменение количества активного элемента в масле за время $\Delta \tau$, %; V - объем восстанавливаемого масла, м^3 .

Для интенсификации процесса компаундирования в емкости необходимо осуществить вынужденное перемещение перемешиваемого масла и присадки. Для этого используется емкость с механическими средствами перемешивания - мешалками. Наибольшее распространение получили механические средства, реализующие турбулентный режим перемешивания. Эффективность турбулентного перемешивания при реализации процесса компаундирования определяется окружной скоростью перемешиваемой среды, интенсивностью турбулентной диффузии и циркуляции.

Выбор оптимальных параметров значений перемешивающих устройств основан на теории перемешивания в жидких средах [2, 59, 81, 126, 127]:

- оценки возможности использования механического перемешивающего устройства по конструктивным соотношениям (коэффициента сопротивления мешалки, ее диаметра, количество лопастей, частоты

вращения), для создания в емкости необходимой гидродинамической обстановки;

- физико-химических свойств перемешиваемых сред, позволяющих обеспечить необходимую интенсивность их перемешивания.

При этом должны учитываться: критерий гидродинамического подобия $G_D = D/d_m$ (отношение диаметров емкости и мешалки, при прямоугольной форме принимается расстояние L между наиболее удаленными стенками емкости - $G_D = L/d_m$), тип мешалки и ее суммарное гидравлическое сопротивление $R_{вс}$:

$$R_{вс} = \sum \xi f, \quad (2.61)$$

где ξ - коэффициент сопротивления мешалки; f - площадь проекция мешалки на меридианальную плоскость емкости, m^2 .

Конструкции перемешивающего устройства с горизонтальными лопастями (лопастные, турбинные и другие), должны отвечать следующим условиям [59, 126]. Отношение высоты H заполнения емкости перемешиваемой средой к его диаметру D не должно превышать 1,3. Высота установки мешалки над днищем емкости h_0 , при отношении диаметра емкости к диаметру мешалки $\frac{D}{d_m} > 1,5$, должна быть в пределах

$(0,4...1)d_m$, но не выше $H/2$, а при $\frac{D}{d_m} < 1,5$ - в пределах

$(0,5...5)(D-d_m)$, но не выше $D/4$. Исходя из этих требований, и зная объем восстанавливаемого масла, можно задаться основными параметрами перемешиваемого устройства (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Исходные данные установки компаундирования масел

Параметр	Обозначение	Значение
1	2	3
Объем емкости компаундирования, m^3 .	V	1,5
Объем восстанавливаемого масла, m^3 .	$Q_{вм}$	1,2
Расстояние между стенками емкости, м.	L	1

Продолжение таблицы 2.2.

1	2	3
Высота заполнения емкости маслом, м.	H	1,2
Тип мешалки	<i>Горизонтальная, четырехлопостная пропеллерная</i>	-
Коэффициент сопротивления мешалки	ξ	0,56
Площадь проекции мешалки, м ² .	f	0,003
Диаметр мешалки, м.	d_m	0,6
Частота вращения мешалки, мин ⁻¹ .	n_m	78
Коэффициент расхода мешалки	k	0,0028
Плотность масла, кг/м ³ .	ρ	960
Кинематическая вязкость перемешиваемого масла, мм ² /с.	γ	17
Массовая доля присадок, кг.	q	60
Высота установки мешалки над днищем, м.	h_0	0,42
Суммарное гидравлическое сопротивление	$R_{\text{сc}}$	0,017
Критерий гидродинамического подобия	G_D	1,66

Основным показателем качества перемешивания взаимно растворимых жидкостей [1, 2, 127] является время достижения заданной степени однородности перемешиваемой среды (время гомогенизации). Под степенью однородности восстанавливаемого масла η в емкости через время τ , после начала перемешивания, понимается отношение:

$$\eta = \frac{C_\tau}{C_{\text{ср}}}, \quad (2.62)$$

где C_τ - минимальное значение массовой концентрации распределяемого активного элемента присадки в объеме масла через время τ после

начала перемешивания, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_{cp} - среднее значение массовой концентрации активного элемента присадки, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$C_{cp} = \frac{q}{V}, \quad (2.63)$$

где q - масса вводимой присадки, кг ; V - объем восстанавливаемого масла в емкости, м^3 .

Приняв степень неоднородности перемешиваемого масла $0,7 \leq \eta < 1$ и выполнение условия, что общее гидродинамическое сопротивление $R_{\text{гн}} \leq 0,1 LH$, время гомогенизации рассчитывается по формуле [127]:

$$\tau_{\eta} = \tau_o e^{2,25(\eta - \eta_o)} \quad (2.64)$$

где τ_o - время достижения степени однородности перемешиваемого масла,

$$\tau_o = \frac{2,04Vr_p(G_D^2 - r_M^2)}{G_D^4 q}, \quad (2.65)$$

где r_p - радиус раздела перемешиваемого масла и присадки при перемешивании, м ; r_M - радиус мешалки, м ; q - циркуляционный расход перемешиваемого масла, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$r_p = \frac{2r_M}{d_M} = \frac{2 \cdot 0,3}{0,6} = 1\text{м}, \quad (2.66)$$

$$q = k^2 n d_M^3 = 0,0028^2 \cdot 78 \cdot 0,6^3 = 0,00013 \text{м}^3 / \text{с}. \quad (2.67)$$

$$\tau_{\eta} = \frac{2,04 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot (1,66^2 - 0,3^2)}{1,66^4 \cdot 0,00013} \approx 6611 \text{с} \approx 1,84 \text{ч}.$$

Таким образом, для полного смешивания очищенного отработанного масла с присадками и достижения равномерной концентрации активных элементов присадки в объеме масла, в установке с предлагаемыми конструктивными параметрами, перемешивание необходимо проводить в течение 1,84 ч.

Процесс компаундирования может быть представлен в виде моделей структуры потоков состоящих из множества однотипных элементов, простейшими из которых являются ячейки идеального смешения.

ния. Каждая ячейка соответствует участку объема аппарата, в пределах которого градиентом концентрации можно пренебречь. Распределение времени пребывания элементов потока в каждой ячейке подчиняется экспоненциальному закону. Соединив ячейки между собой, можно построить модель структуры потоков, отвечающую действительному характеру движения жидкости. Такие структуры обладают достаточной гибкостью, конструкцию их можно легко деформировать при отражении конкретной топологии потоков и специфических макронеоднородностей содержимого аппарата, связанных с его конструктивными и технологическими особенностями [59].

Обозначив объем масла $V_a = 1$, объем вводимой присадки $V = 0,01$, зададим вероятность перехода элементов присадки, или товарного масла, из одной ячейки в другую из условия сходимости решения задачи $d = 0,05$; для упрощения расчетов примем полное число ячеек $k = 5$; относительное время процесса (отношение времени процесса к среднему времени пребывания) $t_k = 4$.

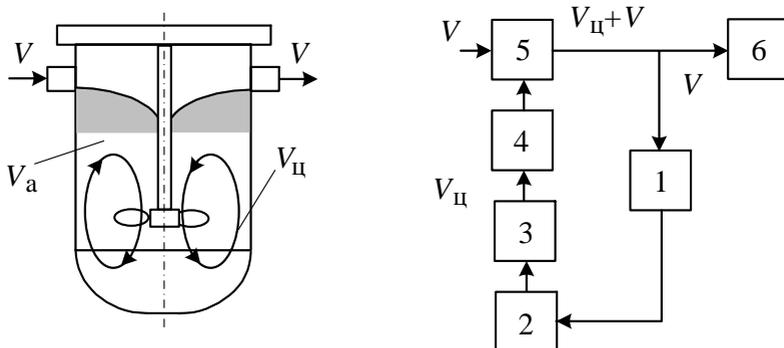


Рисунок 2.13 - Одноконтурная модель структуры потоков в емкости с механическим перемешивающим устройстве

Рассчитаем:

вероятность того, что перемешиваемое вещество (присадка или товарное масло) остается в ячейке:

$$r = 1 - d = 0,95;$$

среднее время пребывания присадки или товарного масла:

$$\tau_{cp} = \frac{V_a}{V} = \frac{1}{0,01} = 100;$$

шаг по времени, отнесенный к среднему времени пребывания в одной ячейке:

$$\Delta\theta = \frac{d}{k-1} = 0,0125;$$

число шагов по времени:

$$m = \frac{\tau_k}{\Delta\theta} = 320;$$

матрицу переходных вероятностей:

$$P = \begin{vmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 & 0 \\ 0 & 0,95 & 0,05 & 0 \\ 0 & 0 & 0,95 & 0,05 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

начальное распределение концентрации присадки или товарного масла по ячейкам:

$$k2 = 0, 1, \dots, k-1$$

$$c_{0,k2} = 0$$

$$c_{00} = 1 \quad c = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

Моделирование работы аппарата предполагает:

- перебор по времени работы: $n=0, 1, \dots, m$;
- перебор по ячейкам: $i=0, 1, \dots, k-1$;
- перебор по ячейкам, из которых возможен переход элемента в рассматриваемую ячейку аппарата:

$$j = 0, 1, \dots, k-1, \quad C_{n+j} = \sum_j^n C_{nj} \cdot P_{ji}.$$

Рассчитаем изменение концентрации присадки или товарного масла во времени по ячейкам:

$$C_{1_n}^1 = 1 - c_{n,k-1} \quad C_{2_n}^2 = 1 - c_{n,k-2} \quad C_{3_n}^3 = 1 - c_{n,k-3}$$

$$C_{4_n}^4 = 1 - c_{n,k-4} \quad C_{5_n}^5 = 1 - c_{n,k-5}$$

На основании проведенных расчетов получим уточненный график времени полного растворения присадки или товарного мала в очищенном отработанном трансмиссионном масле (Приложение И).

ВЫВОДЫ

Обоснована и разработана безотходная технология, с применением гидроциклона в качестве технического средства для очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел включающая в себя следующие технологические операции: предварительный отстой; нагрев масла в электропечах, осушка масла щелочью; очистка масла в гидроциклоне (гидроциклонирование); обработка масла кислотой с последующим отстоем; компаундирование очищенного масла, при необходимости с базовым маслом М-20 и ввод присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 в расчетном количестве и постоянном перемешивании.

В качестве технического средства для очистки отработанных трансмиссионных масел от нерастворимых примесей разработан гидроциклон, который включает в себя цилиндроконический корпус, кольцевую вставку, коническую диафрагму, входной патрубок прямоугольного сечения подачи отработанного масла, патрубок для вывода очищенного масла, крышку цилиндрической формы. Тангенциально расположенный входной патрубок присоединен с углом наклона в верхнюю часть цилиндроконического корпуса. Диафрагма имеет наружный круговой выступ, необходимый для ее фиксации к корпусу и располагается под крышкой. Патрубок для вывода очищенного масла присоединен тангенциально к цилиндрической крышке. В нижней части конуса закреплена сменная насадка отводного отверстия. Разработанный гидроциклон обладает такими преимуществами как: простота устройства и обслуживания, высокая надежность, непрерывность действия, низкая себестоимость, возможность установки в любую технологическую линию по очистке трансмиссионных масел, способность работать как отдельное техническое средство.

Теоретически обоснована взаимосвязь центробежной силы и степени очистки отработанного трансмиссионного масла от скорости движения частицы в пристенной области гидроциклона. Получены

аналитические зависимости угловой скорости частицы нерастворимой примеси возле оси гидроциклона и изменения центробежной силы, действующей на частицу, от условий ограничения входного потока масла, позволяющие определить оптимальные конструктивные параметры гидроциклона. Определена теоретическая зависимость содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от давления на входе в гидроциклон, влияющего на его производительность, и длины погружения кольцевой вставки в поток очищаемого масла.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

С целью установления эффективности очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла, а также исследования возможности использования восстановленного трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ, была разработана программа исследований, включающая в себя:

- лабораторные исследования технологических режимов восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел, определение конструктивных параметров и технологических режимов работы гидроциклона, эксплуатационных свойств восстановленных трансмиссионных масел на соответствие их требованиям соответствующих госстандартов и технических условиям;

- производственные исследования процесса восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел в производственных условиях с использованием гидроциклона;

- сравнительные эксплуатационные исследования трансмиссий (коробки перемены передач, среднего и заднего ведущих мостов) автомобилей КамАЗ, работающих на штатном трансмиссионном масле ТСП-15К и масле, восстановленном по предлагаемой технологии с использование гидроциклона [110, 120].

В качестве объекта очистки и восстановления было выбрано трансмиссионное масло ТСП-15К (ГОСТ 23653-79) производства ОАО «Газпромнефть Омского НПЗ», работавшее в коробках перемены передач, средних и задних мостах автомобилей КамАЗ. Данное трансмиссионное масло одобрено ОАО «КАМАЗ», ОАО «Автодизель» (ЯМЗ) и применяется для заправки агрегатов трансмиссии автомобилей КамАЗ с 1979 года (приложение В). Трансмиссионное масло ТСП-15К состоит из пакета присадок улучшающих противозадирные, противоизносные, низкотемпературные, вязкостные, антиокислительные и антипенные свойства, содержащих до 18 % серы, до 1,8 % фосфора, и до 1,5 % азота (Приложение А). Масло ТСП-15К является наиболее часто используемым в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ на предприятиях АПК [10, 29, 49, 94].

3.2 Методика проведения исследований технологических режимов очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла

Методика проведения исследований технологических режимов очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла предусматривала: исследования по определению необходимого вида щелочного соединения для осушения масла; определению температуры нагрева масла и времени выдержки масла со щелочью; определению необходимого вида кислотного соединения; определению температуры нагрева масла и времени обработки кислотой; определению необходимого количества и режимов ввода присадок в очищенное масло; определению режимов компаундирования с базовым маслом М-20 [32, 110].

Определение вида щелочного соединения.

Определение проводили путем обработки отработанного трансмиссионного масла NaOH , кальцинированной содой Na_2CO_3 , трикалий фосфатом K_3PO_4 , тринатрий фосфатом Na_3PO_4 . Перед проведением исследований, а также после выдержки отработанного масла со щелочью, определяли кинематическую вязкость, содержание воды, щелочное и кислотное числа.

Определение температуры нагрева и времени выдержки со щелочью.

Для выбора оптимальной температуры нагрева и времени выдержки масла при щелочной осушке, отработанное трансмиссионное масло нагревалось от 20 до 80 °С с интервалом в 10 °С и выдержкой масла со щелочью от 1 до 12 часов. Отбор проб масла, для проведения анализа, производился через один час.

Определение вида кислотного соединения.

Для подбора вида кислотного соединения руководствовались следующими критериями: невысокая стоимость, малый расход используемого вещества, высокая интенсивность контактирования восстанавливаемого масла с веществом. В результате для исследований были выбраны серная H_2SO_4 и соляная HCl кислоты. Обработку отработанного масла проводили путем введения выбранных кислот в концентрации 0,5 % от объема масла, при постоянном перемешивании.

Затем масло подвергалось отстою, для осаждения продуктов окисления, смолисто-асфальтовых веществ, продуктов разложения присадок в течение двух часов. Перед началом проведения исследований и по окончании технологической операции из емкости производился отбор проб для проведения анализа на содержание в масле нерастворимых примесей, уровня кинематической вязкости и кислотного числа.

Определение температуры нагрева и времени обработки кислотой.

Для определения оптимальных режимов очистки отработанного трансмиссионного масла, а именно температуры нагрева и времени обработки кислотой, масло подвергалось нагреву от 20 до 80 °С с интервалом в 10 °С в течении времени нагрева от 1 до 12 часов. Отбор проб очищаемого масла, для проведения анализа, производился через один час.

Определение режимов ввода и количества многофункциональных присадок.

Экспериментальные исследования по вводу необходимого количества присадок проводили расчет методом (формула 2.1) на основании результатов анализа остаточных значениях активных элементов присадок в очищенном трансмиссионном масле.

Для определения температуры ввода присадок, а также времени перемешивания, очищенное масло нагревали от 20 до 100 °С с интервалом в

10 °С. В течении промежутка времени от 0,5 до 4,5 часов отбирались пробы для проведения анализа через каждые 0,5 часа.

Определение режимов компаундирования с базовым маслом.

Определение рациональных режимов компаундирования включало в себя установление температуры нагрева очищенного масла от 20 до 100 °С с интервалом в 10 °С. В течении промежутка времени от 0,5 до 4,5 часов отбирались пробы масла для проведения анализа через каждые 0,5 часа.

3.3 Методика проведения исследований гидроциклона

Для проведения лабораторных исследований гидроциклона, как технического средства для очистки отработанных трансмиссионных

масел, на базе «Ульяновской ГСХА имени П. А. Столыпина» (Ульяновская область), с участием автора, была разработана и создана лабораторная гидроциклонная установка (рис. 3.1).

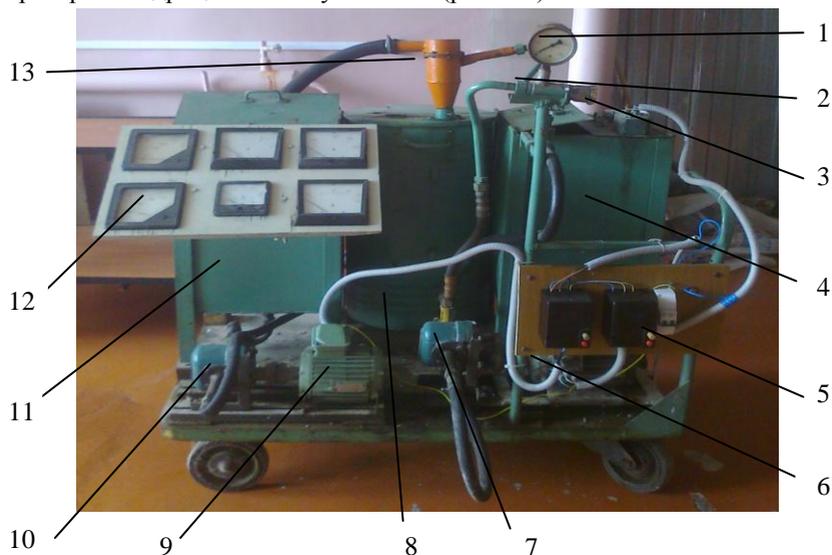


Рисунок 3.1 – Лабораторная гидроциклонная установка для очистки отработанных трансмиссионных масел: 1 - манометр; 2 – гидравлический дроссель марки ДР - 70; 3 - электротэн; 4 - резервуар для нагрева масла; 5 - электрический щит; 6 - двигатель мощностью 1.5 кВт; 7 - насос НШ - 32; 8 - резервуар для слива грязного масла; 9 - двигатель мощностью 1.3 кВт; 10 - насос НШ - 10; 11 - резервуар для слива чистого масла; 12 – система контрольных приборов; 13 – существующий гидроциклон.

Установка состоит из: мобильной площадки, на которой установлены 3 емкости, объемом в 90 литров каждая; две насосные установки с насосами НШ-10 и НШ-32; два электродвигателя мощностью 1,3 и 1,5 кВт для привода насосных установок; трубопроводов и запорной арматуры для налива и слива трансмиссионного масла; гидроциклон; гидравлический дроссель-расходомер марки ДР-70, для осуществления регулировки давления масла на входе в гидроциклон;

электротэнов для нагрева масла; манометр для контроля давления подачи трансмиссионного масла; электрический щит для включения и выключения установки; система контрольных приборов для контроля процесса очистки масла. Резервуары, смонтированные на установке, необходимы для нагрева отработанного трансмиссионного масла, слива чистого и грязного масла.

Исследования проводились на предлагаемом и существующем гидроциклонах, которые были рассчитаны и изготовлены по размерам, определенным с помощью предлагаемой и типовой методик (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 - Предлагаемый (а) и существующий (б) гидроциклоны

Исследования заключались в определении зависимости содержания нерастворимых примесей в выходном потоке для чистого масла от давления входного потока очищаемого масла и глубины погружения кольцевой вставки в поток масла.

Определение оптимального конструктивного параметра и режима работы производили путем изменения давления на входе в гидроциклон при шести различных значениях от 0,2 до 0,8 МПа с интервалом в 0,1 МПа и одновременным изменением глубины погружения кольцевой вставки, при значениях от 10 до 100 мм, в поток очищаемого трансмиссионного масла.

3.4 Лабораторный анализ проб

Содержание нерастворимых примесей.

Определение содержания нерастворимых примесей проводили по ГОСТ 20684-75 [46]. Для проведения анализа использовалась шестипробирочная центрифуга ЦЛН-2, с фактором разделения, равным 7000, т.е. частотой вращения ротора 800 с^{-1} , аналитические весы ВЛА-2000 и муфельная печь (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Оборудование для определения содержания нерастворимых примесей в трансмиссионном масле

В центрифуге использовались пробирки, изготовленные из алюминия, которые тщательно промывались перед проведением анализа на ультразвуковой установке УЗУ-01 и высушивались в муфельной печи [154]. Перед каждым анализом пробирки взвешивались на аналитических весах.

Пробы масла нагревали в муфельной печи до $60 \dots 70 \text{ С}^\circ$ и встряхивали в течении $5 \dots 7$ минут с целью достижения полного перемешивания. После чего, пробирки наполняли исследуемым маслом, смешанным с авиационным бензином Б-98, в соотношении 1:4. Затем пробирки помещали в аппарат ЦЛН-2 и масло центрифугировали в течение 20 минут. После центрифугирования масло сливалось и пробирки помещались на $15 \dots 20$ минут в муфельную печь для выпаривания бензина, при температуре $105 \dots 110 \text{ С}^\circ$. Затем пробирки с нерастворимыми примесями, осевшими на дно, взвешивали на аналитических весах ВЛА-2000.

Содержание нерастворимых примесей определяли по формуле [46]:

$$X = 1 - \frac{G_m - G_n}{G_m} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где G_m – масса трансмиссионного масла, г; G_n – масса нерастворимых примесей, г.

Массу трансмиссионного масла определяли по формуле [110]:

$$G_m = G_1 - G_2, \quad (3.2)$$

где G_1 – масса пробирки с маслом, г; G_2 – масса пустой пробирки, г.

Массу нерастворимых примесей определяли по формуле [110]:

$$G_n = G_3 - G_2, \quad (3.3)$$

где G_3 – масса пробирки с нерастворимыми примесями, г; G_2 – масса пустой пробирки, г.

Содержание продуктов износа.

Содержание продуктов износа в испытуемых трансмиссионных маслах, а именно Fe, Cr, и Ni, определяли с помощью бездифракционного анализатора рентгеновского спектрального БАРС-3, позволяющего определить с высокой точностью химический и количественный состав примесей по методике № ФР 1.37.2006 № 01.00169/01-07. (рисунк 3.4).



Рисунок 3.4 – Анализатор рентгеновский БАРС-3

Наличие металлов Fe, Cr и Ni в трансмиссионном масле свидетельствует о повышенном износе шестерен трансмиссии, а также первичного, промежуточного и вторичного валов КПП [4, 34, 124]. Для проведения исследований прибор БАРС-3 предварительно прогревали в течение 30 минут. Затем с фильтра снимали фоновые импульсы по третьему каналу, соответствующего металлу Fe. После чего, исследуемое трансмиссионное масло пропускали через фильтр диаметром 30 мм, который впоследствии помещался в муфельную печь и выдерживался при температуре 115 C^0 в течение 30 минут. Далее фильтр помещался в прибор БАРС-3 для снятия величины импульсов, соответствующих пробе определенному металлу.

Число импульсов, определенных в пробе трансмиссионного масла, по каналу продукта износа Fe вычисляли по следующей формуле [32]:

$$C_{np} = C_{nm} - C_{\phi}, \quad (3.4)$$

где C_{nm} – величина импульсов, определенных в пробе трансмиссионного масла; C_{ϕ} – величина импульсов фона фильтра.

Снятие импульсов по первому и второму каналу, соответствующих Cr и Ni, для проведения исследований по определению содержания продуктов износа в масле, производили аналогично снятию импульсов Fe и рассчитывали по формуле [32]:

$$C_{nрм} = C_m - C_{\phi}, \quad (3.5)$$

где $C_{nрм}$ – величина импульсов определяемого металла (Cr, Ni); C_m – величина импульсов, определенных в пробе трансмиссионного масла.

Количественное содержание продуктов износа Fe, Cr, и Ni определяли с помощью соответствующих тарифовочных графиков, которые выражают зависимость величины полученных импульсов от массового содержания металла в трансмиссионном масле (Приложение Г - Е).

Кинематическая вязкость.

Определение кинематической вязкости проводили при температуре 100°C по ГОСТ 33-2000 в термостате (рис. 3.5). При этом принимали только те отсчеты, которые отличались от среднего арифметического не более чем на 0,5 %. Общая предельная ошибка в измерении продолжительности опыта равна 0,4 с. Относительная ошибка равна 0,4 %.



Рисунок 3.5 – термостат для определения кинематической вязкости масел

Плотность.

Определение плотности трансмиссионного масла проводили при температуре 20 С° с помощью ареометров АНТ – 2 (рис. 3.6), с диапазонами измерения 830...910 кг/м³ и 910...990 кг/м³ соответственно [39]. Колба имеет термометр внизу для контроля температуры масла и шкалу плотности сверху в стеклянной трубке.



Рисунок 3.6 – Ареометры АНТ – 2 для определения плотности трансмиссионного масла

Кислотное число.

Определение кислотного числа проводили согласно ГОСТ 5985-79 [41] методом титрования кислых соединений трансмиссионного масла спиртовым раствором гидроксида калия в присутствии цветного индикатора, в качестве которого использовался нитрозиново - желтый и определении кислотного числа, выраженного в мг КОН/г (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Оборудование для определения кислотного числа в трансмиссионном масле

Приготовление спиртового раствора гидроксида калия и определение титра осуществляли в аккредитованной лаборатории нефтепродуктов (испытательная лаборатория нефти и нефтепродуктов НИ-

ТИ УлГУ - аттестат аккредитации №РОСС RU.0001.518552 от 3.08.2011 г.).

Температура вспышки.

Температура вспышки в трансмиссионном масле определялась по ГОСТ 4333-87 [40] с помощью аппарата LPO 400 (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Аппарат LPO-400 для определения температуры вспышки трансмиссионного масла

Щелочное число.

Щелочное число определяли по ГОСТ 11362 – 96 [44] с помощью иономера универсального ЭВ-74 (рис. 3.9) титрованием пробы масла соляной кислотой.



Рисунок 3.9 – Универсальный иономер ЭВ-74

Содержание воды.

Определение содержания воды в трансмиссионном масле проводили по ГОСТ 2477-65 [37] с помощью соответствующего оборудования (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Оборудование для определения содержания воды в трансмиссионном масле

Испытания трансмиссионного масла на склонность к пенообразованию состояли из трех этапов, которые проводились по ГОСТ ISO 6247-2013 [51] при температуре 24 °С, 94 °С и после оседания пены, повторно при температуре 24 °С, с помощью прибора для определения пенообразующих характеристик (рис. 3.11).

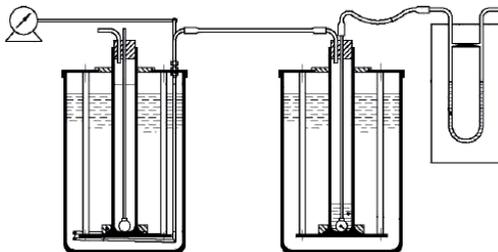


Рисунок 3.11 – Прибор для определения пенообразующих характеристик

Противоизносные и противозадирные свойства.

Исследования по противоизносным и противозадирным свойствам осуществляли согласно ГОСТ 9490-75 [42] на четырехшариковой машине трения ЧМТ – 1 (рис. 3.12).

Для исследований использовались шарики диаметром 12,7 мм (ГОСТ 3722-81) из стали ШХ – 15 (ГОСТ 801-78) с заданной нагрузкой с частотой вращения $1460 \pm 70 \text{ мин}^{-1}$. Время проведения испытаний - 60 минут.



Рисунок 3.12 – Четырехшариковая машина трения ЧМТ – 1

После проведения исследований определяли величину износа шариков. Критическую нагрузку определяли по нагрузкам, при которых происходило увеличение среднего диаметра пятен износа более чем на 0,1 мм. За нагрузку сваривания принимали наименьшую нагрузку, при которой происходила автоматическая остановка ЧМТ-1 и затем определяли индекс задира.

Содержание серы.

Содержание серы в исследуемом трансмиссионном масле определяли согласно ГОСТ Р 53203-2008 [50] с помощью рентгеновского флуоресцентного волнодисперсионного анализатора серы «Спектроскан SW-D3» (рис. 3.13).

Перед началом измерений прибор прогревали в течение 1 часа для достижения в спектрометрической камере необходимого вакуума и выхода рентгеновской трубки на рабочий режим [50, 58].



Рисунок 3.13 - Рентгеновский флуоресцентный волнодисперсионный анализатор серы «Спектроскан SW-D3»

Содержание фосфора.

Исследования по определению содержания фосфора в трансмиссионном масле проводили в испытательном центре «Нефть, нефтепродукты и химреагенты» (приложение Л) ОАО «Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке» (Аттестат аккредитации № РОСС.RU. 0001.515676 от 3 февраля 2014 года) по ГОСТ 9827-75 [43].



Рисунок 3.14 – Спектрофотометр для определения содержания фосфора в трансмиссионном масле

Массовую долю фосфора в трансмиссионном масле вычисляли по следующей формуле [43]:

$$X = \frac{C \cdot V \cdot 100}{m}, \quad (3.6)$$

где C – содержание фосфора в 1 см^3 испытуемого раствора, определенного по градуировочному графику, мг; V – объем испытуемого раствора, см^3 ; m – масса навески трансмиссионного масла, мг.

Содержание азота.

Исследования по определению содержания азота проводили также в ОАО «СвНИИ НП» (Приложение Л) по методике МВИ №224.12.044 /2007 с помощью анализатора TN-110 (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Анализатор TN-110 для определения содержания азота в трансмиссионном масле

Пробу трансмиссионного масла сжигали в реакторе прибора при температуре 900 °С в присутствии кислорода. Время проведения исследования составляло не более 10 минут.

3.5 Методика производственных исследований

С целью проверки технологии очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел в условиях производства на технологической площадке ООО «Зенит - Химмаш» (г. Димитровград) была разработана и собрана производственная установка для очистки и восстановления отработанных трансмиссионных масел (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 - Производственная установка для очистки и восстановления отработанных трансмиссионных масел

Установка, производительностью 1000 кг в смену, состоит из (рис. 3.17): резервуар для сбора отработанного трансмиссионного масла с пункта приема (1); две электрические печи, имеющие номинальную мощность 30 кВт и объем по 1200 кг каждая (2₁, 2₂); резервуар для обработки отработанного масла щелочью (3); гидроциклон (4); резервуар для сбора грязного масла с гидроциклона (5); резервуар для сбора

очищенного масла с гидроциклона и смешивания трансмиссионного масла с кислотой (6); резервуар для ввода присадок и компаундирования с базовым маслом (7); резервуар для сбора восстановленного трансмиссионного масла (8); шестеренчатый насос НШ-32 с электродвигателем, мощностью 3 кВт (9) и четыре насоса К-4,5-3 с электродвигателями мощностью по 2,2 кВт (10, 11, 12,13); два резервуара для хранения многофункциональных присадок ДФ-11 и АзНИИ-11(14, 15); резервуар для хранения базового масла М-20 (16); электрический щит (17).

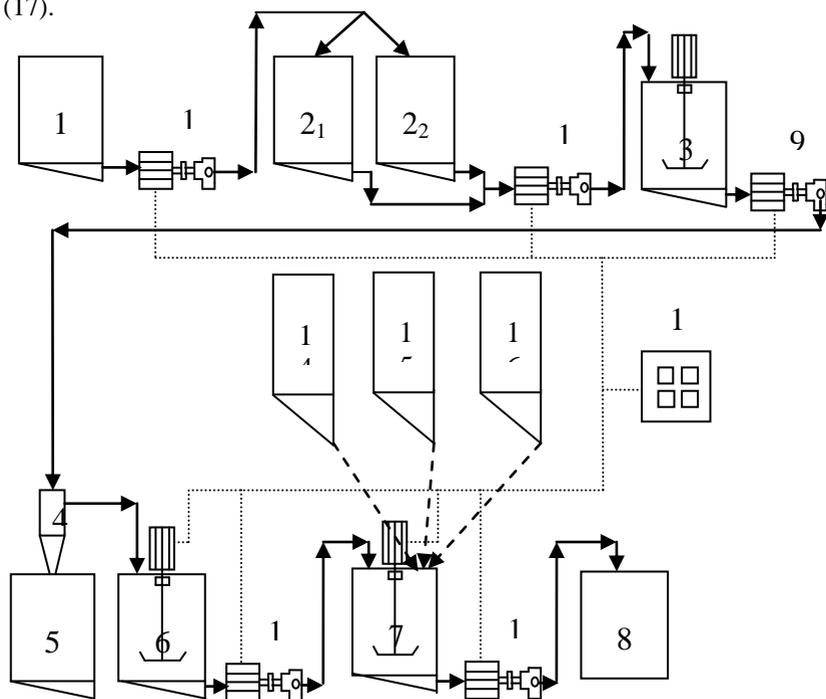


Рисунок 3.17 – Принципиальная схема установки для очистки и восстановления отработанных трансмиссионных масел (обозначения позиций в тексте)

Резервуары 3, 6, 7 снабжены механическими перемешивающими установками для перемешивания масла с присадками, базовым маслом, кислотным и щелочным соединениями.

Технологическая линия по очистке и восстановлению отработанного трансмиссионного масла работала следующим образом: предварительно собранное и отстаенное в течение 2 часов отработанное трансмиссионное масло в количестве 900 кг залито в резервуар 1. Насосом 10 масло нагнетали в электрические печи 2₁ и 2₂ для нагрева до температуры 70...80 °С. Затем насосом 11 отработанное масло перекачивали в резервуар 3 для обработки щелочью. После чего, нагретое масло перемешивалось со щелочью в течение 30 минут, при частоте вращения механической перемешивающей установки 60...80 мин⁻¹. Далее отработанное масло подвергалось щелочной осушке Na₃PO₄ в течение трех часов при температуре масла – 70...80 °С. Объем вводимого щелочного соединения составил 4,5 кг с учетом необходимой концентрации в 0,5 %.

Далее масло насосом 9 подавалось в разработанный гидроциклон 4 при давлении 0,4 МПа. После проведения гидроциклонирования, чистое масло, в количестве 792 кг, сливалось в резервуар 6 для сбора очищенного масла и перемешивания с кислотой, а грязное в резервуар 5. Суммарный объем вводимого кислотного соединения (H₂SO₄) в очищенное масло составил 3,95 кг при необходимой концентрации 0,5%. Затем масло перемешивалось в течение трех часов, механической перемешивающей установкой, при температуре 70...80 °С и подвергалось операции отстоя.

Отобранные пробы масла исследовались по следующим показателям: кинематическая вязкость, кислотное и щелочное число, содержание воды и нерастворимых примесей, температура вспышки. Затем очищенное трансмиссионное масло перекачивали насосом 12 в резервуар 7 для ввода присадок и компаундирования с базовым маслом. После выявления необходимости восстановления кинематической вязкости, производили компаундирование очищенного масла с базовым М-20, которое находилось в резервуаре 16, при температуре 80-90 °С, времени перемешивания - 4 часа. Для восстановления кинематической вязкости очищенного трансмиссионного масла до уровня штатного ТСП-15К было введено 87,1 кг базового масла М-20 к имеющемуся объему.

Затем вводилось расчетное количество присадок ДФ-11 и Аз-НИИ-11.

Для 792 кг очищенного трансмиссионного масла потребовалось ввести присадку ДФ-11 в концентрации 0,21% и АзНИИ-11 – 0,01% или 1,66 кг и 0,08 кг соответственно. Ввод многофункциональных присадок производился при температуре 80 - 95 °С с дальнейшим перемешиванием в течении 4 часов. Перемешивание трансмиссионного масла с присадками и базовым маслом осуществлялось с помощью лопастного активатора с частотой вращения 60...80 мин⁻¹. После каждой операции проводился отбор проб для контроля показателей качества очистки и восстановления эксплуатационных свойств масла.

3.6 Методика сравнительных эксплуатационных исследований

Для подтверждения возможности использования восстановленного отработанного трансмиссионного масла в трансмиссиях автомобилей и контроля изменения показателей качества проводились сравнительные эксплуатационные исследования. При этом соблюдались:

- одинаковые условия обслуживания автомобилей;
- идентичные условия эксплуатации;
- единый пробег испытуемых автомобилей.

Эксплуатационные исследования проводились на 10 автомобилях КамАЗ. Подготовку испытуемого трансмиссионного масла, замену и взятие проб производили на территории предприятий.

Эксплуатационные исследования осуществляли на двух группах автомобилей КамАЗ:

- первая группа включала в себя пять автомобилей КамАЗ, в агрегатах трансмиссий которых использовалось штатное трансмиссионное масло марки ТСП – 15К (ГОСТ 23652-79);

- вторая группа включала в себя также пять автомобилей КамАЗ, в агрегатах трансмиссий которых использовалось отработанное восстановленное трансмиссионное масло.

Перед началом исследований проводилась подготовка систем трансмиссии (коробок перемены передач, среднего и заднего ведущих мостов): промывка промывочным маслом, прочистка клапанов.

Отбор проб проводился с интервалом пробега в 6000 км. За период сравнительных эксплуатационных исследований общий пробег пяти автомобилей соответствовал значению в 546100 км. Среднее зна-

чение пробега для одного автомобиля составило 54610 км., до момента замены трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссий.

3.7 Отбор и подготовка проб масел

Взятие проб производилось согласно требованиям ГОСТ 2517 – 2012 [38] в бутылки объемом 500 мл из темного стекла с притёртыми пробками.

Объем одной пробы составлял 200 мл. Количество трансмиссионного масла, которое забиралось при отборе пробы, заменялось на масло, которое изымалось на предыдущем этапе исследований.

Пробы отбирали из середины объема картера агрегатов трансмиссии и в конце рабочей смены, когда температура масла находилась в диапазоне 80...100 °С. Эти условия позволяют утверждать, что всё масло имеет равномерную концентрацию и находилось в наиболее перемешанном состоянии. Взятие проб производилось из картеров мостов и коробки перемены передач через контрольные и заливные отверстия.

Общее количество проб, необходимых для исследования определяли по формуле [154]:

$$M = \sum_{n=1}^m P_i \cdot Z_i, \quad (3.7)$$

где P_i – повторность циклов, $P_i = 1$; Z_i – количество проб, необходимых для исследования, $Z_i = 60$; m – число серий опытов, $m = 5$.

Количество проб, которое требовалось взять у одного автомобиля КамАЗ, вычислялось по формуле:

$$N_1 = P_1 \cdot Z_1 = 1 \cdot 60 = 60 \text{ проб.}$$

Тогда для пяти автомобилей количество проб:

$$M_1 = N_1 \cdot m_1 = 60 \cdot 5 = 300 \text{ проб.}$$

К данному количеству прибавляли одну пробу свежего масла и получили 301 пробу.

После взятия проб из агрегатов трансмиссии, масло анализировали по показателям качества, регламентированных ГОСТом 23652-79 и заводом-изготовителем (Приложение М). Помимо исследований по существующим показателям, проводилось определение содержания в

трансмиссионном масле продуктов износа (Fe, Cr, Ni) с помощью прибора БАРС-3.

3.8 Методика обработки результатов

Каждое значение пробы анализируемого трансмиссионного масла вычислялось как среднее арифметическое из полученных результатов от двух до пяти параллельных исследований [22, 145].

Измерение кинематической вязкости производили пять раз. Результаты измерений, не превышающие 0,5% от значения среднего арифметического числа, записывались в журнал. Общая предельная погрешность при замере времени истечения трансмиссионного масла составляла 0,4 с. Относительная

погрешность измерений составляла 0,4 %.

Содержание нерастворимых примесей определяли на аналитических весах ВЛА-2000, имеющих точность 0,0002 грамма. Поэтому точность определений составляет до 0,001 % и расхождение между параллельными исследованиями не более 0,02 %.

Кислотное число определяли с помощью микробюретки. За результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений имеющих сходимость $\pm 0,2$ %.

Содержание активных элементов металлов (Fe, Cr, Ni) производили на приборе БАРС-3, имеющего точность определения до 0,01% и расхождение между параллельными исследованиями не более 0,02%.

Содержание активного элемента присадки, а именно серы определяли с помощью рентгеновского флуоресцентного волнодисперсионного анализатора серы «Спектроскан SW-D3», имеющего собственную аппаратную погрешность не более 0,5 %. Таким образом, расхождение между двумя параллельными исследованиями составляла не более 1%.

Другие погрешности и ошибки в проведенных исследованиях определялись на основании действующих ГОСТов. С целью исключения влияния допустимых погрешностей и ошибок на определяемые значения применялся способ наименьших квадратов [74, 151].

Вычисления корреляционной зависимости производили с помощью ЭВМ по программам парной и множественной корреляции. Исходными данными являлись числа членов в выборке N , показатели признаков, а именно значения независимых переменных $x[N]$ и зависимые переменные $y[N]$.

После проведения соответствующих расчетов, результаты исследования представляли собой вид F и G – среднеарифметического по X и Y ; SX и SY – среднеквадратического отклонения по X и Y ; $P1$ и $P2$ – коэффициентов изменчивости по X и Y ; R – коэффициента корреляции; $R1$ – коэффициента регрессии; $M1$ и $M2$ ошибки средней по X и Y ; $M3$ – ошибки коэффициента парной корреляции; $M4$ – ошибки коэффициента регрессии; TM – достоверности средних и TR – достоверности коэффициента корреляции; степени влияния показателей значений качества исследуемого трансмиссионного масла на продолжительность эксплуатации.

Математическая обработка результатов исследований производилась с помощью определения необходимых статистических показателей.

ВЫВОДЫ

Разработана программа экспериментальных исследований, включающая выбор объекта очистки и восстановления, проведение лабораторных исследований технологических режимов очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла, исследования теоретически установленных конструктивных параметров и определение эффективного технологического режима работы гидроциклона, анализа штатного и восстановленного трансмиссионного масла на соответствие их основным требованиям ГОСТов, которая соответствует всем предъявляемым требованиям.

Проверка технологии очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел с применением гидроциклона проведена в производственных условиях по предлагаемым технологическим режимам.

Исследования по изменению содержания продуктов износа (железа, хрома, никеля) деталей агрегатов трансмиссии и активного эле-

мента присадки – серы, в процессе эксплуатации, проведены с применением бездифракционного спектрального анализатора БАРС-3 и рентгеновского флуоресцентного волнодисперсионного анализатора «Спектроскан SW-D3», которые позволили определить с высокой точностью химический, количественный состав примесей, а также степень срабатываемости присадок в трансмиссионных маслах.

Исследования по установлению изменения содержания активных элементов присадок (фосфора, азота) в трансмиссионных маслах в процессе эксплуатации проведены в аккредитованной лаборатории: ОАО «Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке» (Аттестат аккредитации № РОСС.RU. 0001.515676 от 3 февраля 2014 года).

Сравнительные эксплуатационные исследования штатного трансмиссионного масла ТСп-15К и восстановленного, по предлагаемой технологии, проведены в условиях производства в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований технологических режимов очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла

4.1.1 Результаты исследования по установлению щелочного соединения

Отработанное трансмиссионное масло, обработанное щелочами NaOH, кальцинированной содой Na_2CO_3 , трикалий фосфатом K_3PO_4 , тринатрий фосфатом Na_3PO_4 , после отстоя анализировали на кинематическую вязкость, содержание воды, щелочное и кислотное числа. Результаты проведенных исследований по определению вида щелочного соединения и изменению показателей трансмиссионного масла представлены в Приложении Н.

Результаты исследований сравнивали с показателями штатного масла ТСП-15К (Приложение М).

Кинематическая вязкость отработанного трансмиссионного масла при очистке NaOH уменьшилась с 14,7 до 14,1 $\text{мм}^2/\text{с}$, а при очистке кальцинированной содой Na_2CO_3 до 14,0 $\text{мм}^2/\text{с}$. После обработки отработанного масла трикалий фосфатом K_3PO_4 и тринатрий фосфатом Na_3PO_4 кинематическая вязкость уменьшилась с 14,7 соответственно до 14,2 $\text{мм}^2/\text{с}$ и 13,8 $\text{мм}^2/\text{с}$ (рис. 4.1 а).

Кислотное число отработанного масла, после обработки всеми видами щелочных соединений, снизилось с 0,2 мг КОН/г до 0,1 мг КОН/г (рис. 4.1 б).

Щелочное число отработанного трансмиссионного масла после очистки NaOH составило 0,7 мг КОН/г, а после обработки кальцинированной содой - 1,7 мг КОН/г. У масла обработанного K_3PO_4 и Na_3PO_4 щелочное число составило, соответственно 0,6 и 0,5 мг КОН/г (рис. 4.1 г). Наилучшие результаты по осушению воды были получены при обработке отработанного трансмиссионного масла тринатрий фосфатом Na_3PO_4 – следы. Содержание воды после обработке трикалий фосфатом K_3PO_4 составило 0,2 %. Наихудшие результаты, 1 % и 1,2 % воды, при обработке масла NaOH и Na_2CO_3 соответственно (рис. 4.1 в).

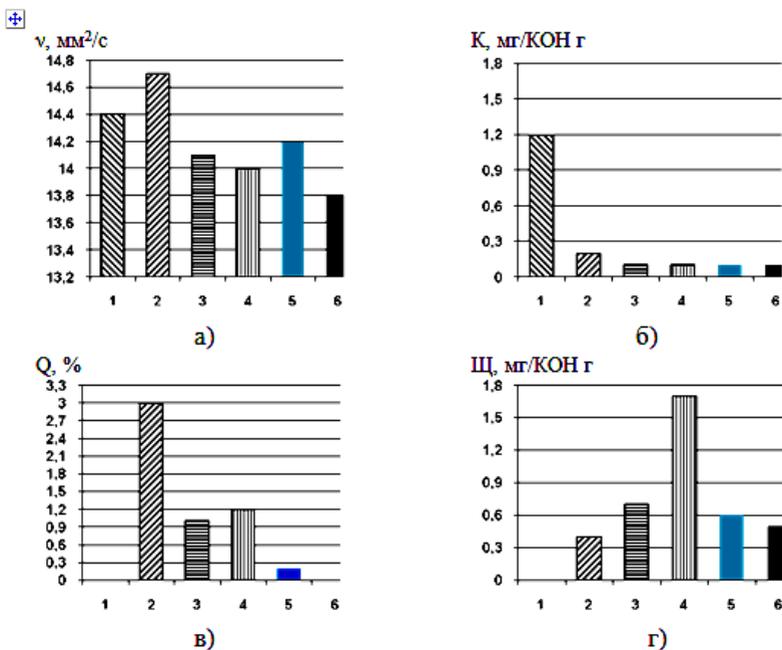


Рисунок 4.1 – Результаты изменения показателей качества масла после обработки щелочными соединениями: а) кинематическая вязкость; б) кислотное число; в) содержание воды; г) щелочное число; 1– штатное трансмиссионное масло ТСП-15К; 2 – отработанное трансмиссионное масло; 3 – отработанное масло, после обработки NaOH; 4 – отработанное масло, после обработки Na₂CO₃; 5 - отработанное масло, после обработки K₃PO₄; 6 -отработанное масло, после обработки Na₃PO₄.

В результате проведенных исследований установлено, что наилучшая осушка отработанного трансмиссионного масла происходит при обработке его тринатрий фосфатом Na₃PO₄. Это связано с активностью металла натрия, которая усиливается действием фосфора. Другие щелочные соединения по сравнению с тринатрий фосфатом обладают меньшей активностью. Поэтому для осушки отработанного трансмиссионного масла будет использоваться именно Na₃PO₄.

4.1.2 Результаты исследований режимов осушки отработанного трансмиссионного масла

Одновременно с определением эффективности осушки отработанного трансмиссионного масла щелочами, проводили

Исследования по определению основных режимов: температуры нагрева масла при вводе щелочи и времени выдержки масла со щелочью показали следующее (Приложение О). Снижение содержания воды в отработанном трансмиссионном масле до 0,03 % осуществляется при времени выдержки масла в течение 1...3 часов с температурой смеси от 70 до 80°C (рис. 4.2).

Зависимость изменения содержания воды от температуры нагрева и времени выдержки описывается уравнением регрессии:

а) в закодированном виде

$$Y = 0,147 - 0,3819 X_1 - 0,2045 X_2 + 0,2953 X_1^2 + 0,1356 X_1 X_2 + 0,0547 X_2^2; \quad (4.1)$$

б) в раскодированном виде

$$Q = 2,1905 - 0,0776t - 0,052T - 0,0009t^2 + 0,0012tT + 0,0003 T^2. \quad (4.2)$$

где Y , Q – содержание воды, %; X_1 , t – время выдержки масла со щелочью, ч.; X_2 , T – температура нагрева отработанного трансмиссионного масла, °C

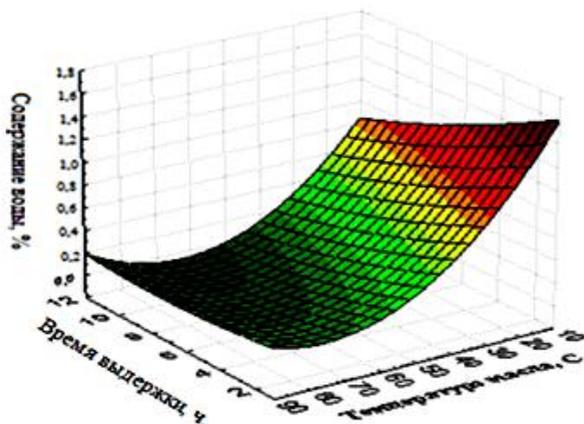


Рисунок 4.2 – Поверхность отклика содержания воды в отработанном трансмиссионном масле от температуры нагрева T и времени выдержки t

При дальнейшей выдержки до 10...12 часов, изменение содержания воды в отработанном масле изменяется незначительно.

Таким образом, на основании проведенных исследований, принимаем режим осушки масла – температура нагрева масла – 70...80 °С, время выдержки масла со щелочью – 3 часа.

4.1.3 Результаты исследований режимов кислотной очистки

Для определения наиболее эффективного коагулянта для удаления продуктов окисления и разложения, отработанное трансмиссионное масло обрабатывали серной H_2SO_4 и соляной HCl кислотами.

После обработки, проводился анализ отработанного трансмиссионного масла по следующим показателям: кинематическая вязкость, кислотное число, содержание количества нерастворимых примесей. Данные результатов исследований по определению вида кислотного соединения представлены в приложении П.

Результаты проведенных исследований показали, что кинематическая вязкость отработанного масла после обработки H_2SO_4 снизилась до 13,1 мм²/с, а после обработки HCl - до 13,8 мм²/с (рис. 4.3 а).



Рисунок 4.3 – Результаты изменения показателей качества масла после обработки кислотными соединениями: а) кинематическая вязкость; б) кислотное число; в) содержание нерастворимых примесей; 1 – трансмиссионное масло ТСП-15К; 2 – отработанное трансмиссионное масло; 3 – отработанное масло, после обработки H_2SO_4 ; 4 – отработанное масло, после обработки HCl

Значение кислотного числа повысилось при обработке серной и соляной кислотами до 0,5 и 0,3 мг/КОН г соответственно (рис. 4.3 б). Содержание нерастворимых примесей при обработке отработанного трансмиссионного масла H_2SO_4 уменьшилось в два раза – с 0,1132 г до 0,0542 г, т.е. с 0,15 % до 0,09 %. При обработке HCl содержание нерастворимых примесей уменьшилось с 0,15 % до 0,10 % (с 0,1132 г до 0,0694 г) (рис. 4.3 в).

Снижение нерастворимых примесей связано с окислением и укрупнением асфальто-смолистых веществ, асфальтенов и карбенов, с дальнейшим выпадением их в осадок. Наилучшая степень очистки отработанного масла, при обработке H_2SO_4 , обеспечивается благодаря наибольшей коагулирующей способности серной кислоты, по сравнению с соляной, которая вызвана меньшей степенью гидратации и большим радиусом ионов [126, 127].

Таким образом, применение серной кислоты в качестве кислотного соединения для очистки отработанного трансмиссионного масла от нерастворимых примесей обеспечит наилучшие результаты.

Параллельно с определением параметров качественной очистки отработанного трансмиссионного масла кислотами, проводили исследования по установлению основных режимов: температуры нагрева и времени обработки отработанного масла при очистке кислотой (приложение Р).

В результате проведенных исследований было выявлено, что наиболее качественная очистка отработанного трансмиссионного масла от нерастворимых примесей происходит при температуре от 70 до 80 °С и времени обработки в течение 3 часов (рис. 4.4).

Данное время обеспечивает наиболее лучшее слипание, а также укрупнение продуктов окисления и износа для последующего выпадения их в осадок, и обеспечивает снижение нерастворимых примесей до 0,0540 г. Увеличение времени обработки более 3 часов, не приводит к значительному изменению содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле, поэтому время обработки в 3 ч является наиболее рациональным и экономически выгодным.

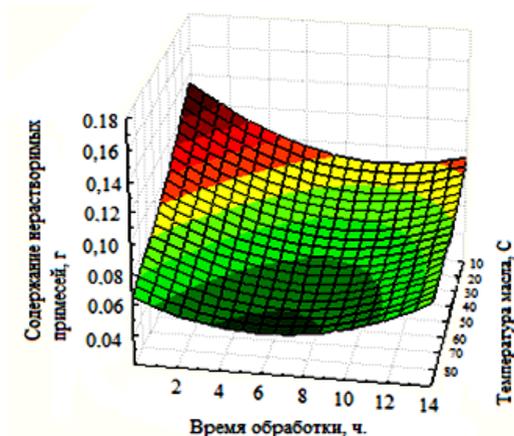


Рисунок 4.4 – Поверхность отклика содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от температуры нагрева T и времени обработки t

На основании результатов исследований получено уравнение регрессии:

а) в закодированном виде

$$Y = 0,0625 - 0,0172 X_1 - 0,0089 X_2 + 0,0047 X_1^2 + 0,0067 X_1 X_2 + 0,0144 X_2^2; \quad (4.3)$$

б) в раскодированном виде

$$X = 0,1474 - 0,0013t - 0,01036T - 0,06t^2 - 0,008tT + 0,0005T^2. \quad (4.4)$$

где Y , X – содержание в масле нерастворимых примесей, г.; X_1 , t – время обработки масла кислотой, ч.; X_2 , T – температура нагрева отработанного трансмиссионного масла, °С

Таким образом, принимаем следующие основные режимы очистки масла кислотой: температура нагрева отработанного трансмиссионного масла – 70...80 °С, время обработки кислотой – 3 часа.

4.1.4 Результаты исследований режимов ввода базового масла и пакета присадок

Для восстановления кинематической вязкости отработанного трансмиссионного масла проводились исследования по установлению

режимов компаундирования базового масла М-20 с очищенным трансмиссионным маслом [21, 105].

Исследования режимов компаундирования проводили по определению изменения кинематической вязкости очищенного трансмиссионного масла при температурах нагрева от 20 до 100 °С (рис. 4.5) и времени перемешивания базового масла М-20 с очищенным отработанным маслом от 0,5 до 4,5 часов (приложение С).

В результате исследований температурных режимов было установлено, что достижение кинематической вязкости очищенного отработанного трансмиссионного масла, до уровня, регламентированного ГОСТ 23652-79 – 14,4 мм²/с, происходит при компаундировании очищенного отработанного трансмиссионного масла с базовым маслом М-20 при температуре 80...90 °С (рис. 4.5). На основании исследований принимаем режим компаундирования очищенного отработанного трансмиссионного масла с базовым маслом М-20, для восстановления кинематической вязкости до уровня штатного масла ТСП-15К, в температурном интервале 80...90 °С.

Результаты исследований по установлению рационального времени перемешивания показали, что стабилизация кинематической вязкости 14,4 мм²/с восстанавливаемого очищенного отработанного трансмиссионного масла наблюдается через 4 часа (рис. 4.6).

ν , мм²/с

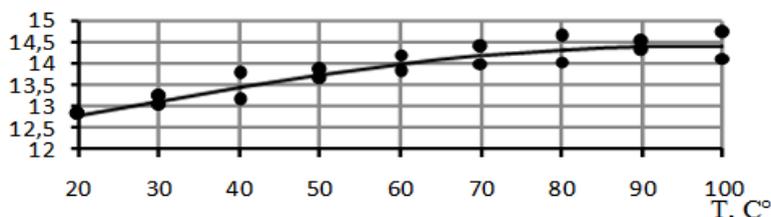


Рисунок 4.5 – Зависимость кинематической вязкости ν очищенного отработанного трансмиссионного масла от температуры компаундирования T с базовым маслом М-20

На основании полученных результатов принимаем режим компаундирования очищенного отработанного трансмиссионного масла с

базовым маслом М-20: температура - 80 ... 90 °С, время перемешивания – 4 часа.

ν , мм²/с

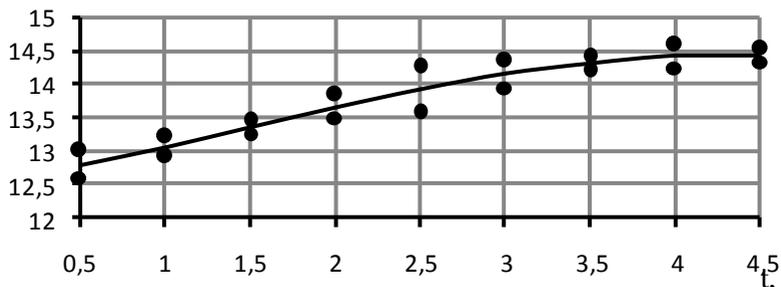


Рисунок 4.6 – Зависимость кинематической вязкости ν очищенного отработанного трансмиссионного масла от времени перемешивания t с базовым маслом М-20

Исследования режимов ввода многофункциональных присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 в очищенное отработанное трансмиссионное масло проводили с определением содержания активных элементов присадок - серы, фосфора и азота в восстанавливаемом масле при различных температурах ввода и времени перемешивания (рис. 4.7, 4.8, Приложения Г...Ф).

В результате проведенных исследований было установлено следующее. Содержание серы и фосфора в восстанавливаемом трансмиссионном масле достигает нормативного значения, соответственно в 3 % и 0,077 %, при температуре ввода присадки ДФ-11 от 80 до 100 °С (рис. 4.7).

А нормативное содержание азота в 0,07 %, при введении в очищенное отработанное трансмиссионное масло присадки АзНИИ-11, достигается при температуре масла 90...100 °С (рис. 4.7).

Температурный режим в диапазоне 80...95 °С обеспечивает наибольшую активность элементов присадок и их взаимодействие с углеводородами очищенного отработанного трансмиссионного масла.

Исследования по определению времени перемешивания очищенного отработанного трансмиссионного масла с присадками, при котором обеспечивается нормативное содержание активных элементов

присадок в восстанавливаемом масле, показали следующие результаты (рис. 4.8).

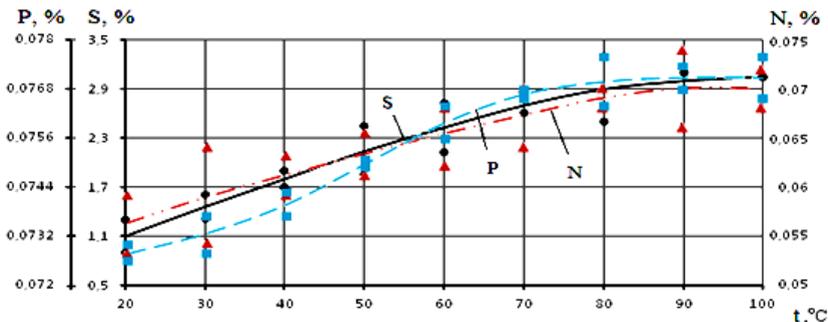


Рисунок 4.7 – Зависимость содержания активных элементов присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 в восстанавливаемом трансмиссионном масле от температуры его нагрева t : ● - серы S, ■ - фосфора P, ▲ - азота N

Нормативное содержание серы и фосфора, соответственно в 3 % и 0,077 %, достигается при времени перемешивания очищенного отработанного трансмиссионного масла с присадкой ДФ-11 в течение 3,5 - 4 часов. Достижение нормативного содержания азота - 0,07 %, осуществляется при перемешивании с присадкой АзНИИ-11 в течение 4 часов (рис. 4.8).

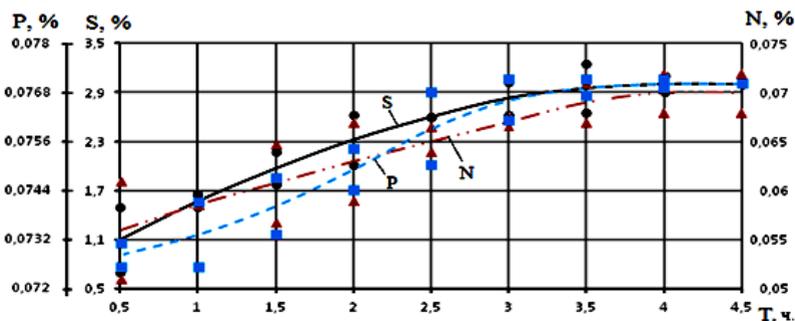


Рисунок 4.8 – Зависимость содержания активных элементов присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 в восстанавливаемом трансмиссионном масле от времени перемешивания t : ● - серы S, ■ - фосфора P, ▲ - азота N

На основании полученных результатов исследований принимаем следующие режимы ввода присадок ДФ-11 и АзНИИ-11. Темпера-

тура очищенного отработанного трансмиссионного масла при вводе присадок - 80...95 °С, продолжительность перемешивания 4 часа. Данные режимы обеспечивают необходимую и равномерную концентрацию активных элементов присадок в восстанавливаемом отработанном трансмиссионном масле. Увеличение температуры свыше 95 °С и времени свыше 4 ч является экономически нецелесообразным, так как не приводит к изменению концентрации активных элементов присадок.

4.2 Результаты исследований гидроциклона

Исследования проводили на гидроциклоне, изготовленном по размерам, рассчитанным по типовой методике, и гидроциклоне, изготовленном в соответствии с параметрами полученным по предлагаемой расчетной методике.

Целью исследований являлось определение зависимости содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от технологического режима работы (давление на входе в гидроциклон) и конструктивного параметра (длина погружения кольцевой вставки в поток масла). Результаты исследований представлены в Приложении X.

Исследования проводились при изменении давления масла на входе в гидроциклон от 0,2 до 0,8 МПа с интервалом 0,2 МПа и длины погружения кольцевой вставки в цилиндрическую часть гидроциклона от 10 до 100 мм (рис. 4.9).

В результате исследований установлено, что наибольшая эффективность очистки отработанного трансмиссионного масла от нерастворимых примесей осуществляется при давлении входного потока масла 0,4 МПа и длине кольцевой вставки в 80 мм. При этом снижение нерастворимых примесей составило 85 %. Гидроциклон №1 показал более худшие результаты, а именно 55 % (рисунок 4.10).

В результате проведенных исследований было получено уравнение регрессии:

а) в закодированном виде

$$Y = 0,0563 - 0,0176 X_1 + 0,006 X_2 + 0,0087 X_1^2 - 0,004 X_1 X_2 + 0,028 X_2^2; \quad (4.5)$$

б) в раскодированном виде

$$X = 0,1522 - 0,0176 P - 0,0124 L - 6 P^2 - 0,003 PL + 0,0003 L^2. \quad (4.6)$$

где Y, X – содержание в масле нерастворимых примесей, г; X_1, P – давление на входе в гидроциклон, МПа; X_2, L – длина погружения кольцевой вставки, мм.

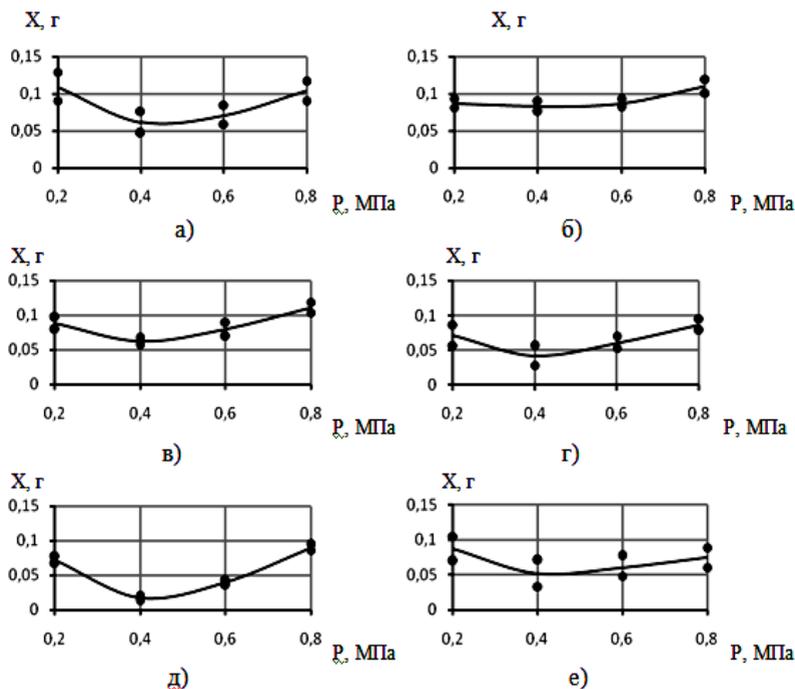


Рисунок 4.9 - Зависимость содержания нерастворимых примесей X в отработанном трансмиссионном масле от давления на входе в гидроциклон P и длины погружения кольцевой вставки в поток масла: а) при 10 мм; б) при 20 мм; в) при 40 мм; г) при 60 мм; д) при 80 мм; е) при 100 мм.

Таким образом, в результате исследований двух типов гидроциклонов было установлено, что оптимальное качество очистки отработанного трансмиссионного масла обеспечивается при давлении очищаемого масла на входе в гидроциклон при 0,4 МПа, и длине погружения кольцевой вставки в 80 мм (рис. 4.10).

Расчетное значение критерия Фишера составило $F_p = 4,1$. При этом, значение критерия F , соответствующее уровню значимости в 1

%, имеет величину 3,82. Поскольку $F_p = 4,1 > F = 3,82$, адекватность уравнения регрессии (4.2) является верной, при вероятности 99 %.

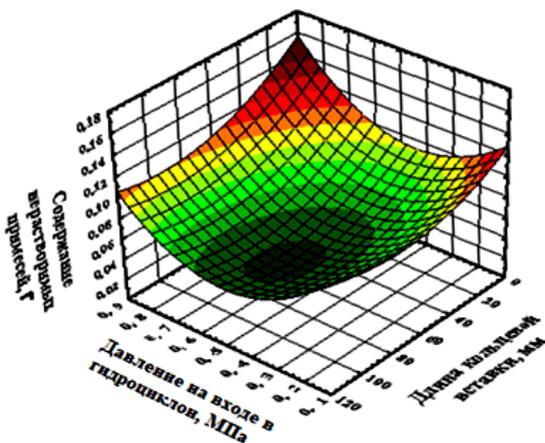


Рисунок 4.10 – Поверхность отклика содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от давления масла на входе в гидроциклон и длины погружения кольцевой вставки

На основании полученных данных, было построено двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее содержание нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от следующих параметров: длина погружения кольцевой вставки и давление масла на входе в гидроциклон (рисунок 4.11).

Установлено, что область оптимума определяет значение длины кольцевой вставки в пределах 64...102 мм и давления на входе в гидроциклон - 0,4...0,53 МПа. Содержание в очищенном масле нерастворимых примесей, удовлетворяющего условию минимального количества, находится в сечении области оптимума и соответствует 0,0172 г.

Для подтверждения достоверности полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса очистки отработанного трансмиссионного масла в гидроциклоне от длины погружения кольцевой вставки в поток масла построен график сходимости (рисунок 4.12).

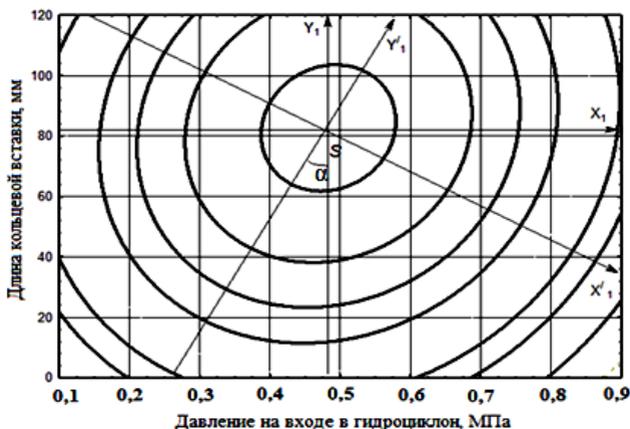


Рисунок 4.11 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее содержание нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от длины кольцевой вставки и давления масла на входе в гидроциклон

Расчет содержания нерастворимых примесей проводился по полученным формулам (2.24, 2.34). Сходимость результатов рассчитывалась по формуле (3.19).

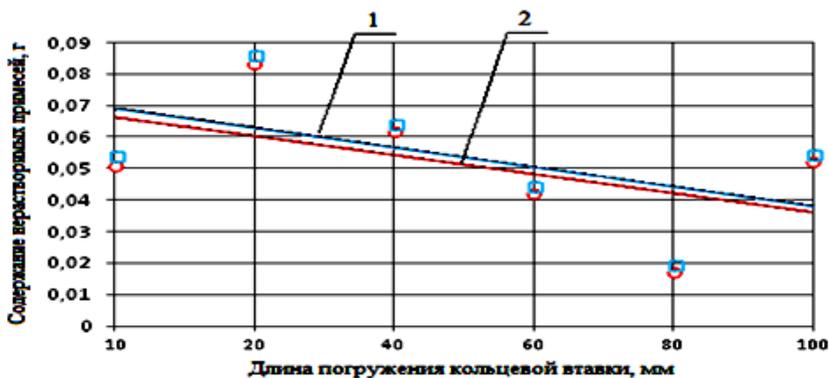
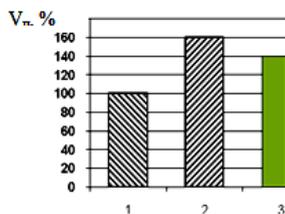


Рисунок 4.12 – График исследований очистки отработанного трансмиссионного масла от нерастворимых примесей в гидроциклоне: 1 – теоретическая степень очистки; 2 – экспериментальная степень очистки

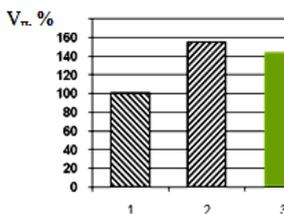
Проведенный сравнительный анализ показал, что сходимость данных, полученных теоретическим и экспериментальным путем, составляет 90...92 %.

4.3 Результаты исследований восстановленных отработанных трансмиссионных масел к пенообразованию

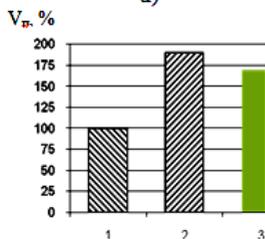
Исследования трансмиссионных масел на склонность к пенообразованию проводились по трем этапам при различных температурах: 24 °С, 94 °С и после оседания пены, повторно при температуре 24 °С (рис. 4.12).



а)



б)



в)

Рисунок 4.12 – Результаты исследований трансмиссионных масел на склонность к пенообразованию: а) при температуре 24 °С; б) при температуре 94 °С; в) повторное, при 24 °С; 1 – штатное трансмиссионное масло ТСП-15К; 2 – отработанное масло; 3 – восстановленное масло

Целью исследований являлось определение противопенных свойств после эксплуатации и восстановления отработанного трансмиссионного масла, для принятия решения о вводе противопенной присадки в очищенное масло.

Результаты проведенных исследований показали следующие результаты (Приложение Ч). Объем пенообразования в отработанном трансмиссионном масле, после эксплуатации в агрегатах трансмиссии, при испытаниях с температурой 24 °С увеличился на 60 %, у восстановленного на 40 % по сравнению со свежим маслом. При температуре

94 °С склонность к пенообразованию в отработанном трансмиссионном масле возросла на 55 %, в восстановленном масле на 45 % при значении в 100 % у свежего масла. Повторное исследование при температуре 24 °С показало, что объем пены отработанного и восстановленного масла увеличился на 90 % и на 70 % соответственно, по сравнению с товарным маслом. Увеличение склонности трансмиссионных масел к пенообразованию вызвано срабатываемостью противопенных присадок в процессе эксплуатации.

Однако нормой склонности трансмиссионного масла к пенообразованию или объема пены, соответствующей ГОСТу 23652-79 являются значения не превышающие 3000 % при температуре 24 °С и 250 % при температуре 94 °С. Незначительное изменение противопенного показателя качества, отработанного трансмиссионного масла, связано с невысокой частотой вращения шестерен агрегатов трансмиссии, позволяющей сохранять ему необходимые антипенные характеристики и после эксплуатации [10, 25, 64, 69].

4.4 Результаты сравнительных трибологических исследований штатного и восстановленного отработанного трансмиссионных масел

Трибологические исследования масел проводили на четырехшариковой машине трения ЧМТ -1 (рис. 4.13, Приложение Ч.).

Результаты исследований показали следующие результаты. Значения критической нагрузки исследуемых трансмиссионных масел составило: у восстановленного трансмиссионного масла $P_{кр} = 1470$ Н, что выше значения штатного масла ТСП-15К - $P_{кр} = 1381$ Н (рис. 4.13 а). Нагрузка сваривания $P_{св}$ восстановленного трансмиссионного масла соответствует значению 4136 Н, у штатного масла ТСП-15К – 3920 Н соответственно (рис.к 4.13 б). Индекс задира у восстановленного трансмиссионного масла составил $I_3 = 556$ Н, у штатного масла ТСП-15К - $I_3 = 547$ Н (рис. 4.13 в). Значение показателя износа D_u у восстановленного масла по сравнению со штатным, уменьшилось на 0,01 мм (рис. 4.13 г).

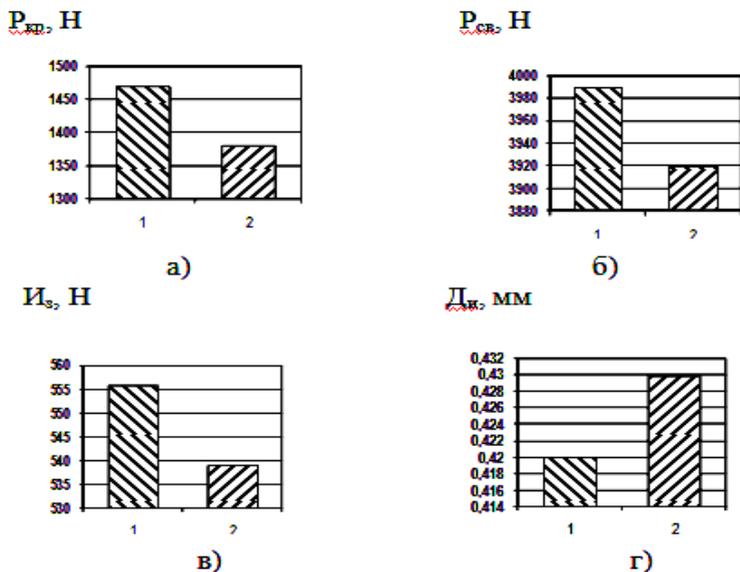


Рисунок 4.13 – Результаты противоизносных и противозадирных свойств трансмиссионных масел на ЧМТ-1: а) критическая нагрузка; б) нагрузка сваривания; в) индекс задира; г) показатель износа; 1 –восстановленное масло; 2 – штатное масло ТСП-15К

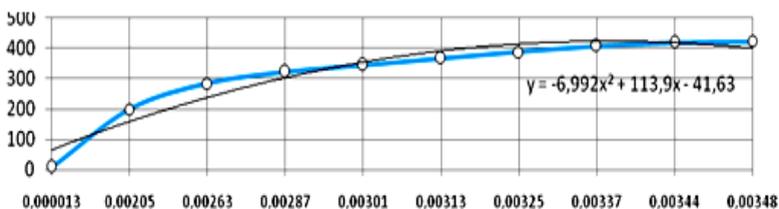
Результаты проведенных трибологических исследований показывают, что восстановленное по предлагаемой технологии отработанное трансмиссионное масло, с помощью многофункциональных присадок ДФ-11, АзНИИ-11 и базового масла М-20, соответствует по противоизносным и противозадирным свойствам штатному маслу ТСП-15К.

4.5 Результаты исследований содержания продуктов износа в работающем трансмиссионном масле

Исследования по установлению в пробах трансмиссионного масла содержания продуктов износа железа, от количества импульсов, определенных на приборе БАРС-3, отображены в Приложении Ш, Щ.

Проведенные исследования показали, что содержание продуктов износа в трансмиссионном масле соответствует фактическому значению импульсов. Повышение значений импульсов пропорционально увеличению количества содержащегося железа в исследуемом масле [130] (рис. 4.14).

$K, \text{ИМП}$



Fe, г

Рисунок 4.14 – Зависимость изменения импульсов K от массового содержания железа Fe : \circ — \circ экспериментально определенное изменение импульсов, — аппроксимированное изменение импульсов

В результате полученных значений построен график, характеризующий зависимость содержания металла железа в агрегатах трансмиссий от пробега автомобилей КамАЗ (рис. 4.15). Точки на графике соответствуют средним значениям полученных результатов исследований.

Fe, г

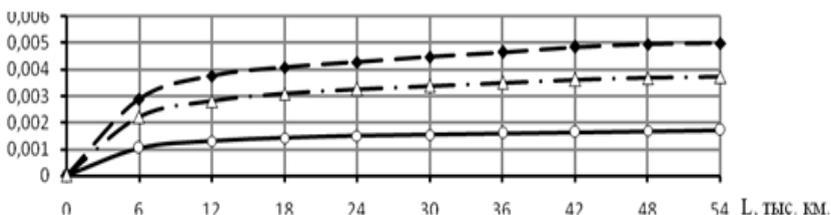


Рисунок 4.15 – Зависимость содержания железа Fe в трансмиссионном масле от пробега L автомобилей КамАЗ: \triangle — \cdot — \triangle КПП; \circ — \circ в среднем мосту; \blacklozenge — \blacklozenge в заднем мосту

Динамика содержания железа от пробега автомобилей КамАЗ показывает, что предельного значения данный показатель достигает при 54000 км пробега. Таким образом, периодичность замены масла, установленная заводом-изготовителем, по показателю содержания железа, является обоснованной [136, 137].

Исследования трансмиссионного масла на содержание никеля и хрома, характеризующие износ трущихся поверхностей конических пар агрегатов трансмиссии автомобилей КамАЗ, представлены в Приложениях Э, Ю.

Результаты исследований трансмиссионного масла по определению количества импульсов по каналу хрома, соответствующих пропорциональной величине продуктов износа данного металла, представлены в Приложении Я.

Зависимость изменения импульсов от массового содержания хрома в трансмиссионном масле представлена на рисунке 4.16.

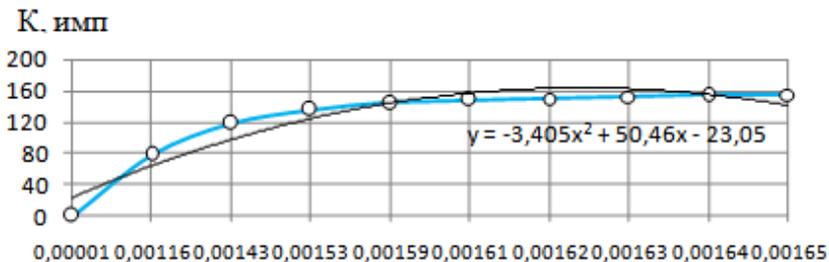


Рисунок 4.16 – Зависимость изменения импульсов К от массового содержания хрома Cr: ○—○ экспериментально определенное изменение импульсов, — аппроксимированное изменение импульсов

В результате полученных данных определено изменение содержания хрома от пробега автомобилей в агрегатах трансмиссии (рис. 4.17) с точками, которые соответствуют средним значениям.

Проведенные исследования показывают, что при пробеге в 54000 км содержание хрома в среднем мосту является близким к критическому. Таким образом, срок замены трансмиссионного масла в ведущих мостах равный 50000 км пробега, указанный в сервисных

книжках по эксплуатации автомобилей КамАЗ, является обоснованным [9, 10].

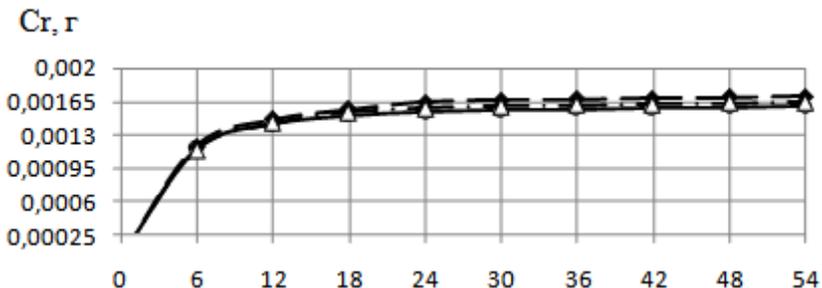


Рисунок 4.17 - Зависимость содержания хрома Сг в трансмиссионном масле от пробега L автомобилей КамАЗ: Δ — Δ в КПП; \circ — \circ в среднем мосту; \blacklozenge — \blacklozenge в заднем мосту

Результаты исследований трансмиссионного масла по определению количества импульсов по каналу никеля, соответствующих пропорциональной величине продуктов износа данного металла, представлены в Приложении А1.

В результате полученных значений построен график, характеризующий зависимость импульсов от массового содержания никеля в пробах трансмиссионного масла (рис. 4.18).

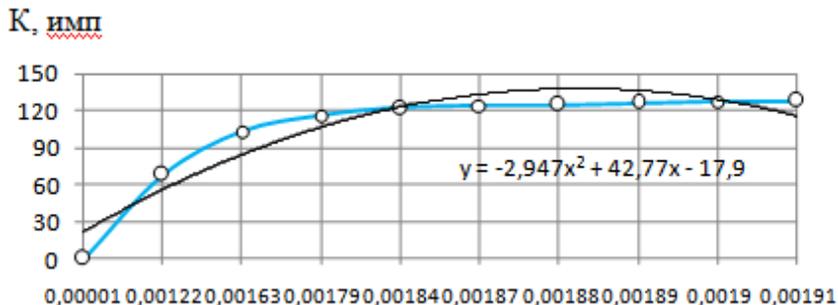


Рисунок 4.18 – Зависимость изменения импульсов К от массового содержания никеля Ni: \circ — \circ экспериментально определенное изменение импульсов, — аппроксимированное изменение импульсов

Динамика зависимости содержания никеля в трансмиссионном масле от пробега автомобилей КамАЗ изображена в виде графика на рисунке 4.19. Представленные результаты соответствуют средним значениям полученных данных.

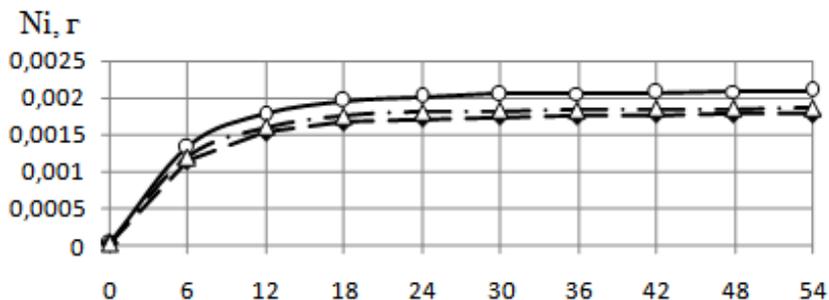


Рисунок 4.19 - Зависимость содержания никеля Ni в трансмиссионном масле от пробега L автомобилей КамАЗ: \triangle — КПП; \circ — в среднем мосту; \blacklozenge — в переднем мосту; \blacklozenge — в заднем мосту

Наибольшее содержание никеля наблюдается в трансмиссионном масле КПП.

На основании полученных данных установлено, что наиболее нагруженным агрегатом трансмиссии автомобиля КамАЗ является средний мост. В пробах масла установлено наибольшее содержание железа и хрома, соответствующее значениям в 0,005 г и в 0,0017 г, что указывает на повышенный износ главных пар редукторов под действием высоких нагрузок. Для коробки перемены передач характерен износ на высоких скоростях, о чем свидетельствует повышенное содержание в пробах трансмиссионного масла никеля, составившего 0,0021 г [19].

4.6 Результаты производственных исследований

Результаты исследования технологии очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел, с применением гидроциклона в качестве технического средства, в производственных условиях. представлены в таблице 4.1.

Анализ качества очистки и восстановления отработанного трансмиссионного масла проводился по показателям: содержание во-

ды и нерастворимых примесей, кинематическая вязкость, щелочное и кислотное числа, температура вспышки.

Таблица 4.1 - Результаты анализа проб трансмиссионного масла в производственных условиях

Показатель	Отработанное трансмиссионное масло	Масло после осушки щелочью	Масло после очистки в гидроциклоне и обработки H_2SO_4	Очищенное масло после компаундирования с базовым М-20	Очищенное масло после вводаприсадок
Содержание нерастворимых примесей, %	0,15	0,13	0,002	0,0015	0,0015
Кинематическая вязкость, мм ² /с	14,7	13,8	12,8	14,4	14,4
Температура вспышки, °С	315	328	328	282	282
Щелочное число, мг КОН/г	0,4	0,5	0,1	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

Анализы проводились: на этапе поступления отработанного трансмиссионного масла; после ввода рассчитанного объема щелочи в разогретое до 70...80 °С масло и выдерживании в течение 3 часов; очистки масла от нерастворимых примесей в гидроциклоне при давлении на входе в 0,4 МПа и длине кольцевой вставки в цилиндрической части в 80 мм, с последующей обработкой серной кислотой при температуре 70...80 °С в течении 3 часов; компаундирования базового масла М-20 с очищенным трансмиссионным маслом в течение 4 часов и при температуре 80...90 °С; ввода многофункциональных присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 при температуре 80...95°С и перемешивании в течение 4 часов (таблица 4.1).

Полученные данные результатов исследований в производственных условиях подтверждают возможность восстановления эксплуа-

тационных свойств отработанных трансмиссионных масел по предлагаемой технологии с применением гидроциклона в качестве технического средства для очистки смазочных материалов, с целью их повторного использования в трансмиссиях автомобилей КамАЗ.

4.7 Результаты сравнительных эксплуатационных исследований

С целью подтверждения возможности использования восстановленного отработанного трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ проводились сравнительные эксплуатационные исследования восстановленных отработанных трансмиссионных масел с штатным маслом ТСП-15К. Исследования проводились на двух группах автомобилей, каждая из которых, включала по пять автомобилей КамАЗ.

На основании полученных данных исследования проб масел определения кинематической вязкости, в коробке перемены передач, среднем и заднем мостах (рис. 4.20 - 4.22) установлено следующее (Приложение Б1...Г1).

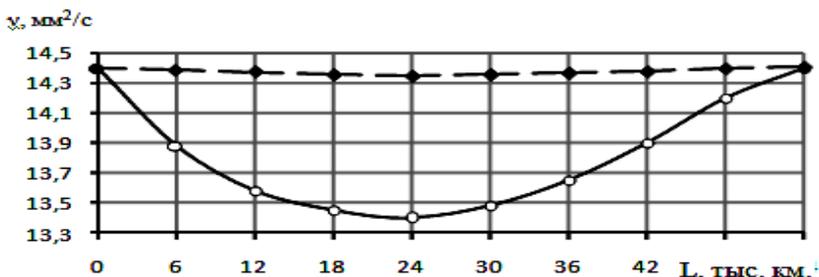


Рисунок 4.20 - Изменение кинематической вязкости ν трансмиссионных масел от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленного, ○ — штатного масла

Среднее значение кинематической вязкости штатного трансмиссионного масла ТСП-15К за период исследований в коробке перемены передач к 54000 км пробега не изменилось, и составило $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$. При этом с 6000 км пробега наблюдалось снижение кинематической вязкости с $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ до $13,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ при пробеге 24000 км, с последующим увеличением до нормативного при 54000 км пробега. Кинемати-

ческая вязкость восстановленного отработанного трансмиссионного масла с $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ при пробеге 24000 км снизилась до $14,35 \text{ мм}^2/\text{с}$, и с увеличением пробега стала расти, и при пробеге в 54000 км составила $14,41 \text{ мм}^2/\text{с}$ (рис. 4.20).

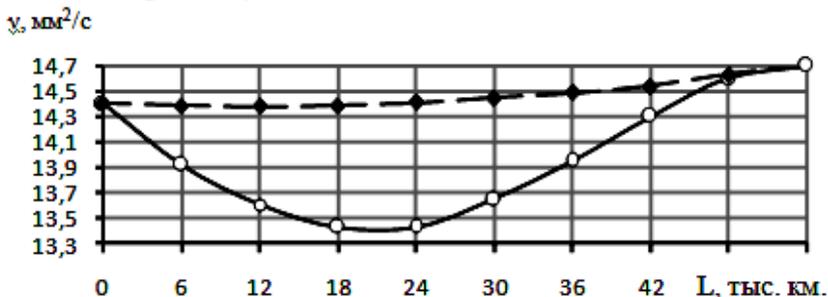


Рисунок 4.21- Изменение кинематической вязкости ν трансмиссионных масел от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — \blacklozenge восстановленного, \circ — \circ штатного масла

Среднее значение кинематической вязкости штатного масла ТСП-15К в среднем мосту с $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ к 54000 км увеличилась до $14,7 \text{ мм}^2/\text{с}$, при этом в процессе эксплуатации наблюдалось сначала снижение кинематической вязкости до $13,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ при пробеге 21000 км, а затем ее повышение, которое достигло $14,7 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 54000 км пробега. Значение кинематической вязкости у восстановленного отработанного трансмиссионного масла с $14,7 \text{ мм}^2/\text{с}$ снизилось до $14,39 \text{ мм}^2/\text{с}$ при пробеге 21000 км, затем стала повышаться и при пробеге 54000 км увеличилась до $14,71 \text{ мм}^2/\text{с}$ (рис. 4.21).

Среднее значение кинематической вязкости штатного масла ТСП-15К в заднем мосту с $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ к 21000 км пробега снизилось до $13,4 \text{ мм}^2/\text{с}$, а к 54000 км увеличилась до $14,6 \text{ мм}^2/\text{с}$. Значение кинематической вязкости восстановленного масла с $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ увеличилось до $14,66 \text{ мм}^2/\text{с}$ при пробеге 54000 км (рис. 4.22).

Снижение кинематической вязкости штатного трансмиссионного масла ТСП-15К при эксплуатации в агрегатах трансмиссии, вызвано разрушением вязкостной присадки ПМА «В-2», добавляемой для улучшения вязкостных свойств.

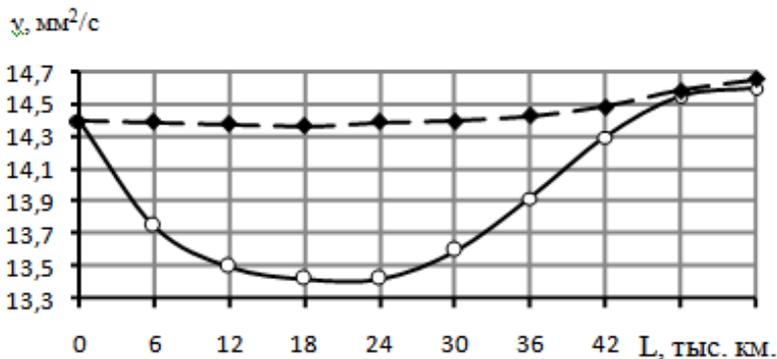


Рисунок 4.22 - Изменение кинематической вязкости ν трансмиссионных масел от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:
 ◆ — восстановленного, ○ — штатного масла

Данная присадка не выдерживает высоких нагрузок эксплуатации, преобладающих в агрегатах трансмиссии. Это вызвано малой устойчивостью высокомолекулярных полимеров, из которых состоит присадка, к деструктивным воздействиям [76, 140]. Критические значения кинематической вязкости в 24000 км пробега для КПП и в 21000 км для средних и задних мостов вызвано различием режимов эксплуатации трансмиссионного масла в данных агрегатах трансмиссии. Бракочным значением снижения вязкости масла ТСП-15К является величина равная 12 мм²/с [25], поэтому при уменьшении вязкости до 13,4 мм²/с было принято решение продолжить исследования. Увеличение значений кинематической вязкости к 54000 км пробега происходит вследствие накопления в нем продуктов окисления, разложения и износа [16, 95].

На основании исследований трансмиссионных масел по изменению кислотного числа, в коробке перемены передач, среднем и заднем мостах получены зависимости изменения от пробега автомобилей представленных на графиках (рис. 4.23 - 4.25).

Результаты исследований показали (Приложения Д1 – Ж1), что среднее значение кислотного числа штатного масла ТСП-15К в за период эксплуатации в коробке перемены передач с 1,22 мг/КОН г к 54000 км пробега снижается до 0,93 мг/КОН г.

K , мг/КОН г

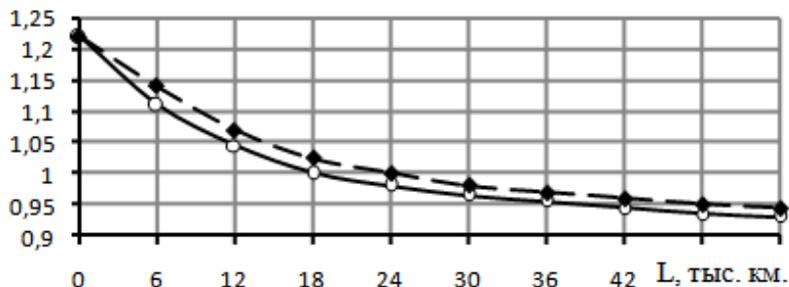


Рисунок 4.23 - Изменение кислотного числа K трансмиссионных масел от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ:

◆ —◆ восстановленного, ○ —○ штатного масла

Среднее значение кислотного числа восстановленного масла за период исследований в коробке перемены передач с 1,22 мг/КОН г к 54000 км пробега снижается до 0,94 мг/КОН г (рис. 4.23).

K , мг/КОН г

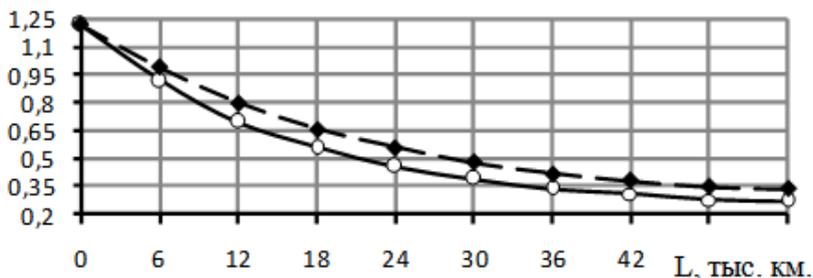


Рисунок 4.24 - Изменение кислотного числа K трансмиссионных масел от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ —◆ восстановленного, ○ —○ штатного масла

Кислотное число штатного масла в среднем мосту с 1,22 к 54000 км пробега снижается до 0,27 мг/КОН г. Среднее значение кислотного числа восстановленного масла к завершению исследований в среднем мосту с 1,22 мг/КОН г снижается до 0,34 мг/КОН г (рис. 4.24).

В заднем мосту значение кислотного числа у штатного масла с 1,22 мг/КОН г к 54000 км пробега снижается до 0,55 мг/КОН г, у восстановленного масла с 1,22 мг/КОН г уменьшается до 0,6 мг/КОН г (рис. 4.25).

K , мг/КОН г

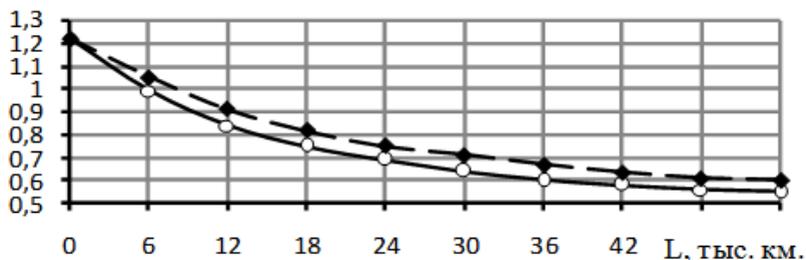


Рисунок 4.25 - Изменение кислотного числа K трансмиссионных масел от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленного, ○ — штатного масла

Значение кислотного числа характеризует срабатываемость присадок в трансмиссионном масле, так как присадки, представляющие собой различные производные кислот фосфора, которые вводят для улучшения свойств масла, имеют кислотную среду [76]. Наименьшее снижение наблюдается в коробке перемены передач, наибольшее - в среднем мосту. Разница значений обусловлена степенью нагруженности и режимами эксплуатации соответствующих агрегатов трансмиссии [23, 160].

На основании полученных данных исследования трансмиссионных масел изменения плотности в процессе эксплуатации, в коробке перемены передач и ведущих мостах получены графики зависимости плотности в агрегатах трансмиссии от пробега автомобилей (рисунок 4.26 - 4.28).

В результате исследований было установлено (приложение 31 - К1), что среднее значение плотности штатного масла ТСП-15К за период исследований в коробке перемены передач увеличилось на 0,29 % или $2,6 \text{ кг/м}^3$, в отличие от значения плотности восстановленного масла, которое возросло на $2,5 \text{ кг/м}^3$ или 0,28 % (рис. 4.26).

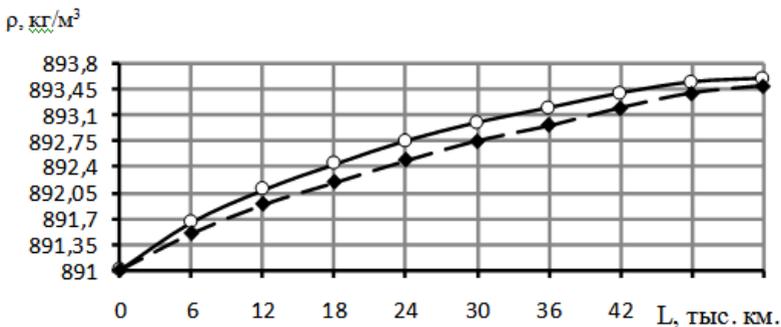


Рисунок 4.26 - Изменение плотности ρ трансмиссионных масел от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленного, ○ — штатного масла

Среднее значение плотности штатного масла за период исследований в среднем мосту к 54000 км пробега увеличилось на 0,78 % или 7 кг/м³. Среднее значение плотности восстановленного масла к 54000 км пробега увеличилось на 0,74 % или 6,6 кг/м³ (рис. 4.27).

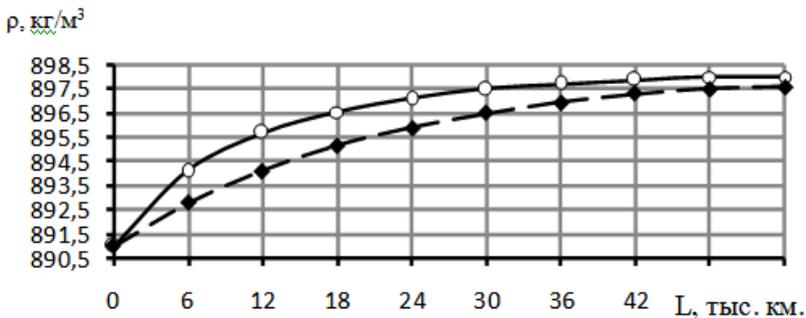


Рисунок 4.27 - Изменение плотности ρ трансмиссионных масел от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленного, ○ — штатного масла

Среднее значение плотности штатного масла ТСП-15К за период исследований в заднем мосту к 54000 км пробега увеличилось на 0,5 % или 4,5 кг/м³. Среднее значение плотности восстановленного масла увеличилось на 4,2 кг/м³ или 0,47 % (рис. 4.28).

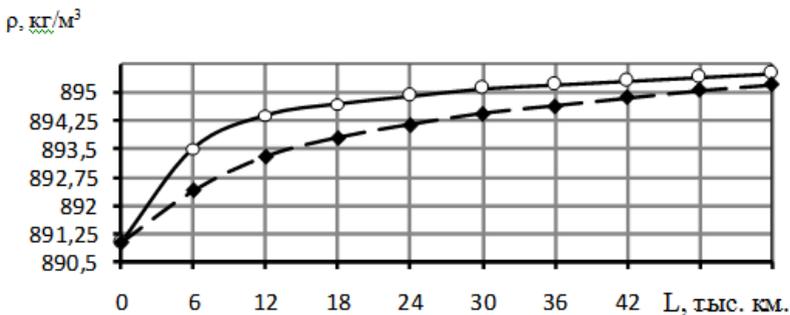


Рисунок 4.28 - Изменение плотности ρ трансмиссионных масел от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ —◆ восстановленного, ○ —○ штатного масла

Увеличение плотности в процессе эксплуатации происходит вследствие накопления в трансмиссионном масле продуктов износа деталей агрегатов трансмиссии, окисления и разложения. В период с 0 до 24000 км пробега наблюдается значительное повышение плотности, связанное с окислением и разложением мало стабильных углеводородов, вызывающее накопление ароматических углеводородов в трансмиссионном масле [52, 69, 101].

Результаты изменения содержания нерастворимых примесей в исследуемых трансмиссионных маслах в коробке перемены передач, среднем и заднем мостах представлены на рисунках 4.29 - 4.31.

X , г

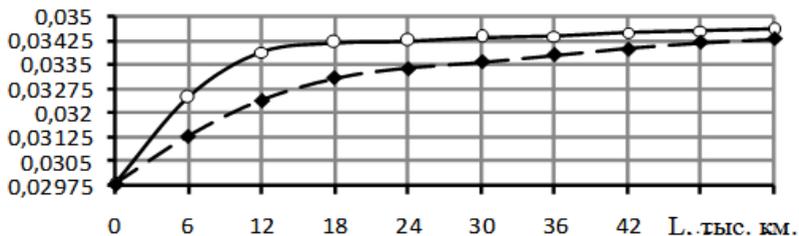


Рисунок 4.29 - Изменение содержания нерастворимых примесей X в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ:

◆ —◆ восстановленном, ○ —○ штатном масле

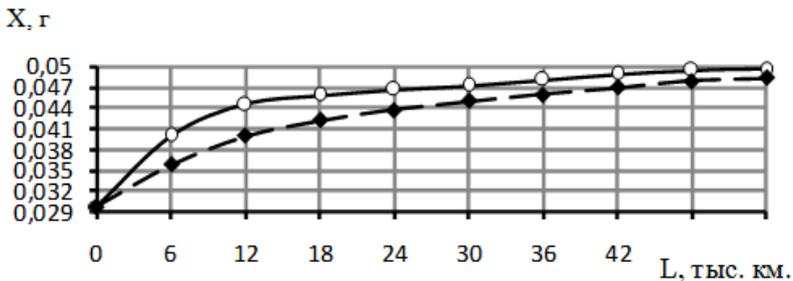


Рисунок 4.30 - Изменение содержания нерастворимых примесей X в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — ◆ восстановленном, ○ — ○ штатном масле

Проведенные исследования по изменению содержания нерастворимых примесей в трансмиссионных маслах показали (Приложения Л1 – Н1), что среднее значение содержания нерастворимых примесей товарного масла ТСП-15К к завершению периода исследований в коробке перемены передач с 0,0298 г увеличилось до 0,0346 г. У восстановленного масла с 0,0298 г к 51000 км пробега увеличилось до 0,0343 г (рис. 4.29).

Содержание нерастворимых примесей в среднем мосту у товарного масла ТСП-15К за период исследований с 0,0298 г к 54000 км пробега увеличилось до 0,0492 г. У восстановленного масла с 0,0298 г к 54000 км пробега увеличилось до 0,0483 г (рис. 4.30).

Среднее значение содержания нерастворимых примесей товарного масла ТСП-15К к концу исследований в заднем мосту составило 0,0430 г, а у восстановленного масла - 0,0411 г соответственно (рис. 4.31).

Увеличение содержания нерастворимых примесей с 0 до 24000 км связано с окислением мало стабильных углеводородов в трансмиссионном масле. После 24000 км пробега процесс начинает стабилизироваться [101]. Наибольшее значение содержания нерастворимых примесей соответствует трансмиссионному маслу, которое находилось в эксплуатации в среднем мосту. Данное обстоятельство связано с более тяжелыми условиями эксплуатации в данном агрегате трансмис-

сии. Кроме того на величину нерастворимых примесей влияет характер выполняемых работ [69].

X_r

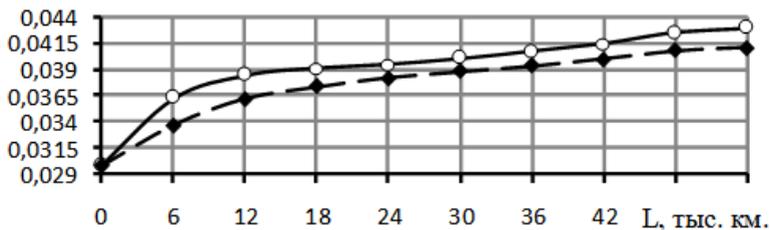


Рисунок 4.31 - Изменение содержания нерастворимых примесей X в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленном; ○ — штатном масле

По результатам полученных данных построены графики зависимости импульсов от содержания железа в трансмиссионных маслах в агрегатах трансмиссии от пробега автомобилей КамАЗ (рис. 4.32 - 4.34).

$Fe_{имп.}$

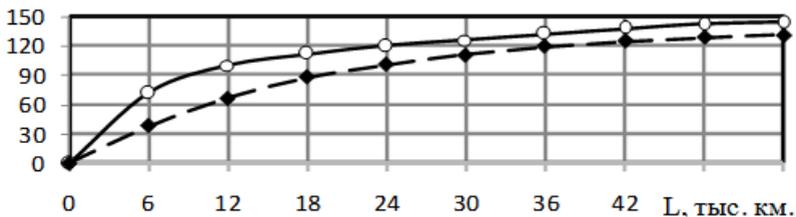


Рисунок 4.32 - Зависимость импульсов от содержания железа Fe в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ: ◆ — восстановленном, ○ — штатном масле

Значениям импульсов соответствует определенное количество продуктов износа – железа. Значение импульсов содержания железа в товарном ТСП-15К в коробке перемены передач увеличилось с 0 до 144 (рисунок 4.32), а у восстановленного масла соответственно с 0 до

131 (Приложение О1). Значение импульсов содержания железа у товарного ТСП-15К в среднем мосту увеличилось к с 0 до 680 (рисунок 4.33), а у восстановленного масла соответственно с 0 до 619 (Приложение П1).

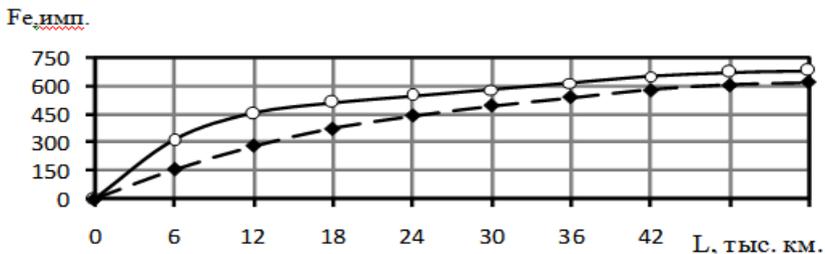


Рисунок 4.33 - Зависимость импульсов от содержания железа Fe в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленном; ○ — штатном масле

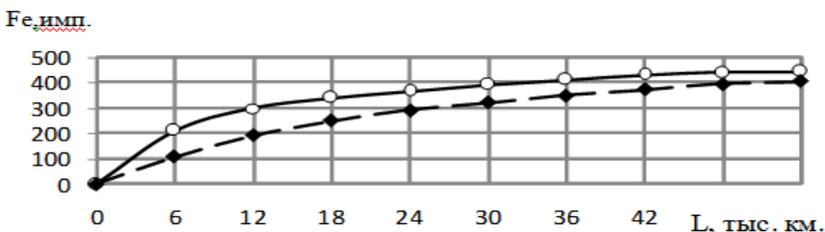


Рисунок 4.34 - Зависимость импульсов от содержания железа Fe в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленном, ○ — штатном масле

Значение импульсов содержания железа у товарного ТСП-15К в заднем мосту увеличилось с 0 до 445 (рис. 4.34), а у восстановленного масла, соответственно с 0 до 404 (Приложение Р1).

Значительное увеличение содержания железа с 0 до 24000 км пробега вызвано деструкцией в начальный период эксплуатации нестабильных углеводородов. При этом действие присадок, введенных в трансмиссионное масло для улучшения эксплуатационных свойств, в

этот период направляется на стабилизацию данного процесса. На поверхностях деталей агрегатов трансмиссии образуется нестабильная смазочная пленка и появляется повышенный износ, следствием чего является накопление железа. Различие в количестве содержания железа в КПП и ведущих мостах вызвано более жесткими условиями эксплуатации в соответствующих агрегатах трансмиссии [68, 147].

По результатам исследований построены графики зависимости импульсов содержания хрома в трансмиссионных маслах в агрегатах трансмиссии от пробега автомобилей КамАЗ (рис. 4.35 - 4.37).

$Sr_{имп.}$

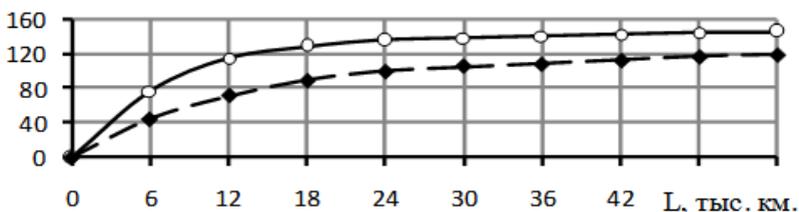


Рисунок 4.35 - Зависимость импульсов от содержания хрома Sr в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

Значение импульсов содержания хрома у штатного трансмиссионного масла в коробке перемены передач увеличилось к завершению исследований до 146 (рис. 4.35), а у восстановленного масла соответственно до 119 (Приложение С1).

$Sr_{имп.}$

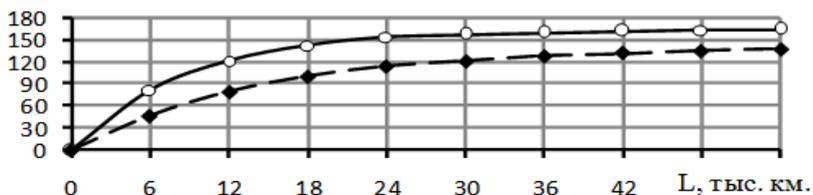


Рисунок 4.36 - Зависимость импульсов от содержания хрома Sr в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

\blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

Значение импульсов содержания хрома у штатного трансмиссионного масла в среднем мосту к завершению исследований увеличилось с 0 до 165 (рис. 4.36), у восстановленного масла с 0 до 138 (Приложение Т1).

$C_{г.имп.}$

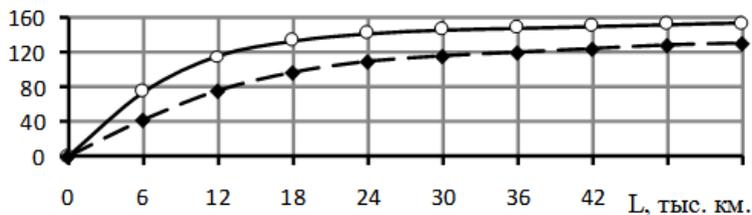


Рисунок 4.37 - Зависимость импульсов от содержания хрома $C_{г}$ в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆—◆ восстановленном, ○—○ штатном масле

В заднем мосту значение импульсов содержания хрома у товарного трансмиссионного масла ТСП-15К увеличилось к завершению исследований с 0 до 153 (рис. 4.37), у восстановленного масла с 0 до 130 (Приложение У1).

Значительное содержание хрома в трансмиссионном масле, которое находилось в эксплуатации в среднем мосту автомобилей КамАЗ, вызвано повышенным износом главных пар редукторов под действием высоких нагрузок [128, 143].

По результатам исследований построены графики зависимости импульсов содержания никеля в трансмиссионных маслах в агрегатах трансмиссии от пробега автомобилей КамАЗ (рис. 4.38 - 4.40).

Значение импульсов содержания никеля у штатного трансмиссионного масла в коробке перемены передач увеличилось к завершению исследований до 144 (рис. 4.38), а у восстановленного масла соответственно до 117 (Приложение Ф1).

Значение импульсов содержания никеля у штатного трансмиссионного масла в среднем мосту увеличилось с 0 до 124 (рисунок 4.39), а у восстановленного масла соответственно с 0 до 101 (Приложение Х1).

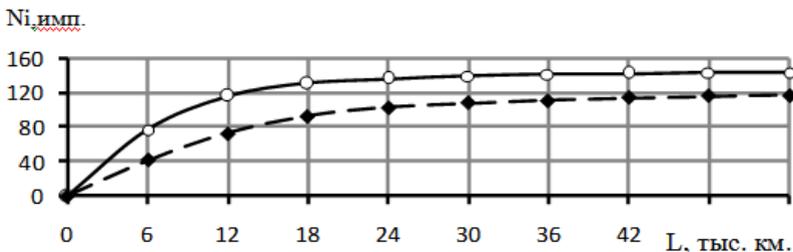


Рисунок 4.38 - Зависимость импульсов от содержания никеля Ni в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

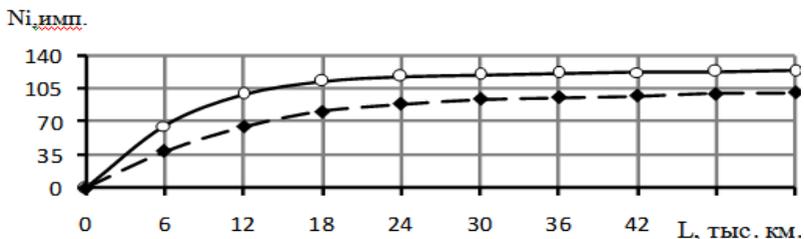


Рисунок 4.39 - Зависимость импульсов от содержания никеля Ni в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

Значение импульсов содержания никеля у штатного трансмиссионного масла в заднем мосту увеличилось с 0 до 116 к завершению исследований (рис. 4.40), а у восстановленного масла с 0 до 96 (приложение Ц1).

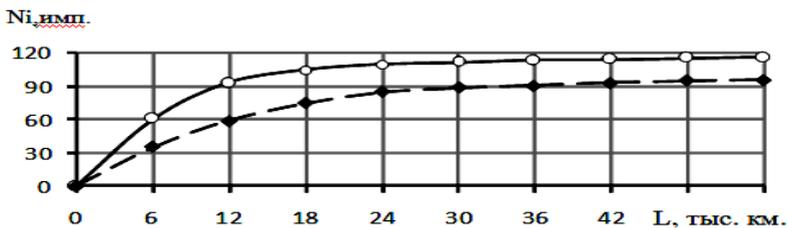


Рисунок 4.40 - Зависимость импульсов от содержания никеля Ni в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

Наибольшее количество содержания никеля в исследуемом трансмиссионном масле, находившемся в эксплуатации в коробке перемены передач, по сравнению с ведущими мостами, вызвано износом деталей КПП на высоких скоростях. Никель входит в состав первичного, вторичного и промежуточного валов КПП автомобилей КамАЗ. По сравнению с валами привода ведущих мостов, валы, находящиеся в КПП, работают при более высокой частоте вращения [9, 10].

Графики взаимосвязи содержания активного элемента присадки - серы и пробегом автомобилей КамАЗ в КПП и ведущих мостах представлены на рисунках 4.41 - 4.43.

Содержание серы в штатном трансмиссионном масле в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ с 12979,2 мг/кг к 54000 км пробега снижается до 12617,9мг/кг (рис. 4.41). В восстановленном масле с 29984,2 мг/кг уменьшается до 29697,4 мг/кг (Приложение Ч1).

Содержание серы в штатном трансмиссионном масле в среднем мосту автомобилей КамАЗ с 12979,2 мг/кг к 54000 км пробега снижается до 12143,3 мг/кг (рис. 4.42). В восстановленном масле с 29984,2 мг/кг уменьшается до 29207,7 мг/кг (Приложение Ш1).

В заднем мосту содержание серы в штатном масле ТСП-15К с 12979,2 мг/кг к 54000 км пробега снижается до 12209,2 мг/кг (рис. 4.43). В восстановленном масле к завершению исследований составляет 29307,5 мг/кг (Приложение Щ1).

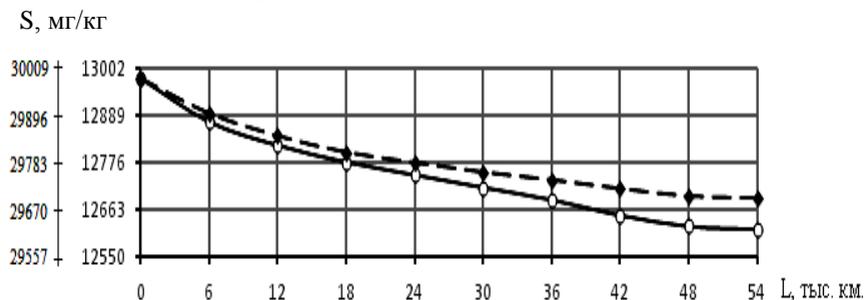


Рисунок 4.41 – Изменение содержания серы S в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — \blacklozenge восстановленном, \circ — \circ штатном масле

Сера является одним из основных элементов, входящих в состав противозадирной и противоизносной присадки, которая необходима для образования защитной пленки на поверхности трения деталей агрегатов трансмиссии при тяжелых режимах эксплуатации.

S , мг/кг

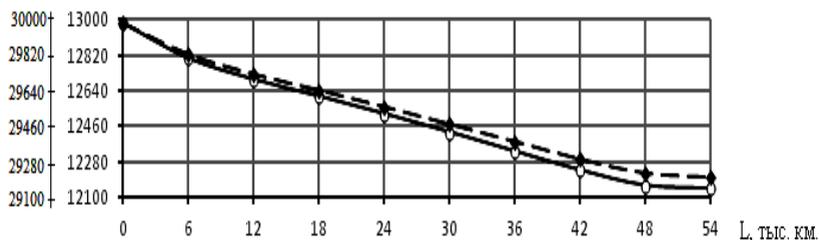


Рисунок 4.42 – Изменение содержания серы S в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленном, ○ — штатном масле

Различие динамики снижения содержания активного элемента присадок серы, в процессе эксплуатации в КПП и ведущих мостах, обусловлено более тяжелыми режимами эксплуатации среднего и заднего мостов [109, 139].

S , мг/кг

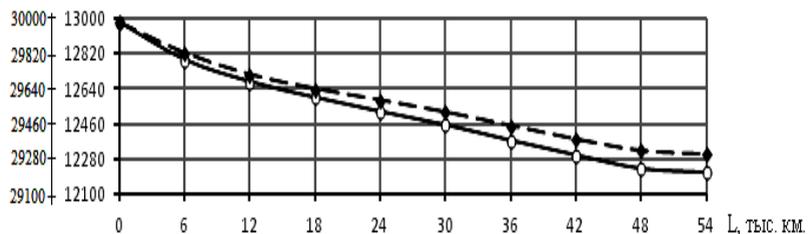


Рисунок 4.43 – Изменение содержания серы S в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ:

◆ — восстановленном, ○ — штатном масле

Графики взаимосвязи содержания активного элемента присадок фосфора и пробегом автомобилей КамАЗ в КПП и ведущих мостах представлены на рисунках 4.44 - 4.46.

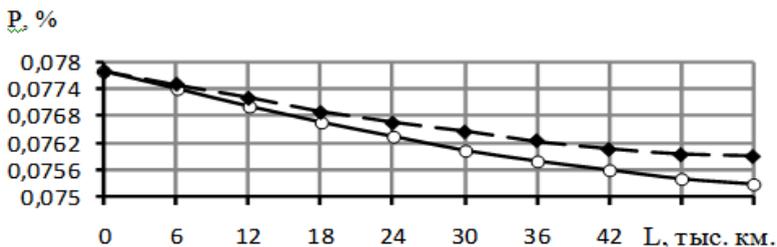


Рисунок 4.44 – Изменение содержания фосфора P в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — \blacklozenge восстановленном, \circ — \circ штатном масле

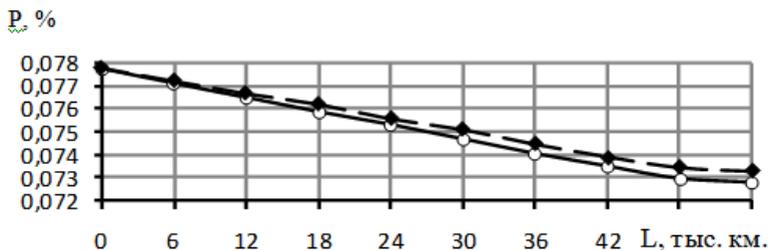


Рисунок 4.45 – Изменение содержания фосфора P в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ:

\blacklozenge — \blacklozenge восстановленном, \circ — \circ штатном масле

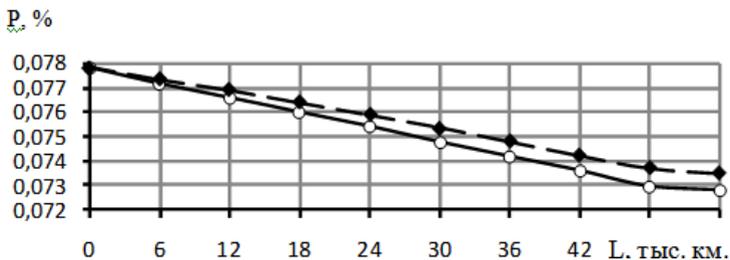


Рисунок 4.46 – Изменение содержания фосфора P в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — \blacklozenge восстановленном, \circ — \circ штатном масле

Содержание фосфора в штатном трансмиссионном масле в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ с 0,0778 % к 54000 км пробега снижается до 0,0753 % (рис. 4.44). В восстановленном масле с 0,0778 % уменьшается до 0,0759 % (Приложение Э1).

В среднем мосту среднее значение содержания фосфора в штатном трансмиссионном масле ТСП-15К с 0,0778 % к 51000 км пробега снижается до 0,0728 % (рис. 4.45), что незначительно больше, чем у восстановленного - 0,0733 % (Приложение Ю1).

Содержание фосфора в масле ТСП-15К в заднем мосту автомобилей КамАЗ с 0,0778 % к завершению исследований снижается до 0,0728 % (рис. 4.46). В восстановленном масле до 0,0735 % соответственно (Приложение Я1).

Снижение содержания активного элемента присадки фосфора в процессе эксплуатации в КПП и ведущих мостах характеризуется незначительным снижением. Это связано с тем, что фосфор участвует в образовании защитной пленки на деталях агрегатов трансмиссии только при небольших скоростях и нагрузках, а именно в начальный момент эксплуатации. При тяжелых режимах эксплуатации в образовании защитной пленки на поверхностях трения участвует сера, как один из активных элементов присадок. Исследуемым агрегатам трансмиссий автомобилей КамАЗ были свойственны тяжелые режимы эксплуатации (рис. 4.49 - 4.51), поэтому изменения содержания фосфора незначительна [76, 84, 109].

Графики взаимосвязи содержания активного элемента присадки азота и пробегом автомобилей КамАЗ в КПП, среднем и заднем мостах представлены на рисунках 4.47 - 4.49.

Содержание азота в трансмиссионном масле ТСП-15К в КПП с 0,0671 % к 54000 км пробега снижается до 0,0621 % (рис. 4.47). В восстановленном масле с 0,07 % уменьшается до 0,0658 % (Приложение А2).

Содержание азота в штатном трансмиссионном масле в среднем мосту автомобилей КамАЗ с 0,0671 % к завершению исследований снижается до 0,0570 % (рис. 4.48). В восстановленном масле наблюдается снижение с 0,07 % до 0,0608 % к 54000 км пробега (Приложение Б2).

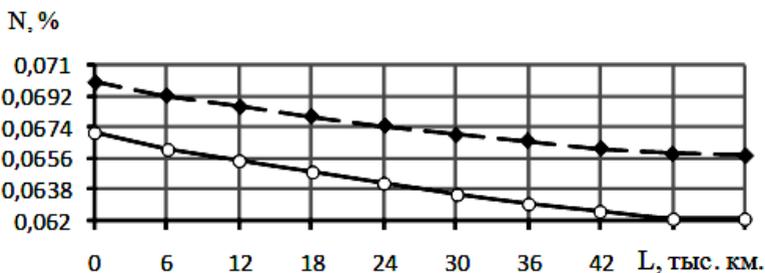


Рисунок 4.47 – Изменение содержания азота N в трансмиссионных маслах от пробега L в коробке перемены передач автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

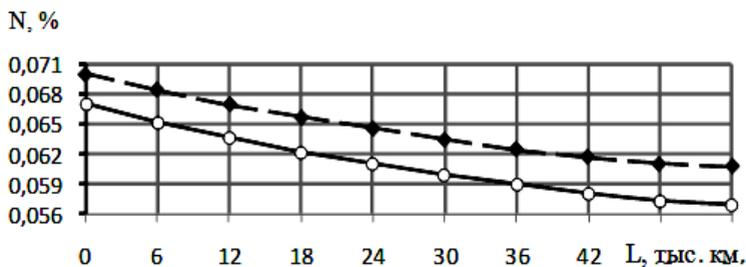


Рисунок 4.48 – Изменение содержания азота N в трансмиссионных маслах от пробега L в среднем мосту автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

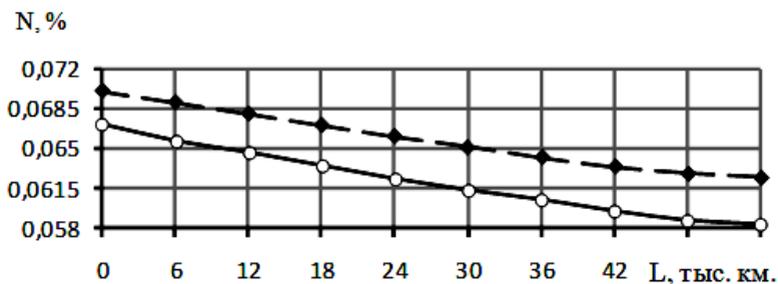


Рисунок 4.49 – Изменение содержания азота N в трансмиссионных маслах от пробега L в заднем мосту автомобилей КамАЗ: \blacklozenge — восстановленном, \circ — штатном масле

В заднем мосту содержание азота в товарном трансмиссионном масле ТСП-15К с 0,0671 % к 54000 км пробега снижается до 0,0584 % (рис. 4.49). В восстановленном масле с 0,07 % к 54000 км пробега снижается до 0,0625 % (Приложение В2).

Азот является активным элементом антиокислительной присадки необходимой для обеспечения высоких антиокислительных и противокоррозионных свойств трансмиссионному маслу в процессе эксплуатации. Снижения содержания активного элемента присадки азота в процессе эксплуатации в КПП и ведущих мостах обусловлено более тяжелыми режимами эксплуатации среднего и заднего мостов [76].

Проведенные сравнительные исследования штатного ТСП-15К и восстановленного трансмиссионного масла в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ показывают, что динамика основных показателей качества восстановленного масла находится на одном уровне с товарным маслом. Поэтому восстановленное трансмиссионное масло может являться полноценным заменителем штатного масла ТСП-15К [35].

ВЫВОДЫ

Определены рациональные технологические режимы очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла: 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 отработанного масла.

Экспериментально подтверждены теоретически установленные конструктивные параметры и режим работы гидроциклона при очистке отработанного трансмиссионного масла: 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, обеспечивающие 92 % степень очистки масла от нерастворимых примесей.

Проведенные исследования по противозадирным и противоизносным свойствам показали, что восстановленное трансмиссионное масло (критическая нагрузка составляет 1470 Н, нагрузка сваривания - 4136 Н, индекс задира - 556 Н, показатель износа - 0,42 мм) превосходит по трибологическим свойствам штатное масло ТСП-15К (соответственно $P_{кр}$ - 1381 Н, $P_{св}$ - 3920 Н, I_z - 547 Н, $D_{и}$ - 0,43 мм).

Сравнительные эксплуатационные исследования штатного и восстановленного трансмиссионного масла подтвердили возможность использования восстановленного масла в качестве полноценного заменителя штатного масла ТСП-15К в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

5.1 Экономическая эффективность исследований

Расчет экономической эффективности применения регенерированного трансмиссионного масла проведем для парка автомобилей КамАЗ различной модификации в количестве 100 единиц. Расчет проводится на основании необходимой потребности смазочных материалов для выбранного количества машин [20, 115].

5.2 Эффективность применения восстановленных отработанных трансмиссионных масел

Среднестатистический годовой пробег по автомобилям КамАЗ в Ульяновской области составляет 128540 км. Период эксплуатации трансмиссионного масла в среднем и заднем мостах составляет 50000 км пробега, а в коробке перемены передач 100000 км пробега. При установленном периоде эксплуатации, годовой расход масла на одну единицу автомобиля КамАЗ определяется как [129, 138]:

$$G_c = G_k + G_m, \quad (5.1)$$

где G_k – расход трансмиссионного масла для коробки перемены передач, кг; G_m – расход трансмиссионного масла для среднего и заднего мостов, кг.

Расход трансмиссионного масла для коробки перемены передач вычисляется по формуле [64]:

$$G_{ck} = \frac{S_c}{T} \cdot V_k, \quad (5.2)$$

где S_c - среднегодовой пробег автомобиля КамАЗ, км/год; T - периодичность замены трансмиссионного масла, км; V_k – объем картера коробки перемены передач, кг.

$$G_{ck} = \frac{128540}{100000} \cdot 11,125 = 14,3 \text{ кг.}$$

Расход трансмиссионного масла для среднего и заднего мостов вычисляется с учетом объема картера мостов по 6,67 кг для каждого:

$$G_{cm} = \frac{128540}{50000} \cdot 13,35 = 34,3 \text{ кг.}$$

Таким образом:

$$G_c = 14,3 + 34,3 = 48,6 \text{ кг.}$$

Расход масла на эксплуатационные потери для одной единицы автомобиля КамАЗ в КПП составляет 2,8 кг в период эксплуатации [110]:

$$G_{ук} = \frac{S_c}{T} \cdot n, \quad (5.3)$$

где n – количество доливаемого масла на эксплуатационные потери, кг.

$$G_{ук} = \frac{128540}{100000} \cdot 2,8 = 3,6 \text{ кг.}$$

Расход масла на эксплуатационные потери для одной единицы автомобиля КамАЗ в ведущих мостах составляет 3,1 кг в период эксплуатации:

$$G_{ум} = \frac{128540}{50000} \cdot 3,1 = 8 \text{ кг.}$$

Таким образом, общий расход масла на эксплуатационные потери в агрегатах трансмиссии одного автомобиля [91]:

$$G_{оу} = G_{ук} + G_{ум}, \quad (5.4)$$

$$G_{оу} = 3,6 + 8 = 11,6 \text{ кг.}$$

Годовой общий расход трансмиссионного масла на одну единицу автомобиля КамАЗ составляет [91]:

$$G_{общ} = G_c + G_{оу}, \quad (5.5)$$

$$G_{общ} = 48,6 + 11,6 = 60,2 \text{ кг.}$$

Расход трансмиссионного масла на весь парк машин определяется по формуле [91]:

$$G = G_{общ} \cdot N, \quad (5.6)$$

где N – общее количество автомобилей КамАЗ, шт.

$$G = 60,2 \cdot 100 = 6020 \text{ кг.}$$

На основании полученных данных проведем расчет величины образующихся отходов [32]:

$$N_{отх} = G - G_{оу}, \quad (5.7)$$

где G_{oy} – общее количество трансмиссионного масла, расходуемого на эксплуатационные потери в агрегатах трансмиссии, кг.

Тогда общее количество масла [91]:

$$G_{oy} = N \cdot G_{общ} \quad (5.8)$$

$$G_{oy} = 100 \cdot 11,6 = 1160 \text{ кг.}$$

Значение величины образующихся отходов, в виде отработанных масел:

$$N_{omx} = 6020 - 1160 = 4860 \text{ кг.}$$

Расчет экономической эффективности от применения восстановленного масла основан на данных полученных при эксплуатационных исследованиях [91]:

$$\mathcal{E}_z = \mathcal{Z}_m - \mathcal{Z}_e, \quad (5.9)$$

где \mathcal{Z}_m – затраты от применения штатного трансмиссионного масла ТСП-15К, руб.; \mathcal{Z}_e – затраты от применения восстановленного трансмиссионного масла, руб.

Расчет показателя \mathcal{Z}_m производится следующим образом [91]:

$$\mathcal{Z}_m = G \cdot P_m, \quad (5.10)$$

где P_m – стоимость 1000 кг трансмиссионного масла ТСП-15К, руб.

$$\mathcal{Z}_m = 6,02 \cdot 49500 = 297990 \text{ руб.}$$

Издержки на производство регенерированного масла вычисляются по формуле [91]:

$$\mathcal{Z}_e = (\mathcal{Z}_{zn} + \mathcal{Z}_n + \mathcal{Z}_p + \mathcal{Z}_a + \mathcal{Z}_z + \mathcal{Z}_o) - \Pi_o, \quad (5.11)$$

где \mathcal{Z}_{zn} – затраты на заработную плату работникам при производстве регенерированного продукта, руб.; \mathcal{Z}_n – затраты на отчисление налогового сбора, руб.; \mathcal{Z}_p – затраты на расходные изделия при производстве регенерированного масла, руб.; \mathcal{Z}_a – затраты на амортизационные отчисления, руб.; \mathcal{Z}_z – затраты на оплату электроэнергии, руб.; \mathcal{Z}_o – затраты на специализированную обработку образующихся отходов, руб., Π_o – прибыль, получаемая от реализации отходов производства, руб.

Расчет заработной платы работнику производится по следующей формуле [91]:

$$\mathcal{Z}_{zn} = (T_e \cdot C_m) + (T_e \cdot C_m) \cdot \kappa, \quad (5.12)$$

где T_e – время, затрачиваемое на регенерацию отработанного трансмиссионного масла, ч; C_m – тарифная ставка работника, руб.; κ – размер дополнительных выплат за условия труда, %.

$$Z_{zn} = (120,5 \cdot 140) + (120,5 \cdot 140) \cdot 4\% = 17545 \text{ руб.}$$

Затраты на отчисление налогового сбора составят [91]:

$$Z_n = 0,26 \cdot Z_{zn}, \quad (5.13)$$

$$Z_n = 0,26 \cdot 17545 = 4562 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизационные отчисления составят [91]:

$$Z_a = \frac{P_o}{T_s}, \quad (5.14)$$

где P_o – стоимость установки по производству регенерированного масла, руб; T_s – период эксплуатации установки, лет.

$$Z_a = \frac{501300}{8} = 62663 \text{ руб.}$$

Затраты на расходные изделия при производстве регенерированного масла составят [91]:

$$Z_p = P_{ДФ} + P_{АзНИИ} + P_k + P_{щ} + P_{М-20}, \quad (5.15)$$

где $P_{ДФ}$ – стоимость присадки ДФ-11, руб.; $P_{АзНИИ}$ – стоимость присадки АзНИИ-11, руб.; P_k – стоимость кислотного соединения, руб.; $P_{щ}$ – стоимость щелочного соединения, руб.; $P_{М-20}$ – стоимость базового масла М-20, руб.

$$Z_p = 2003,5 + 135 + 1144 + 752,5 + 34400 = 38435 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату электроэнергии составят [91]:

$$Z_s = N_s \cdot P_s, \quad (5.16)$$

где N_s – количество необходимой электроэнергии при регенерации отработанного масла, кВт; P_s – стоимость электроэнергии, руб./кВт.

Количество необходимой энергии:

$$N_s = N_{э.н.} + N_{э.л.} + N_{э.пер.}, \quad (5.17)$$

где $N_{э.н.}$ – количество электроэнергии, необходимой для нагрева трансмиссионного масла в электропечах, кВт; $N_{э.л.}$ – количество электроэнергии, необходимой для перемешивания трансмиссионного масла, кВт; $N_{э.пер.}$ – количество электроэнергии, необходимой для перекачивания трансмиссионного масла в резервуары, кВт.

$$N_s = 451,5 + 152,3 + 26,1 = 629,9 \text{ кВт.}$$

Тогда:

$$Z_s = 629,9 \cdot 4,96 = 3124 \text{ руб.}$$

Затраты на специализированную обработку образующихся отходов, в процессе очистки отработанного трансмиссионного масла [91]:

$$Z_o = N_o \cdot P_o \quad (5.18)$$

где N_o – количество образующихся отходов, которым необходима специализированная обработка, кг [32]; P_o – стоимость обработки отходов, устанавливаемая специализированным предприятием, 2 руб/ кг.

$$N_o = 9\%.$$

Тогда:

$$Z_o = 542 \cdot 2 = 1084 \text{ руб.}$$

Прибыль, получаемая от реализации отходов производства [91]:

$$\Pi_o = N_o \cdot C_o, \quad (5.19)$$

где C_o – цена закупки образующихся отходов при регенерации трансмиссионного масла, руб/кг.

$$\Pi_o = 542 \cdot 1,9 = 1030 \text{ руб.}$$

В результате произведенных расчетов издержки на регенерацию трансмиссионного масла будут составлять:

$$Z_o = 17545 + 4562 + 62663 + 38435 + 3124 + 1084 - 1030 = 126383 \text{ руб.}$$

Таким образом годовой экономический эффект будет равен:

$$\mathcal{E}_o = 297990 - 126383 = 171607 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений вычисляется по следующей формуле [83, 154]:

$$C_{ок} = \frac{P_o}{\mathcal{E}}, \quad (5.20)$$

$$C_{ок} = \frac{501300}{171607} = 2,9 \text{ лет.}$$

Таким образом, количество образующихся отходов, в результате внедрения предлагаемой технологии регенерации составит [32]:

$$N'_{отх} = N_{отх} \cdot N_{отх. вос}, \quad (5.21)$$

где $N_{отх. вос}$ – количество образующихся отходов при регенерации масла по предлагаемой технологии, % [32].

$$N_{отх. вос} = 12 \%.$$

Тогда:

$$N'_{отх} = 4860 \cdot 12 \% = 583 \text{ кг.}$$

Данные произведенных вычислений приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Экономическая оценка исследований

Наименование	Вариант		Разница, +/-
	существующий	предлагаемый	
Стоимость трансмиссионного масла, руб./кг	49500	20994	- 28506
Затраты на изготовление, руб.: производственной линии производственной установки гидроциклона	0	501300	+ 501300
	0	469850	+ 469850
	12600	31450	+ 18850
Затраты на трансмиссионное масло, руб./год: для парка автомобилей КамАЗ для одного автомобиля КамАЗ	297990	126383	- 171607
	2980	1264	- 1716
Прибыль, получаемая от продажи отходов производства, руб.	0	1030	+ 1030
Годовой экономический эффект, руб.	-	171607	-
Срок окупаемости, лет	-	2,9	-

На основании полученных результатов внедрение технологии и производственной установки для регенерации отработанных трансмиссионных масел, а также использования в агрегатах трансмиссий автомобилей восстановленного отработанного трансмиссионного масла отработанного масла позволит получить годовой экономический эффект в сумме 171607 руб. и снизить образование отходов на 88 %.

5.3 Рекомендации производству

На основании результатов проведенных эксплуатационных исследований выяснено, что разработанная технология позволяет проводить регенерацию отработанных трансмиссионных масел, не уступающих по эксплуатационным свойствам товарным маслам.

При использовании разработанной технологии регенерации отработанных трансмиссионных масел и их дальнейшем применении, автомобильный парк грузовых автомобилей КамАЗ определенного района, может сократить расходы в 2 - 2,5 раза на покупку штатных масел, уменьшить количество образующихся высокотоксичных отходов и обеспечить себя необходимым количеством трансмиссионного масла, для собственных потребностей, требуемого качества при себестоимости восстановления 40 - 60 % от стоимости товарных масел.

Конструкция предлагаемой установки для регенерации отработанных трансмиссионных масел предполагает возможность изменения технологических режимов, технического устройства по очистке масел, конструктивных параметров гидроциклона, что позволяет, при существующей потребности, регенерировать трансмиссионные масла любых марок, а также моторные и индустриальные масла. Технология по регенерации отработанных трансмиссионных масел обладает низкими трудозатратами, себестоимостью восстановления, за счет сохранения базовой основы масла, является экономически эффективной. Установка для регенерации отработанных трансмиссионных масел с предлагаемой технологией в большей мере соответствует потребностям предприятий АПК, автотранспортного сектора и организациям, занимающихся переработкой и утилизацией отходов нефтяной промышленности, что подтверждено актами внедрений (приложение Г2 - 32).

ВЫВОДЫ

Экономический эффект формируется от использования в агрегатах трансмиссий автомобилей восстановленных отработанных трансмиссионных масел, по разработанной технологии, снижения расхода товарных масел ТСп-15К. Годовой экономический эффект составляет 171607 руб. при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений – 2,9 лет.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана безотходная технология восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел, с применением гидроциклона в качестве технического средства для очистки масла от нерастворимых примесей, и включающая в себя следующие технологические операции: предварительный отстой; нагрев масла в электропечах, осушка масла щелочью; очистка масла в гидроциклоне (гидроциклонирование); обработка масла кислотой с последующим отстоем; компаундирование очищенного масла, при необходимости с базовым маслом М-20 и ввод присадок ДФ-11 и АзНИИ-11 в расчетном количестве и постоянном перемешивании.

2. В качестве технического средства для очистки отработанных трансмиссионных масел от нерастворимых примесей разработан гидроциклон, который включает в себя цилиндрический корпус, кольцевую вставку, коническую диафрагму, входной патрубок прямоугольного сечения подачи отработанного масла, патрубок для вывода очищенного масла, крышку цилиндрической формы. Особенности предлагаемого гидроциклона являются: высокая степень очистки отработанных трансмиссионных масел от нерастворимых примесей, простота устройства и обслуживания, непрерывность действия, возможность установки в любую технологическую линию по очистке масел, способность работать как отдельное техническое средство.

Получены аналитические зависимости угловой скорости частицы нерастворимой примеси возле оси гидроциклона и изменения центробежной силы, действующей на частицу, от условий ограничения входного потока масла, позволяющие определить оптимальные конструктивные параметры гидроциклона и степень очистки отработанных масел от нерастворимых примесей.

3. Определены рациональные технологические режимы очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла: температура нагрева масла при щелочной осушке – 70...80 °С, время выдержки масла со щелочью – 3 ч.; температура нагрева масла при обработке серной кислотой - 70...80 °С, время обработки масла кислотой - 3 ч.; температура компаундирования очищенного трансмиссионного масла с базовым маслом М-20 - 80...90 °С,

время перемешивания - 4 ч., температура ввода присадок ДФ-11 и Аз-НИИ-11 - 80...95 °С, время перемешивания - 4 ч. Экспериментально установлены виды щелочного и кислотного соединений, применяемых для осушки и очистки отработанного масла.

Экспериментально обоснованы теоретически установленные конструктивные параметры и эффективный технологический режим работы гидроциклона при очистке отработанного трансмиссионного масла: давление на входе – 0,4 МПа, длина погружения кольцевой вставки в цилиндрической части - 80 мм, отношение длины кольцевой вставки к высоте цилиндрической части 1:1, обеспечивающие 92 % степень очистки масла от нерастворимых примесей.

4. Проведенная проверка технологии очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел в производственных условиях, а также результаты лабораторных исследований восстановленных отработанных трансмиссионных масел по основным физико-химическим и эксплуатационным показателям, подтвердили возможность ее использования для регенерации масел.

Сравнительные эксплуатационные исследования штатного и восстановленного отработанного трансмиссионного масла подтвердили возможность использования восстановленного масла в качестве полноценного заменителя штатного масла ТСП-15К в агрегатах трансмиссий автомобилей КамАЗ.

5. Годовой экономический эффект составляет 278260 руб. при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений – 1,8 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адельшин, А. Б. Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод [Текст]. Часть 1. Гидроциклоны / А. Б. Адельшин. - Казань: КГАСА, 1996. – 200 с.
2. Альперт, Л. З. Основы проектирования химических установок [Текст]: учебное пособие для учащихся химико-механических техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 304 с.
3. Ананьин, А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин [Текст]: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов [и др.]. – М.: Издательский центр Академия, 2008. – 432 с.
4. Ахсанов, Р. Р. Стабилизация нефти с помощью гидроциклона [Текст] / Р. Р. Ахсанов, В. И. Данилов, Н. Х. Нурмухаметов. – Уфа: Изд. фонда содействия развитию научных исследований, 1996. – 118 с.
5. Балтенас, Р. И. Трансмиссионные масла. Пластичные смазки [Текст] / Р. И. Балтенас, А.С. Сафронов, А.И. Ушаков, В. Шергалис. - СПб.: ООО Издательство ДНК, 2001. - 208 с.
6. Баранов, Д.А. Гидроциклоны в микробиологических производствах: процессы и аппараты химико-фармацевтических и микробиологических производств [Текст]: обзорн. информ. / Д. А Баранов, М. Г. Лагуткин, В. В. Вишняков. - М.: ВНИИСЭНТИ, 1995. - 40 с.
7. Баранов, Д. А. Нетрадиционные способы гидроциклонирования [Текст] / Д. А. Баранов, А. М. Кутепов, Л. Г. Цыганов // Химическая промышленность. – 1994. - № 4. - С. 43-47.
8. Баранов, Д.А. Расчет сепарационных процессов в гидроциклонах [Текст] /Д. А. Баранов, А. М. Кутепов, М. Г. Лагуткин // Теоретические основы химической технологии. – 1996. - т. 30. - № 2. - С.117-122.
9. Барун, В.Н. Автомобили КамАЗ. Руководство по эксплуатации [Текст] / В.Н. Барун. - М.: Машиностроение, 1986. – 380 с.
10. Барун, В.Н. Автомобили КамАЗ: Техническое обслуживание и ремонт [Текст] / В. Н. Барун, Р. А. Азаматов [и др.]. - М.: Транспорт, 1988. – 294 с.
11. Башаров, М. М. Устройство и расчет гидроциклонов [Текст]: учебное пособие / М. М. Башаров, О. А. Сергеева; под ред. А. Г. Лаптева. – Казань: Вестфалика, 2012. – 92 с.

12. Белосельский, Б. С. Технология топлива и энергетических масел [Текст] / Б. С. Белосельский. - М.: Изд. МЭИ, 2003. – 340 с.
13. Береснев, В.В. Серосодержащие присадки на основе олигоизобутенов для смазочных масел [Текст] / В. В. Береснев, Е. А. Степанов, О. А. Юнусов, А. А. Заикина // Химия и технология топлив и масел. – 1992.- №12.- С. 22-23.
14. Бобович, Б. Б. Переработка отходов производства и потребления [Текст]: справочное издание/ Б. Б. Бобович, В. В. Девяткин; под ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Б. Бобовича. - М.: Интернет Инжиниринг, 2000. – 496 с.
15. Болдашев, Г. И. Метод восстановления работоспособности отработанных масел коагуляционной очисткой [Текст] / Г. И. Болдашев // Ресурсосберегающие методы использования сельскохозяйственной техники/ Г. И. Болдашев, Г. П. Савинов, В. Р. Поздняков. - Ульяновск, 1990. - С. 23 -25.
16. Борзенков, В. А. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники [Текст]: справ. изд./ В. А. Борзенков, М. А. Воробьев, Н. А. Кузнецов, А. Н. Никифоров. - М.: Химия, 1988. – 288 с.
17. Боровиков, В. П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. — М.: Информационно-издательский дом Филинь, 1997. – 608 с.
18. Борщевский, С.Б. Новая многофункциональная присадка к смазочным маслам [Текст] / С. Б. Борщевский, Е. В. Шабанова, А. А. Фуфаев, Ф. Н. Мерзликин, О. В. Беляева // Химия и технология топлив и масел. –1997. - №4. - С.4-5.
19. Браун, Э.Д. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Текст] / Э.Д. Браун, Н. А. Буше, И.А. Буяновский [и др.]; под ред. А. В. Чичинадзе: учебник для технических вузов. - М.: Центр Наука и техника, 1995. - 778 с.
20. Будрин, Е. В. Экономика автомобильного транспорта [Текст] / А. Г. Будрин, Е. В. Будрина, М. Г. Григорян [и др.]; под ред. Г. А. Кононовой. – М.: Академия, 2005. – 320 с.
21. Бутов, Н. П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел [Текст] / Н. П. Бутов. - ВНИПТИМЭСХ, 2000. - 410 с.

22. Бутузов, В. Ф. Математический анализ в вопросах и задачах [Текст]: учебное пособие / В. Ф. Бутузов, Н. Ч. Крутицкая, Г. Н. Медведев [и др.]; под ред. В. Ф. Бутузова. - 2-е изд., перераб. - М.: Высш.шк., 1993. – 480 с.
23. Васильева, Л. С. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст] / Л. С. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. – 279 с.
24. Ветошкин, А. Г. Теоретические основы защиты окружающей среды [Текст]. учебное пособие. / А. Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2002. – 79 с.
25. Виленкин, А. В. Масла для шестеренчатых передач [Текст] / А. В. Виленкин. - М.: Химия, 1982. – 248 с.
26. Вилькин, В.Ф. Методические основы установления рациональных сроков смены трансмиссионных масел: (на примере автомобилей "Москвич") [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен.степ. канд. техн. наук (05.22.10) / Вилькин Виталий Фимович; Моск. автомоб.-дор. ин-т. - Москва, 1988. – 17 с.
27. Виппер, А. В. Зарубежные масла и присадки [Текст] / А. Б. Виппер, А. В. Виленкин, Д. А. Гайснер. - М.: Химия, 1981. – 187 с.
28. Вторичные материальные ресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: (образование и использование) [Текст] / Справочник. – М.: Экономика, 1984. – 143 с.
29. Гаевик, Д. Т. Справочник смазчика [Текст] / Д. Т. Гаевик. - М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
30. Геленов, А. А. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст] / А. А. Геленов, А. Д. Шеремет, В. П. Суйц. - М.: Академия, 2010.–304 с.
31. Глущенко, А. А. Разработка технологии и технического средства для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.20.03) / Глущенко Андрей Анатольевич; УГСХА. – Ульяновск, 2009. – 17 с.
32. Глущенко, А. А. Экологически безопасные технологии для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла с использованием гидроциклона [Текст] /А. А. Глущенко. – Ульяновск: ГСХА, 2011. – 167 с.

33. Гнатченко, И. И. Автомобильные масла, смазки, присадки [Текст]: справочное пособие. / И. И. Гнатченко, В. А. Бородин, В. Р. Репников. - М.: ООО Издательство АСТ; СПб.: Издательство Полигон, 2000. - 360 с.
34. Гольнев, В.С. Повышение технического уровня агрегатов и систем моторных и моторно-трансмиссионных установок и тракторов [Текст]: труды / В.С. Гольнев., П.Д. Лупачев. - М.: Головной ОНТИ НПО НАТИ, 1991. - 84 с.
35. ГОСТ 4.24.-84 Система показателей качества продукции. Масла смазочные. Номенклатура показателей [Текст]. - Взамен ГОСТ 4.24-71; введ. 1985-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 13 с.
36. ГОСТ 33-2000 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости [Текст]. - Взамен ГОСТ 33-82; введ. 2002-01-01. - М.: ФГУП Стандартиформ, 2006. - 20 с.
37. ГОСТ 2477-65 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды [Текст]. - Взамен ГОСТ 1044-41; введ. 1966-01-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. - 8 с.
38. ГОСТ 2517-2012 Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб [Текст]. - Взамен ГОСТ 2517-85; введ. 2014-03-01. - М.: Стандартиформ, 2014. - 35 с.
39. ГОСТ 3900-85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности [Текст]. - Взамен ГОСТ 3900-47; введ. 1987-01-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. - 14 с.
40. ГОСТ 4333-87 Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле [Текст]. - Взамен ГОСТ 4333-48; введ. 1988-07-01. - М.: Стандартиформ, 2008. - 8 с.
41. ГОСТ 5985-79. Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа [Текст]. - Взамен ГОСТ 5985-59; введ. 1980-01-01. - М.: ФГУП Стандартиформ, 2006. - 8 с.
42. ГОСТ 9490 - 75 Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине (с Изменениями №1-4) [Текст]. - Взамен ГОСТ 9490-60; введ. 1978-01-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. - 13 с.

43. ГОСТ 9827 – 75 Присадки и масла с присадками. Метод определения фосфора (с Изменениями №1, 2, 3, 4) [Текст]. – Взамен ГОСТ 9827-61; введ. 1977-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999 – 7 с.
44. ГОСТ 11362 – 96 Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования [Текст]. - Взамен ГОСТ 11362-76; введ.1977-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997 – 30 с.
45. ГОСТ 17479.2-85 Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.
46. ГОСТ 20684-75 Масла моторные отработанные. Метод определения нерастворимых осадков [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 3 с.
47. ГОСТ 21046 - 86. Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия [Текст]. - М.: Изд-во стандартов, 1984. – 10 с.
48. ГОСТ 23652-79. Масла трансмиссионные. Технические условия [Текст]. - М.: ФГУП Стандартиформ, 2011. – 11 с.
49. ГОСТ В. 18241- 90. Топливо, масла, смазки и специальные жидкости. Номенклатура и порядок назначения [Текст]. - М.: Издательство стандартов, 1990. – 13 с.
50. ГОСТ Р 53203-2008 Нефтепродукты. Определение серы методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии с дисперсией по длине волны [Текст]. – М.: ФГУП Стандартиформ, 2009. – 18 с.
51. ГОСТ ISO 6247-2013 Нефтепродукты. Определение пенообразующих характеристик смазочных масел [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2013. – 25 с.
52. Грамолин, А. В. Топливо, масла, смазки, жидкости и материалы для эксплуатации и ремонта автомобилей [Текст] / А. В. Грамолин, А. С. Кузнецов. - М.: Машиностроение, 1995. – 321 с.
53. Грушевский, А. И. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст]: учеб. пособие / А. И. Грушевский, П. А. Устюгов, С. В. Мальчиков. - Краснояр. гос. техн. ун-т., Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. – 136 с.
54. Гуцин, В. А. Теоретические предпосылки восстановления основных эксплуатационных свойств смазочных масел [Текст] / В. А. Гуцин, В. В. Остриков, А. И. Гущина. - Тамбов, 1994. – 36 с.

55. Гушин, В. А. Технологические указания по очистке и восстановлению моторного масла [Текст] / В. А. Гушин, В. В. Остриков. - Тамбов, 1994. – 35 с.
56. Данило, В. И. Экология, охрана природы и экологическая безопасность [Текст] / В.И. Данило. - Москва: М11ЭПУ, 1997. – 56 с.
57. Денисов, В. Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта [Текст] / В. Н. Денисов. - СПб., 2003. – 107 с.
58. Дискина, Д. Е. Хроматографические и термоаналитические методы исследования масел и рабочих жидкостей [Текст] / Д. Е. Дискина, Т. Н. Шабалина, И. И. Занозина, В. А. Тыщенко; под ред. Т. Н. Шабалиной. – Самара: ООО Офорт, 2011. – 160 с.
59. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]. Учебник для вузов. Изд. 2-е., в 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. - М.: Химия, 1995. – 400 с.
60. Зарубежные масла, смазки и специальные жидкости [Текст]. Международный справочник. Вып. 2. - М.: Изд. Центр Техинформ, 1998. – 128 с.
61. Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости: Международный каталог. - Вып.3. - ООО Изд-во центр Техинформ МАИ, 2005. – 380 с.
62. Иванов, В. А. Основные физико-химические свойства смазочных материалов [Текст] / В. А. Иванов, М. П. Лябин, С. М. Москвичев. - Волгоград: Политехник, 2001. – 77 с.
63. КамАЗ Автоцентр. Технологические карты по ТО и ремонту автомобиля КамАЗ [Текст]. - М.: Политекс, 1992. - 238 с.
64. Капустин, Ю. И. Трансмиссии автомобилей. Конструирование и расчет [Текст]: учеб. пособие / Ю. И. Капустин. - Казань: Казан, хим.-технол. ин-т, 1986. – 58 с.
65. Картошкин, А. П. Экологическая опасность сброса отработанных смазочных масел [Текст] / А. П. Картошкин // Известия СПб ГАУ/СПб. СПб ГАУ. - 2005. - №2. – С. 82 – 85.
66. Карагодин, В. И. Ремонт автомобилей и двигателей [Текст] / В. И. Кара-годин, Н. Н. Митрохин. – М.: Академия, 2003 – 496 с.

67. Кириченко, Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст]: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Н. Б. Кириченко -2-е изд., стер.-М.: Издательский центр Академия, 2005.- 208 с.
68. Китанин, В. Ф. Рекомендации по использованию топливных и смазочных материалов в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. Ф. Китанин, А. П. Уханов, Ю. В. Гуськов. - Пенза: Полиграфист, 1992. - 42 с.
69. Климов, К. И. Трансмиссионные масла [Текст] / К. И. Климов, Г. И. Кичкин. - М.: Химия, 1970. – 232 с.
70. Коваленко, В. П. Очистка нефтепродуктов от загрязнения [Текст]/ В. П. Коваленко, В. Е. Турчанов. - М.: Недра, 1990 – 158 с.
71. Колесниченко, А. В. Турбулентность многокомпонентных сред [Текст] / А. В. Колесниченко, М. Я. Маров. - М.: МАИК Наука, 1998. – 336 с.
72. Копия отчета о НИР. Исследование и разработка рекомендаций для проектирования установок по очистке эмульсии металлорежущих станков [Текст]. – Днепродзержинск: Всесоюзный научно-технический информационный центр, 1977. – 113 с.
73. Кузнецов, А. В. Топливо и смазочные материалы [Текст] / А. В. Кузнецов. - М.: Колос, 2007. – 199 с.
74. Кузнецов, М. В. Методы, техника измерений и математическая обработка данных [Текст] / М. В. Кузнецов, В. Г. Середкин. – Красноярск: СибФУ, 2007. – 244 с.
75. Кузубова, Л. И. Очистка нефтесодержащих сточных вод [Текст]: аналит. обзор СО РАН, ГПНТБ, НИОХ / Л. И. Кузубова, С. В. Морозов. – Новосибирск, 1992. – 72 с.
76. Кулиев, А. М. Химия и технология присадок к маслам и топливам [Текст] – 2-е изд., перераб./ А. М. Кулиев. - Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1985. – 312 с.
77. Кутепов, А. М. Теория и практика гидроциклонирования [Текст] / А. М. Кутепов, Н. Г. Терновский // Химическая промышленность. – 1984. –№8. - С. 56 – 63.
78. Лагуткин, М.Г. Выбор оптимальных конструктивных и режимных параметров работы гидроциклонов [Текст] / М. Г. Лагуткин, Баранов

- Д. А.// Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 1998. - №2. - С. 3-6.
79. Лагуткин, М.Г. Разделение неоднородных систем в гидроциклонах. Основы теории, расчет, конструктивное оформление [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра. техн. наук (05.17.08) / Лагуткин Михаил Григорьевич. - М.: МГАХМ, 1994. - 47 с.
80. Лагуткин, М. Г. Расчет разделяющей способности цилиндрикоконического гидроциклона на основе детерминированного подхода [Текст] / М. Г. Лагуткин, Д. А. Баранов, С. Ю. Булычев, Е. Ю. Баранова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2004. - №5. - С. 3-6.
81. Ластовкина, Г. А. Справочник нефтепереработчика [Текст] / Г. А. Ластовкина, Е. Д. Радченко, М. Г. Рудина. - Л.: Химия, 1986. – 648 с.
82. Латюк, В.И. Использование производных 1-алкилтипропанола-2 в качестве полифункциональных присадок к смазочным маслам / В. И. Латюк, В. И. Келарев, К. Д. Корнев // Нефтехимия. -2002. - №2. - С. 145-149
83. Ле Хонг Тхань. Разработка показателей и технических средств для оценки и восстановления моторного масла [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.20.03) / Тхань Ле Хонг; УСХИ. - Ульяновск, 1988. - 17 с.
84. Лебедев, О. В. Химмотология автотракторных смазочных материалов и специальных жидкостей [Текст] / О. В. Лебедев. - Ташкент: Фан, 1989. – 103 с.
85. Ленивец, Г. А. Рациональные методы использования масел в сельскохозяйственной технике [Текст]: учебное пособие / Г. А. Ленивец, В. Ф. Глазков, С. Г. Бухвалов, В. Р. Поздняков. – Самара: Самарский СХИ, Главк с.-х. вузов, 1991. – 120 с.
86. Липкович, И. Э. Оптимизация структуры, состава и размещения комплексов регенерации отработанных масел [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.20.03) / Липкович Игорь Эдуардович; А-ЧГАА. - Зерноград, 1995. - 20 с.
87. Лиханов, В. А. Трансмиссионные масла [Текст]: учебное пособие / А. В. Лиханов, Р. Р. Деветьяров. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. – 100 с.
88. Магеррамов, А. М. Нефтехимия и нефтепереработка [Текст]. Учебник для высших учебных заведений / А. М. Магеррамов, Р. А. Ахмедова, Н. Ф. Ахмедова. – Баку: Баки Университети, 2009. – 660 с.

89. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т.4-12 [Текст] / М. Б. Генералов, В. П. Александров, В. В. Алексеев [и др.]; под общ. ред. М. Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. – 832 с.
90. Машков, Е. А. КамАЗ -5320,53212,5410,54112,55111,55102. Техническое обслуживание и ремонт [Текст] / Е. А. Машков. - М.: Третий Рим, 1997. - 88 с.
91. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники [Текст]. — М.: Минсельхозпром России, 1998. – 200 с.
92. Мордашев, Ю. Ф. Устройство автомобилей КамАЗ [Текст]. Учебное пособие. / Ю. Ф. Мордашев, В. Н. Носаков, В. Д. Запойнов. - Н.Новго-род: ВГИПУ, 2010. – 78 с.
93. Мороз, В. В. Восстановление качества масел методом отстаивания [Текст] / В.В. Мороз, А.В. Симоненко // Тракторы и с.-х. машины. - 1999. - № 2. - С. 38-40.
94. Мотовилин, Г. В. Автомобильные материалы [Текст]: справочник. 3-е изд., перераб. и доп./ Г. В. Мотовилин, М. А. Масино, О. М. Суворов. - М.: Транспорт, 1989. – 464 с.
95. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники [Текст]: справ. изд. / В. А. Борзенков, М. А. Воробьев, Н. А. Кузнецов, А. Н. Никифоров. - М.: Химия, 1988. – 288 с.
96. Никифоров, А. Н. Рациональное использование и экономия жидкого топлива и смазок в сельском хозяйстве [Текст] / А. Н. Никифоров. - М.: ВАСХНИЛ, 1985. – 64 с.
97. Остриков, В. В. Восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных масел [Текст] / В. В. Остриков, Г. Д. Матыцин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1997. - №12. - С. 24-26.
98. Остриков, В. В. Восстановление отработанного моторного масла для повторного использования в ДВС [Текст] / В. В. Остриков, Г. Д. Матыцин // Двигателестроение. - №3. - 1999. - С. 30 - 33.
99. Остриков, В. В. Организация повторного использования отработанных масел [Текст] / В. В. Остриков, Г. Д. Матыцин, М. В. Прохоренков // Техника в сельском хозяйстве. - 1999. - №1. - С. 32-34.

100. Остриков, В. В. Организация и технология восстановления отработанных масел [Текст] / В. В. Остриков, Г. Д. Матыцин // Техника в сельском хозяйстве. – 1998. - № 5. - С. 31-33.
101. Остриков, В. В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра. техн. наук (05.20.03) / Остриков Валерий Васильевич. - Саратов, 2000. - 45 с.
102. Остриков, В. В. Производство трансмиссионных масел в АПК [Текст] / В. В. Остриков, А. Ю. Корнев // Сельский механизатор. – 2006. - № 1. - С. 38-39.
103. Остриков, В. В. Современные технологии и оборудование для восстановления отработанных масел [Текст] / В. В. Остриков. - М.: Росинформагротех, 2001. – 80 с.
104. Отчет о НИР. Провести исследования и разработать способ повышения эксплуатационных свойств работающих трансмиссионных масел [Текст]. - Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2003. – 100 с.
105. Отчет о НИР. Разработать научно-обоснованные параметры технологического процесса продления срока службы трансмиссионного масла [Текст]. - Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2004. – 92 с.
106. Отчет о НИР. Разработать технологию приготовления и использования трансмиссионных масел из отработанных смазочных материалов [Текст]. - Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2005. – 120 с.
107. Отчет о НИР. Разработать технологию приготовления и использования трансмиссионных масел из отработанных смазочных материалов. [Текст] (Заключительный). - Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2006. – 180 с.
108. Переработка использованных минеральных масел [Текст] // Техника машиностроения. - 1997. - №3. - С. 57.
109. Петров, И. А. Автомобильные масла, смазки, присадки [Текст] / И. А. Петров. - Л.: Машиностроение, 2001. – 250 с.
110. Полканов, И. П. Методическое пособие по совершенствованию методических исследований [Текст] / И. П. Полканов. - Ульяновск.: УСХИ, 1986 – 86 с.
111. Поникаров, И. И. Машины и аппараты химических производств / И. И. Поникаров, О. А. Перельгин. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

112. Попов, Ю. В. Оптимизация состава трансмиссионного масла ТМ-4 [Текст] / Ю. В. Попов, С. М. Леденев, А. В. Нагин // Нефтепереработка и нефтехимия «Научно-технические достижения и передовой опыт». – 2008. – Вып.2. - С.41 - 42.
113. Пронин, А.А. Типоразмерные ряды гидроциклонов для разделения технологических суспензий и очистки сточных вод [Текст] /А. А. Пронин, А. А. Иванов, Н. А. Кудрявцев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 1998. - №12. - С 45-48.
114. Проскуряков, В. А. Очистка нефтепродуктов и нефтесодержащих вод электрообработкой [Текст] /В. А. Проскуряков.- М.: Химия,1992.– 112 с.
115. Рекомендации по рациональному использованию отработанных нефтепродуктов в условиях АПК административного района [Текст]. - зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1990. – 54 с.
116. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей КамАЗ [Текст]. - Набережные Челны: ОАО КамАЗ, 2003. – 272 с.
117. Рыбаков, К. В. Регенерация отработанных масел и их повторное использование [Текст]: обзор. Информ./ К. В. Рыбаков, В. П. Коваленко. - М.: АгроЦНИИ ТЭИИТО, 1988. - 30 с.
118. Рыбаков, К.В. Сбор и очистка отработавших масел [Текст]: обзорная информация Гасагропром СССР / К.В. Рыбаков [и др.]. - Москва: АгроНИИ-ТЭИТО, 1988. – 29 с.
119. Рыбаков, К.В. Сбор и очистка отработавших масел [Текст]. Обз. инф. Серия Эксплуатация МТП/ К.В. Рыбаков, В.П. Коваленко, В.В. Нигородов. - М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – 87 с.
120. Рыков, В. В. Математическая статистика и планирование эксперимента [Текст] / В. В. Рыков, В. Ю. Иткин. – М.: Российский государственный университет нефти и газа, 2008. – 206 с.
121. Салова, Т. Ю. Основы экологии. Аудит и экспертиза техники и технологий [Текст] / Т. Ю.Салова, Н. Ю. Громова, В. С. Шкрабак, Г. А. Курманов. - СПб., М., Краснодар, 2004. – 335 с.
122. Салова, Т. Ю. Экологический мониторинг окружающей среды при эксплуатации автотракторной техники [Текст] / Т. Ю. Салова. - СПб., 1998. – 80 с.

123. Салов, К. У. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]. Учебное пособие/ К. У. Салов, В. М. Холодов. – Кировск: Северное сияние, 2001. – 128 с.
124. Сафонов, А. С. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст] / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, Н. Д. Юсковец. - СПб.: Гидрометиониздат, 1998. - 223 с.
125. Сафонов, А. С. Химмотология горюче-смазочных материалов [Текст] / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. В. Гришин. - НПИКЦ, 2007. – 488 с.
126. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии [Текст]: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. – М.: ООО Недра - Бизнесцентр, 2000. – 677 с.
127. Совершенствование технологий получения нефтепродуктов [Текст] / под ред.Т. Н. Шабалиной. – Самара: Изд-во ООО Август, 2008. –258 с.
- 128.Справочник. Топливо, смазочные материалы, техническая жидкость [Текст]. - М.: Химия, 1989. – 254 с.
129. Старик, Д. Э. Как рассчитать эффективность инвестиций [Текст] / Д.Э. Старик. - Москва: Финстатинформ, 1996. – 93 с.
130. Степанов, В. А. Диагностика технического состояния узлов трансмиссии газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле [Текст] / В. А. Степанов. - Рыбинск: НПО Сатурн. Науч.-техн. совет: ЦИАМ, 2002. – 231 с.
131. Стребков, С. В. Применение топлива, смазочных материалов и технических жидкостей в агропромышленном комплексе [Текст]. Учебное пособие. / С. В. Стребков, В. В. Стрельцов. - Белгород: Белгородская ГСХА, 1999. – 404 с.
132. Таранникова, Т. Н. Эффективность смазочного действия фосфорсодержащих соединений [Текст] / Т. Н. Таранникова, В. Л. Лашхи // Химия и технология топлив и масел. -1990.- №11.- С. 36-39
133. Терентьев, В. Ф. Смазка и смазочные материалы в трибосистемах [Текст]: Научн. изд. / В. Ф. Терентьев, В. Е. Редькин, С. И. Щелканов. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. - 187 с.
134. Терновский, И. Г. Гидроциклонирование [Текст]. / И. Г. Терновский, А.М. Кутепов. - М.: Наука, 1994. - 350 с.

135. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве [Текст]: учебник для нач. проф. образования / В. В. Курчаткин [и др.]; под ред. В. В. Курчаткина. - М.: Академия, 2003. – 464 с.
136. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. И. Черноиванов [и др.]; под ред. В. И. Черноиванова. - М.: ГОСНИТИ; Челябинск: ЧГАУ, 2003. – 992 с.
137. Титунин, Б. А. Ремонт автомобилей КамАЗ [Текст] / Б. А. Титунин, Н. Г. Старостин, В. М. Мушниченко. — Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. — 288 с.
138. Тозик, А. А. Экономика автомобильного транспорта [Текст] / А. А. Тозик. – Технопринт, 2005. – 140 с.
139. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение [Текст]: справочник. / И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатов [и др.]; под ред. В. М. Школьников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский центр Техинформ, 1999. – 596 с.
140. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение [Текст]: справ. изд./ К. М. Бадыштова, Я. А. Берштадт, [и др.]; под ред. В. М. Школьников. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
141. Трансмиссионные масла. Пластичные смазки [Текст] / Р. А. Балгенов, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. И. Шергалис. - СПб., 2001. – 208 с.
142. Трёмбач, Е. В. Моторные и трансмиссионные масла, присадки: справочное пособие для автомобилиста [Текст] / Е.В. Трёмбач. - Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 160 с.
143. Трофименко, И. Л. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст] / И. Л. Трофименко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. - Минск: Новое издание, 2008. – 232 с.
144. Трофимов, В.А. Эффективность смазывающего действия серо-, фосфор- и азотсодержащих полиметакрилатов [Текст] / В. А. Трофимов, И. М. Лепенова, А. В. Кожекин, П.С. Белов // Химия и технология топлив и масел. -1995. -№2. – С. 25-29.
145. Трошин, Л. И. Математическая статистика [Текст]: учебно-практическое пособие / Л. И. Трошин. – Московский университет экономики, статистики и информатики, 2003. – 144 с.

146. Удлер, Э. И. Фильтрация нефтепродуктов [Текст] / под ред. В. М. Витюгина; Том. инженерно-строительный институт. – Томск: издат. Том. Ун-та, 1988. – 214 с.
147. Уразгалеев, Т. К. Т 58 Топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]: учебное пособие / Т.К. Уразгалеев, В.В. Остриков, В.П. Коваленко, Р.Б. Ширванов [и др.]; под общей редакцией Уразгалеева Т.К., Острикова В.В.- Уральск: Зап.-Казахст. аграр.-техн. ун.-т им. Жангир хана, 2011.- 402 с.
148. Утилизация нефтешлама [Электронный ресурс] / Ульяновск: ООО ЭКОИНВЕСТ, 2014. - Режим доступа [www.ekoinvest.ru / utilizaciya-nefteshlama](http://www.ekoinvest.ru/utilizaciya-nefteshlama).
149. Уханов, А. П. Использование нефтепродуктов, технических жидкостей и ремонтных материалов при эксплуатации мобильных машин [Текст]: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп./ А. П. Уханов, Ю. В. Гуськов, И. И. Артемов, А. В. Климанов. - Самара: СГСХА, 2002. - 292 с.
150. Уханов, А. П. Эксплуатационные материалы для автотранспортных средств [Текст]: учебное пособие / А. П. Уханов, Ю. В. Гуськов, И. И. Артёмов. - Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2003. - 424 с.
151. Фаддеев, М. А. Элементарная обработка результатов эксперимента [Текст] / М. А. Фаддеев. – Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 2002. – 235 с.
152. Фафурин, В. А. Оценка кинематической структуры течения в гидроциклоне [Текст] / В. А. Фафурин // Химия и химическая технология. - 2003. - №3.-С. 153-157.
153. Фукс, И. Г. Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов [Текст] / И. Г. Фукс, А. Ю. Евдокимов, В. Л. Лашки, Ш. М. Сайдахмедов. - М.: Нефть и газ, 1993. – 164 с.
154. Холманов, В. М. Разработка показателей и технических средств для диагностики состояния моторного масла в эксплуатационных условиях [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.20.03) / Холманов Валерий Михайлович; УСХИ. – Ульяновск, 1983. – 17 с.

155. Чередниченко, Г. И. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов [Текст] / Г. И. Чередниченко. - Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1986. – 222 с.
156. Черножуков, Н. И. Окисляемость минеральных масел [Текст] / Н. Л. Черножуков, С. Е. Крейн. - М.- Л.: Гостоптехиздат, 1995. – 372 с.
157. Чулков, П. В. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология [Текст]: справ. изд. / П. В. Чулков, И. П. Чулков. - М.: Политехника, 1996. – 304 с.
158. Шашкин, П. И. Регенерация отработанных нефтяных масел [Текст] / П. И. Шашкин, И. В. Брай. - М.: Химия, 1970. – 303 с.
159. Шестов, Р. Н. Гидроциклоны [Текст] / Р. Н. Шестов. - Л.: Машиностроение, (Ленинградское отделение), 1967. – 88 с.
160. Шор, Г. И. Механизм действия и экспресс-оценка качества масел и присадок [Текст] / Г. И. Шор. - ЦНИИТ, 1996. – 64 с.
161. Яблонский, В.О. Гидродинамика течения неньютоновской жидкости в гидроциклоне [Текст] / В. О. Яблонский // Журнал прикладной химии. - 2000. - №1. - С. 95-98.
162. Якуба, А. Р. Оценка эффективности улавливания пыли циклонами и вихревыми аппаратами [Текст] / А. Р. Якуба, Б. С. Сажин // Химическая промышленность. - 1984. - №7. – С. 431 – 433.
163. Якунина, И. Н. Зарубежные масла, смазки, присадки и их отечественные аналоги [Текст] / И. Н. Якунина, Н. В. Орлова. - Международный каталог, Международная академия информации при ООН: Отделение Оптимизация и информационное обеспечение динамических систем, 1996. – 496 с.
164. ASTM Standart on Petroleum Products [text]. -Philadelphia, 2011. – 108 a.p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ — СМ»

Филиал общества с ограниченной ответственностью
«Газпромнефть — смазочные материалы»
«Омский завод смазочных материалов»

Адрес местонахождения: Россия, 644040
Омск, пр. Губина, д. 1
Адрес для корреспонденции: Россия, 644040
Омск, пр. Губина, д. 1, а/я 8224
Тел.: +7 (3812) 69-07-77, факс: +7 (3812) 67-03-26

04.06.2013 № Сл.отв. 03/008

на № _____ от _____

Первому проректору,
ФГБОУ ВПО «УЛЬЯНОВСКАЯ ГСХА ИМ.
П.А. СТОЛЫПИНА»
Исайчеву. В. А.

бульвар Новый Венец, 1
432017, г.Ульяновск

О запросе

В ответ на Ваше письмо, направляем имеющуюся информацию о трансмиссионном масле ТСп-15К:

1. ГОСТ 23652-79, в котором изложены требования к показателям качества масла ТСп-15 К;
2. Масло трансмиссионное ТСп-15К состоит из пакетов присадок улучшающих противозадирные, противозносовые, низкотемпературные, антиокислительные, вязкостные и антипенные свойства, содержащих ~18% серы, ~1,8% фосфора, ~1,5% азота, вовлекаемых до 6,0% в базовую основу состоящую из дистиллятного и остаточного компонентов масел;
3. Определение химического состава масла ТСп-15К не проводилось.

С уважением,

Директор Филиала

А. Н. Чембулаев

Исп: Миронова И. В.
Тел: Тел: 69-04-28





Россия 42072 Ульяновская область
Ульяновск ул. Л.Т.В.
Б-109 Микрорайон, д. 18

Телефон (8422) 23-00-00
e-mail: info@ul-lab.ru

МФН 73/0007/000
КПП 73/001000

Открытое Акционерное Общество
Ульяновскдорстрой

Строительная лаборатория

ПРОТОКОЛ №04

испытания в пробирке на адгезионное покрытие

Смешаной смеси сост. шпатель в таб. №20-12. Выдано ФБУ «Ульяновский ЦСМ» до 15.06.2015 г.

Испытания проводятся по ГОСТ 12801-98

Заказчик испытаний	Генеральный директор ООО «Ульяновскдорстрой» Сергей Александрович Шенников, г. Ульяновск, пер. Дзержинский Ульяновской области.				
Средства измерения	ООО «Ульяновскдорстрой»				
Применяемые материалы	ООО «У.Д.С.С» «Ульяновск»				
Место сбора	г. Ульяновск ул. Мухоморова, 4			ФАП(ИЗ)	пробир
Дата сбора	11.06.2014г.		Дата испытаний	12.12.2014г.	
Вид испытаний	калей	Температура	20	Влажность	6
Вид пробы	МКД-080				
Дубинка	Шпательная пробирочная смесь ТС-120			Слой	пробир
Средства измерения	Лер.	Угловая линейка	7,3		

Свойства кобальтбеленки

Испытательная характеристика	Формат	Плотность, г/см ³			Средняя плотность	Требования ГОСТ 9128-2009 СМБ		Согласование ГОСТ СМБ	
		1,42	1,43	1,47		1,42	г	мм	
Средняя плотность	проб	1,42	1,42	1,47	1,42	-			
Водопоглощение	%	3,2	3,3	3,3	3,2	не более	4,3	2*	
Набухание	%					-			
Коэффициент усадки					0,29	не более	0,29	2*	

Свойства кобальтбеленки в смеси

Испытательная характеристика	Формат	Плотность, г/см ³			Средняя плотность	Требования ГОСТ 9128-2009		Согласование ГОСТ	
		1,42	1,43	1,47		г	мм	г	мм
Водопоглощение	%	2,9	2,8	2,9	2,9	не более	4	2*	
Средняя плотность	проб	2,2	2,48	2,48	2,48	-			
Прочность при сжатии при 20°С	МПа	9,2	9,7	9,72	9,72	не более	11	2*	
	18°С	3,7	3,7	3,7	3,7	не менее	3,3	2*	
	18°С	1,22	1,42	1,2	1,2	не менее	1,2	2*	
Коэффициент адгезии					0,32	не менее	0,29	2*	

Заключение: Соответствует ГОСТ 9128-2009, СНиП 3.06.03-85

Зам. Лаборанта
ООО «Ульяновскдорстрой»

Сергей Шенников
Лаборант
ЛАБОРАТОРИЯ
И.И.И.

Приложение В

ТЕЛ: 551905

29 АВГ 2008 8:23AM СТР1



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАМАЗ»
НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

пр. Автозаводский, 2, г. Набережные Челны
республика Татарстан, Россия, 423827
тел. (8552) 39-63-67, 55-08-23, факс: 37-28-29
e-mail: prpk@kamaz.org
ОГРН 1 0 2 1 6 0 2 0 1 3 9 7 1

от
на №

28.08.08 № 14-04-4849
от

✓ Генеральному директору
ООО «Газпромнефть-СМ»
А.М.Трухану

г. Москва
Факс: (495) 921-48-63

о качестве масла ТСп-15к.

Уважаемый Александр Михайлович!

Настоящим подтверждаем, что масло ТСп-15к (ГОСТ 23652-79) производства ОАО «Газпромнефть-ОНПЗ» применяется для заправки агрегатов трансмиссии автомобилей КАМАЗ на Главном сборочном конвейере с 1979 года.

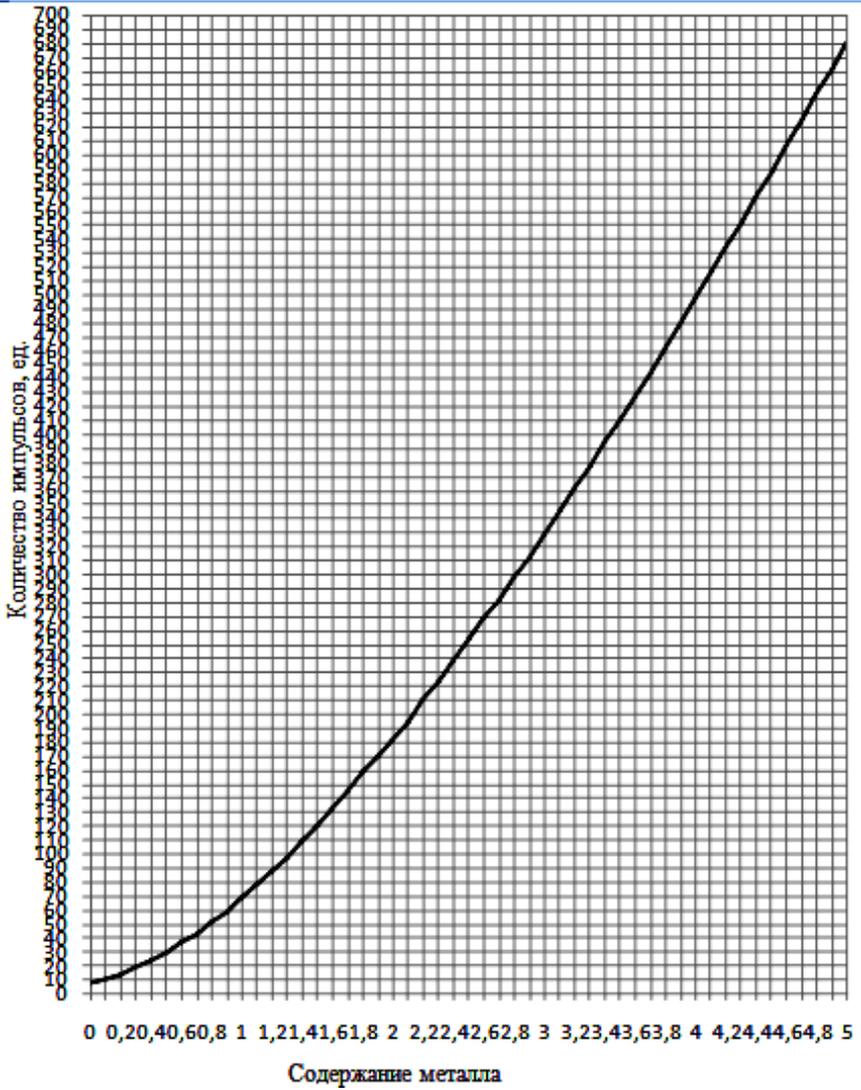
Рекламационных случаев выхода автомобилей КАМАЗ из строя по причине качества указанного масла за этот период не возникало.

Главный конструктор
ОАО «КАМАЗ»

Д.Х.Валеев

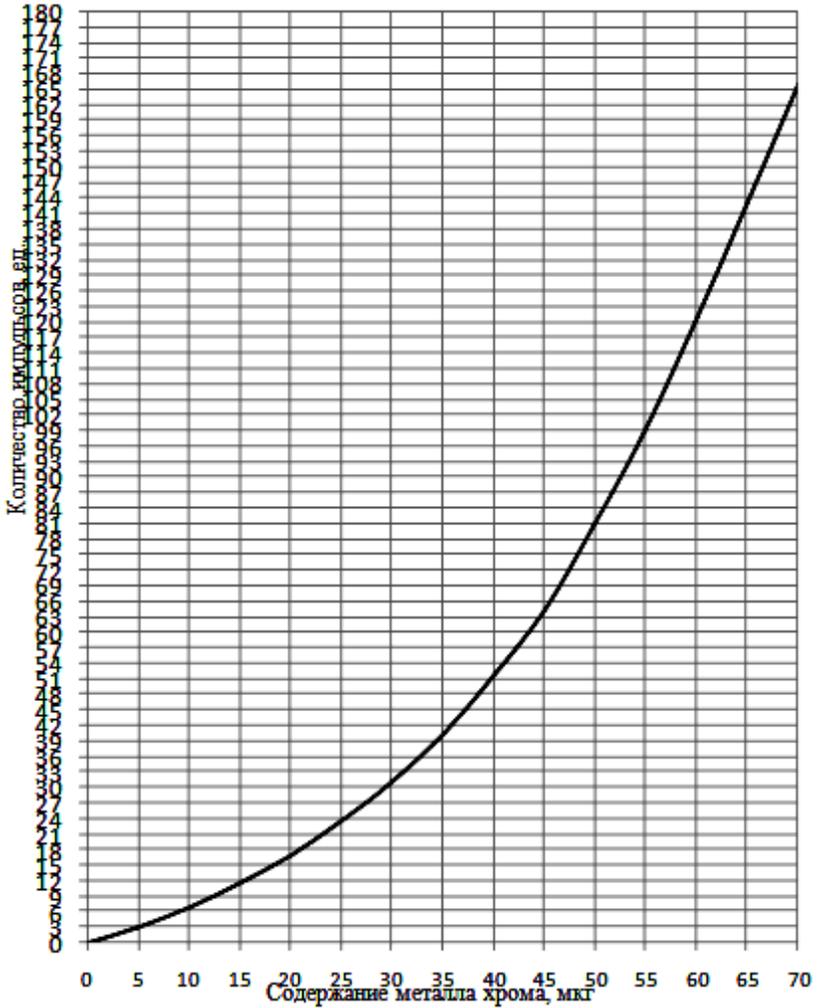
Хафизова Г.П.
(8552) 55-17-40

Тарировочный график содержания металла железа от количества импульсов

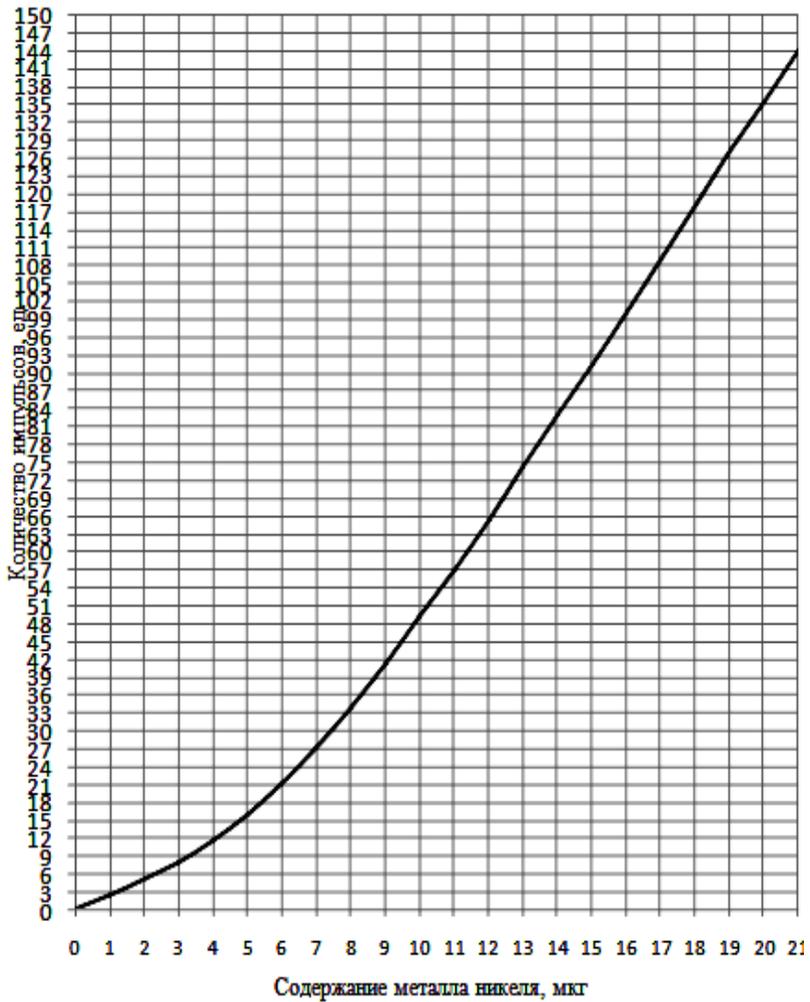


Приложение Д

Тарировочный график содержания металла хрома от количества импульсов



Тарировочный график содержания металла никеля от количества импульсов





**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СРЕДНЕВОЛЖСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ»
(ОАО «СвНИИ НП»)**

Почтовый адрес: Российская Федерация, 446200, Самарская область, г. Новокуйбышевск, ул. Научная, д.1
Место нахождения: Российская Федерация, 446200, Самарская область, г. Новокуйбышевск, ул. Научная, д.1
Телефон: (846-35) 6-24-30. Факс: (846-35) 6-31-77. E-mail: sekret@svniinp.ru
ОКПО 00151911, ОГРН 1026303117510, ИНН/КПП 6330000352/633001001

Протокол испытаний № 4203

«18» МАРТА 2014 года
Страница №1. Общее число страниц 1.

<i>Название, марка продукта</i>	<i>Отработанные масла</i>
<i>Дата и место отбора</i>	<i>нет информации</i>
<i>Дата поступления образца в центр</i>	<i>19/02/14г.</i>
<i>Дополнительные сведения</i>	

№	Наименование показателя, Единица измерения	Метод испытаний	Результат испытания		
			Проба №00	Проба №10	Проба №20
1	Содержание азота, % мас	МВИ 40 Св.об аттест МВИ №224.12.02.044/2007	0,0671	0,0603	0,0570
2	Содержание фосфора, % мас	ГОСТ 9827	0,0778	0,0750	0,0728

Результаты вышеперечисленных тестов действительны только в отношении образцов проб, подвергнутых испытаниям.
Полная или частичная перепечатка протокола без письменного разрешения начальника испытательного центра запрещена

Испытание провели: Числова Ю.С.

Ответственный за испытания:

Начальник центра И.И. Занозина



ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «НЕФТЬ, НЕФТЕПРОДУКТЫ И ХИМРЕАГЕНТЫ»
Аттестат аккредитации № РОСС.RU.0001.515676 от 03 февраля 2014г.

ООО "Газпромнефть - СМ"

Россия, 117647, г. Москва, ул. Профсоюзная, 125А



Паспорт качества № 11028518

МАСЛО ТРАНСМИССИОННОЕ
ТСп-15К ГОСТ 23652-79 с изм.1-8
ДЕКЛАРАЦИЯ О СООТВЕТСТВИИ
 № РОСС RU.11HX20.0017 до 21.11.2012г.
АНО "ОМСКСЕРТИФИКАЦИЯ"

Резервуар:868 Влив,см:640 Количество,т:316.5
 п-61 2340 коробок 7020 канистр по 4 л 25,264 т

Дата изготовления продукта: 22.10.2011

Наименование показателя	Норма по НД	Фактические значения
Плотность при 20оС, г/см3, не более	0,9100	0,8942
Плотность при 15оС г/см3		0,8973
Вязкость кинематическая мм2/с: при 100оС, в пределах	14,00 + 16,00	15,20
Индекс вязкости, не менее	90	95
Вязкость динамическая, Па.с(П), при температуре минус 20оС, не более		
	75	29
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, оС, не ниже	191	228
Температура застывания, оС, не выше	-25	-31
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,010	0,010
Массовая доля воды, % не более	Следы	Следы
Испытание на коррозию при 120оС в течение 3 час., баллы не более	2с	2с
Термоокислительная стабильность на приборе типа ДК-НАМИ при 140оС, в течение 20ч: увеличение вязкости при 100оС, %, не более осадок в петролейном эфире, %, не более	7,0 0,050	2,1 0,040
Склонность к пенообразованию, см3, не более:		
-при 24оС	300	10
-при 94 оС	50	20
-при 24 оС (после испытания при 94оС)	300	10
Трибологические характеристики на четырёхшариковой машине трения: индекс задира (Из), Н не менее	539,0	539,0
нагрузка сваривания(Рс), Н не менее	3479,0	3920,0
показатель износа(ДИ) при осевой нагрузке 392 Н, (40кгс) при (20+-5оС), в течение 1 ч., мм не более	0,50	0,46
Совместимость с резиной марки УИМ-1(изменение объема), в пределах	1 + 8	1

Заключение: Качество продукции соответствует ГОСТ 23652-79 с изм.1-8

Изготовитель: ООО "Газпромнефть - СМ", Россия, 644040, г. Омск, пр. Губкина, 1

Начальник смены: _____

Кибальник С.В.

Паспорт выдан: 25.10.2011 01:41:08



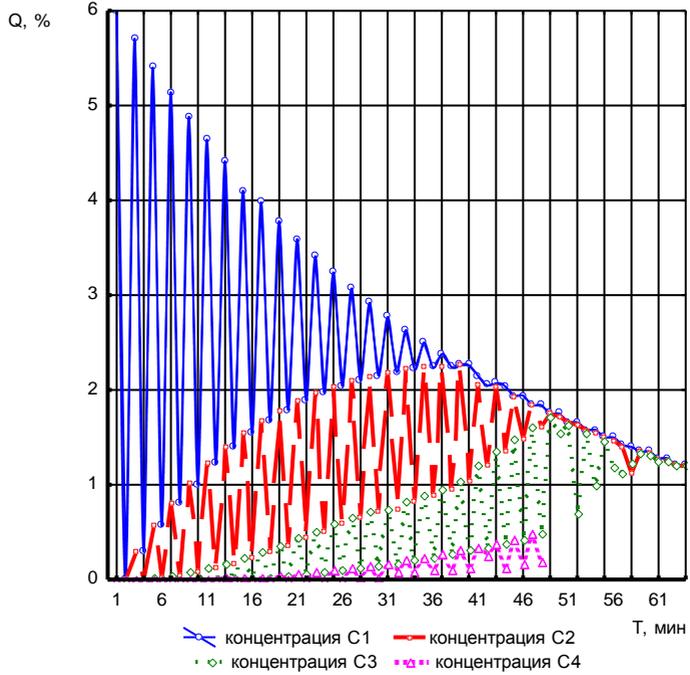
Приложение И

Изменение концентрации активного элемента по ячейкам модели одноконтурного перемешивания при расчете времени компаундирования отработанных масел с присадками

Шаг	Номера ячеек процесса					Общая концентрация, %
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	
1	2	3	4	5	6	7
2	6	0	0	0	0	6,0000
3	5,700	0,3000	0	0	0	6,0000
4	5,4150	0,5700	0,0150	0	0	6,0000
5	5,1440	0,8125	0,0424	0,0007	0	5,9996
6	4,8868	1,0291	0,0815	0,0026	0	6,0000
7	4,6425	1,2219	0,1280	0,0065	0,0001	5,9990
8	4,4100	1,3929	0,1826	0,0126	0,0005	5,9986
9	4,1095	1,5438	0,2431	0,0211	0,0011	5,9186
10	3,9800	1,6756	0,3081	0,0322	0,0021	5,9980
11	3,7810	1,7908	0,3765	0,0460	0,0038	5,9981
12	3,5920	1,8903	0,4472	0,0625	0,0061	5,9981
13	3,4120	1,9754	0,5193	0,0818	0,0092	5,9977
14	3,2414	2,0472	0,5921	0,1037	0,0156	5,9961
15	3,0790	2,1069	0,6649	0,1276	0,0216	5,9905
16	2,9250	2,1555	0,7369	0,1544	0,0282	5,9916
17	2,7787	2,1940	0,7592	0,1835	0,0826	5,9444
18	2,6398	2,2232	0,8309	0,2123	0,0936	5,9458
19	2,5078	2,2440	0,9006	0,2432	0,1012	5,9474
20	2,3824	2,2572	0,9678	0,2760	0,1164	5,9490
21	2,2633	2,2634	1,0323	0,3106	0,1302	5,9507
22	2,1501	2,0502	1,2071	0,3467	0,0984	5,8525
23	2,0727	2,0427	1,3615	0,3898	0,1179	5,9846
24	1,9406	1,9406	1,4975	0,4384	0,1398	5,9569
25	1,8436	1,8436	1,6166	0,4914	0,1644	5,9596
26	1,7514	1,7514	1,7202	0,5476	0,1918	5,9624
27	1,6638	1,6638	1,6342	0,6954	0,2266	5,8838
28	1,5806	1,5806	1,5525	0,9947	0,2763	5,9847
29	1,5016	1,5016	1,4748	1,1801	0,2763	5,9344
30	1,4265	1,4611	1,4211	1,2216	0,3621	5,8924
31	1,3552	1,3552	1,331	1,3273	0,4958	5,8645
32	1,2874	1,2874	1,2645	1,2623	0,8984	6,0000
33	1,2003	1,2002	1,2001	1,1988	1,1986	5,9980

Продолжение приложения И

График изменения концентрации активной присадки или товарного масла от времени перемешивания



Результаты исследований качества трансмиссионного масла

после обработки щелочными соединениями

Показатель	Товарное масло ТСП-15К	Отрабо- танное масло	Масло, обра- ботан- ное NaOH	Масло, обрабо- танное Na_2CO_3	Масло, обработан- ное K_2PO_4	Масло, обра- ботан- ное Na_3PO_4	Методы исследо- ваний
Кинемати- ческая вязкость, mm^2/s	14,4	14,7	14,1	14,0	14,2	13,8	ГОСТ 33-2000
Содержа- ние воды, %	следы	3	1	1,2	0,2	следы	ГОСТ 2477-65
Щелочное число, мг КОН/г	-	0,4	0,7	1,7	0,6	0,5	ГОСТ 11362-96
Кислотное число, мг КОН/г	1,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	ГОСТ 5985-79

Приложение О

Результаты исследований содержания воды от температуры нагрева отработанного трансмиссионного масла и времени выдержки при щелочной осушке

Время выдержки, ч.	Температура отработанного масла, °С	Содержание воды, %	Время выдержки, ч.	Температура отработанного масла, °С	Содержание воды, %
1	20	1	7	20	1
	30	1		30	0,6
	40	0,8		40	0,4
	50	0,8		50	0,1
	60	0,1		60	0,05
	70	0,03		70	0,03
	80	0,03		80	0,03
2	20	1	8	20	1
	30	0,8		30	0,6
	40	0,4		40	0,4
	50	0,1		50	0,1
	60	0,05		60	0,05
	70	0,03		70	0,03
	80	0,03		80	0,03
3	20	1	9	20	0,8
	30	0,6		30	0,6
	40	0,4		40	0,2
	50	0,1		50	0,05
	60	0,04		60	0,03
	70	0,03		70	0,03
	80	0,03		80	0,03
4	20	1	10	20	0,6
	30	0,6		30	0,4
	40	0,4		40	0,1
	50	0,1		50	0,05
	60	0,04		60	0,03
	70	0,03		70	0,03
	80	0,03		80	0,03
5	20	1	11	20	0,4
	30	0,6		30	0,1
	40	0,4		40	0,05
	50	0,1		50	0,03
	60	0,04		60	0,03
	70	0,03		70	0,03
	80	0,03		80	0,03
6	20	1	12	20	0,4
	30	0,6		30	0,1
	40	0,4		40	0,05
	50	0,1		50	0,03
	60	0,04		60	0,03
	70	0,03		70	0,03
	80	0,03		80	0,03

Приложение П

Результаты исследований качества трансмиссионного масла после обработки кислотными соединениями

Показатель	Товарное масло ТСп-15К	Отработанное масло	Масло, обработанное H_2SO_4	Масло, обработанное HCl	Методы исследований
Кинематическая вязкость, mm^2/c	14,4	14,7	13,1	13,8	ГОСТ 33-2000
Содержание нерастворимых примесей, г.(%)	0,0069 (0,01)	0,1132 (0,15)	0,0542 (0,09)	0,0694 (0,10)	Центрифугирование
Кислотное число, мг КОН/г	1,2	0,2	0,5	0,3	ГОСТ 5985-79

Приложение Р

Результаты исследований содержания нерастворимых примесей от температуры нагрева и времени обработки отработанного трансмиссионного масла при очистке кислотой

Время обработки, ч.	Температура отработанного масла, °С	Содержание нерастворимых примесей, г.	Время обработки, ч.	Температура отработанного масла, °С	Содержание нерастворимых примесей, г.
1	20	0,1068	7	20	0,0819
	30	0,1023		30	0,0760
	40	0,0987		40	0,0725
	50	0,0982		50	0,0657
	60	0,0860		60	0,0611
	70	0,0874		70	0,0552
	80	0,0771		80	0,0539
2	20	0,0998	8	20	0,0819
	30	0,0972		30	0,0757
	40	0,0956		40	0,0723
	50	0,0952		50	0,0657
	60	0,0859		60	0,0609
	70	0,0780		70	0,0550
	80	0,0766		80	0,0537
3	20	0,0826	9	20	0,0819
	30	0,0764		30	0,0756
	40	0,0728		40	0,0723
	50	0,0662		50	0,0655
	60	0,0615		60	0,0609
	70	0,0556		70	0,0548
	80	0,0540		80	0,0535
4	20	0,0825	10	20	0,0818
	30	0,0763		30	0,0756
	40	0,0728		40	0,0721
	50	0,0661		50	0,0654
	60	0,0614		60	0,0608
	70	0,0555		70	0,0543
	80	0,0540		80	0,0535
5	20	0,0822	11	20	0,0815
	30	0,0762		30	0,0754
	40	0,0726		40	0,0720
	50	0,0659		50	0,0652
	60	0,0614		60	0,0606
	70	0,0555		70	0,0536
	80	0,0539		80	0,0531
6	20	0,0822	12	20	0,0814
	30	0,0760		30	0,0752
	40	0,0725		40	0,0720
	50	0,0658		50	0,0651
	60	0,0612		60	0,0605
	70	0,0552		70	0,0536
	80	0,0539		80	0,0530

Приложение С

Результаты исследований режимов компаундирования базового масла М-20 с отработанным очищенным трансмиссионным маслом

Зависимость изменения кинематической вязкости от температуры компаундирования с базовым маслом М-20 в очищенном трансмиссионном масле

Температура очищенного масла, °С		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Кинематическая вязкость, мм ² /с	Измерение №1	12,8	13,2	13,75	13,85	14,2	14,0	14,6	14,3	14,1
	Измерение №2	12,8	13,0	13,15	13,65	13,8	14,4	14,0	14,5	14,7
	Сред. значение	12,8	13,1	13,45	13,75	14,0	14,2	14,3	14,4	14,4

Зависимость изменения кинематической вязкости от времени перемешивания с базовым маслом М-20 в очищенном трансмиссионном масле

Время перемешивания, ч.		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Кинематическая вязкость, мм ² /с	Измерение №1	13	12,9	13,45	13,5	13,55	13,95	14,4	14,55	14,35
	Измерение №2	12,6	13,2	13,25	13,8	14,25	14,35	14,2	14,25	14,55
	Ср. значение	12,8	13,1	13,35	13,65	13,9	14,15	14,3	14,4	14,45

Приложение Т

Результаты исследований режимов ввода многофункциональной присадки ДФ-11 в отработанное очищенное трансмиссионное масло по содержанию фосфора:

от температуры ввода присадки ДФ-11

Температура очищенного масла, °С		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Содержание фосфора, %	Измерение №1	0,073	0,0737	0,0743	0,0749	0,0756	0,0768	0,0764	0,0774	0,0776
	Измерение №2	0,0726	0,0728	0,0737	0,0751	0,0764	0,0766	0,0776	0,0768	0,0766
	Сред. значение	0,0728	0,0733	0,074	0,075	0,076	0,0767	0,077	0,0771	0,0771

от времени перемешивания с присадкой ДФ-11

Время перемешивания, ч.		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Содержание фосфора, %	Измерение №1	0,0725	0,0741	0,0747	0,0756	0,0770	0,0771	0,0771	0,0771	0,077
	Измерение №2	0,0731	0,0725	0,0733	0,0744	0,0750	0,0761	0,0767	0,0769	0,077
	Сред. значение	0,0728	0,0733	0,074	0,075	0,076	0,0766	0,0769	0,077	0,077

По содержанию серы:

от температуры ввода присадки ДФ-11

Температура очищенного масла, °С		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Содержание серы, %	Измерение №1	0,9	1,3	1,7	1,85	2,15	2,8	2,5	3,1	3,05
	Измерение №2	1,3	1,6	1,9	2,45	2,75	2,6	3,3	2,9	3,05
	Сред. значение	1,1	1,45	1,8	2,15	2,45	2,7	2,9	3	3,05

от времени перемешивания с присадкой ДФ-11

Время перемешивания, ч.		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Содержание серы, %	Измерение №1	1,5	1,65	1,8	2,6	2,6	2,6	3,25	2,9	3
	Измерение №2	0,7	1,45	2,2	2,0	2,6	3,0	2,65	3,1	3
	Сред. значение	1,1	1,55	2,0	2,3	2,6	2,8	2,95	3	3

Результаты исследований режимов ввода multifunctional присадки АЗНИИ -11 в обработанное очищенное трансмиссионное масло

Зависимость содержания азота в восстановленном очищенном трансмиссионном масле от температуры ввода присадки АЗНИИ-11

Температура очищенного масла, °С		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Содержание азота, %	Измерение №1	0,059	0,064	0,063	0,061	0,068	0,07	0,068	0,074	0,072
	Измерение №2	0,053	0,054	0,059	0,065	0,062	0,064	0,070	0,066	0,068
	Сред. значение	0,056	0,059	0,061	0,063	0,065	0,067	0,069	0,07	0,07

Зависимость содержания азота в восстановленном очищенном трансмиссионном масле от времени перемешивания с присадкой АЗНИИ-11

Время перемешивания, ч.		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Содержание азота, %	Измерение №1	0,051	0,0585	0,065	0,067	0,066	0,0675	0,071	0,072	0,072
	Измерение №2	0,061	0,0585	0,057	0,059	0,064	0,0665	0,067	0,068	0,068
	Сред. значение	0,056	0,0585	0,061	0,063	0,065	0,067	0,069	0,07	0,07

Приложение X

Зависимость содержания нерастворимых примесей в отработанном трансмиссионном масле от давления на входе в гидроциклон и длины погружения кольцевой вставки в поток масла

Длина кольцевой вставки, мм		Давление на входе в гидроциклон, МПа			
		0,2	0,4	0,6	0,8
Гидроциклон №1					
10	Проба №1	0,1286	0,0469	0,0593	0,1172
	Проба №2	0,0902	0,0765	0,0805	0,0904
	Сред. значение	0,1094	0,0617	0,0699	0,1038
Гидроциклон №2					
20	Проба №1	0,0923	0,0902	0,0924	0,1195
	Проба №2	0,0813	0,0760	0,0818	0,1007
	Сред. значение	0,0868	0,0831	0,0871	0,1101
40	Проба №1	0,0968	0,0667	0,0696	0,1036
	Проба №2	0,0792	0,0569	0,0902	0,1188
	Сред. значение	0,0880	0,0618	0,0799	0,1112
60	Проба №1	0,0863	0,0281	0,07	0,0785
	Проба №2	0,0567	0,0559	0,0502	0,0951
	Сред. значение	0,0715	0,0420	0,0601	0,0868
80	Проба №1	0,0670	0,0133	0,0440	0,0943
	Проба №2	0,0766	0,0211	0,0356	0,0861
	Сред. значение	0,0718	0,0172	0,0398	0,0902
100	Проба №1	0,0695	0,0710	0,0479	0,0886
	Проба №2	0,1047	0,0332	0,0733	0,0604
	Сред. значение	0,0871	0,0521	0,0606	0,0745

Приложение Ц

Результаты исследований склонности трансмиссионных масел к пенообразованию

Тип масла	№ исследования	Объем образующейся пены, %		
		При 24 °С	При 94°С	Повторное, при 24°С
Свежее масло	1	100	105	100
	2	100	95	100
	Сред. значение	100	100	100
Отработанное масло	1	170	165	180
	2	150	145	200
	Сред. значение	160	155	190
Восстановленное масло	1	150	145	170
	2	130	145	170
	Сред. значение	140	145	170

Приложение Ч

Результаты исследований отработанного восстановленного трансмиссионного масла и товарного масла ТСп-15К на ЧМТ-1 (индекс задира I_3 , критическая нагрузка $P_{кр}$, нагрузка сваривания $P_{св}$, показатель износа D_u). Время проведения испытания 1 ч

Показатель	Исследуемое масло	
	Отработанное трансмиссионное масло восстановленное присадками	Товарное масло ТСп-15К
I_3 , усл. ед.	556	539
$P_{кр}$, Н	1470	1381
$P_{св}$, Н	4136	3920
D_u , мм	0,42	0,43

Приложение Ш

Изменение содержания железа в трансмиссионном масле от пробега испытуемых автомобилей

№ исследуемой пробы	Среднее содержание железа в трансмиссионном масле, мг.				Пробег, км
	КПП	Средний мост	Задний мост	Среднее значение	
0	0,013	0,013	0,013	0,013	0
1	1,05	2,89	2,21	2,05	6000
2	1,31	3,76	2,82	2,63	12000
3	1,43	4,08	3,09	2,87	18000
4	1,50	4,27	3,26	3,01	24000
5	1,54	4,47	3,38	3,13	30000
6	1,60	4,66	3,50	3,25	36000
7	1,64	4,85	3,63	3,37	42000
8	1,69	4,95	3,68	3,44	48000
9	1,72	5	3,72	3,48	54000

Приложение Щ

Количество импульсов в трансмиссионном масле продуктов износа Fe

№ исследуемой пробы	Количество импульсов в КПП			Количество импульсов в среднем мосту			Количество импульсов в заднем мосту		
	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Fe	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Fe	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Fe
0	350	358	8	346	354	8	332	340	8
1	357	429	72	351	662	311	349	559	210
2	338	438	100	337	790	453	337	637	300
3	326	438	112	335	847	512	354	696	342
4	334	454	120	343	890	547	340	708	368
5	329	455	126	345	927	582	326	718	392
6	354	486	132	339	956	617	350	763	413
7	348	486	138	342	995	653	323	753	430
8	334	476	142	347	1022	675	356	796	440
9	341	485	144	348	1028	680	327	772	445

Приложение Э

Изменение содержания хрома в трансмиссионном масле от пробега испытуемых автомобилей

№ исследуемой пробы	Среднее содержание хрома в трансмиссионном масле, мг.				Пробег, км
	КПП	Средний мост	Задний мост	Среднее значение	
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0
1	0,048	0,051	0,048	0,049	6000
2	0,058	0,061	0,058	0,059	12000
3	0,062	0,065	0,063	0,063	18000
4	0,063	0,067	0,065	0,065	24000
5	0,064	0,068	0,065	0,066	30000
6	0,064	0,068	0,066	0,066	36000
7	0,065	0,069	0,066	0,067	42000
8	0,065	0,070	0,067	0,067	48000
9	0,066	0,071	0,067	0,068	54000

Приложение Ю

Количество импульсов в трансмиссионном масле продуктов износа Cr

№ исследуемой пробы	Количество импульсов в КПП			Количество импульсов в среднем мосту			Количество импульсов в заднем мосту		
	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Cr	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Cr	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Cr
0	128	128	0	136	136	0	153	153	0
1	161	206	77	129	211	82	147	222	75
2	152	267	115	144	266	122	132	248	116
3	122	251	129	153	296	143	148	282	134
4	114	250	136	126	280	154	137	155	142
5	129	268	139	151	309	158	158	304	146
6	154	295	141	112	272	160	130	278	148
7	148	291	143	140	302	162	153	303	150
8	134	279	145	122	286	164	125	277	152
9	141	287	146	119	284	165	120	273	153

Приложение Я

Изменение содержания никеля в трансмиссионном масле от пробега испытуемых автомобилей

№ исследуемой пробы	Среднее содержание никеля в трансмиссионном масле, мг.				Пробег, км
	КПП	Средний мост	Задний мост	Среднее значение	
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0
1	0,0133	0,0114	0,0120	0,0122	6000
2	0,0177	0,0152	0,0159	0,0163	12000
3	0,0195	0,0166	0,0175	0,0179	18000
4	0,0201	0,0171	0,0180	0,0184	24000
5	0,0205	0,0173	0,0182	0,0187	30000
6	0,0206	0,0175	0,0183	0,0188	36000
7	0,0207	0,0176	0,0184	0,0189	42000
8	0,0208	0,0177	0,0185	0,0190	48000
9	0,021	0,0178	0,0186	0,0191	54000

Приложение А1

Количество импульсов в трансмиссионном масле продуктов износа Ni

№ исследуемой пробы	Количество импульсов в КПП			Количество импульсов в среднем мосту			Количество импульсов в заднем мосту		
	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Ni	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Ni	с фильтра	с осадка на фильтре	с осадка по Ni
0	68	68	0	62	62	0	60	60	0
1	54	131	77	57	118	61	34	100	66
2	56	172	116	45	138	93	33	132	99
3	38	169	131	31	136	105	56	169	113
4	62	199	137	58	168	110	63	181	118
5	44	184	140	30	142	112	66	186	120
6	62	203	141	59	172	113	35	156	121
7	46	188	142	40	154	114	57	179	122
8	43	186	143	38	153	115	44	167	123
9	60	204	144	36	152	116	48	172	124

Зависимость изменения кинематической вязкости трансмиссионных масел от пробега в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, мм²/с

Тип масла	№ ав- томо- бля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	9	12	18	24	30	36	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	14,4	13,9	13,65	13,5	13,4	13,5	13,65	13,9	14,35	14,5	
	2	14,4	13,85	13,6	13,4	13,35	13,5	13,75	13,95	14,25	14,45	
	3	14,4	13,75	13,55	13,35	13,35	13,4	13,5	13,8	14,2	14,45	
	4	14,4	14,0	13,8	13,7	13,65	13,7	13,8	14,05	14,25	14,4	
	5	14,4	13,9	13,3	13,25	13,5	13,85	13,25	13,3	14,0	14,25	
Ср. значе- ние	14,4	13,88	13,58	13,45	13,56	13,76	13,4	13,9	14,2	14,4		
Восста- новлен- ноемасло присад- ками	1	14,4	14,38	14,38	14,36	14,34	14,37	14,39	14,39	14,42	14,44	
	2	14,4	14,38	14,36	14,35	14,33	14,33	14,36	14,4	14,42	14,42	
	3	14,4	14,4	14,4	14,37	14,38	14,39	14,37	14,36	14,37	14,38	
	4	14,4	14,39	14,37	14,34	14,33	14,33	14,36	14,39	14,42	14,42	
	5	14,4	14,4	14,39	14,38	14,37	14,38	14,37	14,36	14,37	14,39	
Ср. значе- ние	14,4	14,39	14,37	14,36	14,35	14,36	14,37	14,38	14,4	14,41		

Зависимость изменения кинематической вязкости трансмиссионных масел от пробег в среднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, мм²/с

Тип масла	№ автотомобиля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	14,4	13,85	13,6	13,4	13,45	13,7	14,0	14,25	14,65	14,75	
	2	14,4	14,05	13,75	13,5	13,4	13,6	13,95	14,3	14,5	14,55	
	3	14,4	13,9	13,55	13,45	13,4	13,65	14,05	14,4	14,65	14,75	
	4	14,4	13,85	13,5	13,4	13,45	13,6	13,9	14,3	14,6	14,75	
	5	14,4	13,95	13,65	13,35	13,35	13,65	13,8	14,25	14,6	14,7	
	Ср. значение	14,4	13,92	13,61	13,43	13,43	13,65	13,95	14,3	14,6	14,7	
Восстановленное масло присадками	1	14,4	14,39	14,39	14,39	14,41	14,47	14,50	14,58	14,68	14,76	
	2	14,4	14,37	14,36	14,39	14,43	14,47	14,52	14,55	14,66	14,72	
	3	14,4	14,39	14,38	14,4	14,41	14,42	14,45	14,51	14,59	14,67	
	4	14,4	14,39	14,37	14,38	14,4	14,48	14,52	14,56	14,65	14,74	
	5	14,4	14,41	14,4	14,39	14,4	14,41	14,46	14,5	14,57	14,66	
	Ср. значение	14,4	14,39	14,38	14,39	14,41	14,45	14,49	14,54	14,63	14,71	

Зависимость изменения кинематической вязкости трансмиссионных масел от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей КАМАЗ, мм²/с

Тип масла	№ автотомобиля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	14,4	13,7	13,45	13,4	13,5	13,55	13,85	14,25	14,55	14,7	
	2	14,4	13,75	13,45	13,35	13,45	13,65	13,95	14,35	14,65	14,75	
	3	14,4	13,7	13,5	13,5	13,45	13,6	13,8	14,2	14,5	14,55	
	4	14,4	13,85	13,6	13,5	13,35	13,55	14,0	14,45	14,55	14,55	
	5	14,4	13,7	13,5	13,35	13,4	13,65	14,0	14,25	14,45	14,45	
	Ср. значение	14,4	13,75	13,5	13,42	13,42	13,6	13,92	14,3	14,55	14,6	
Восстановленное масло при-ло при-садками	1	14,4	14,36	14,37	14,36	14,38	14,41	14,45	14,52	14,62	14,69	
	2	14,4	14,4	14,36	14,35	14,4	14,4	14,43	14,51	14,63	14,71	
	3	14,4	14,41	14,39	14,38	14,39	14,4	14,4	14,46	14,57	14,62	
	4	14,4	14,38	14,37	14,37	14,4	14,4	14,47	14,51	14,6	14,66	
	5	14,4	14,4	14,41	14,39	14,38	14,39	14,4	14,45	14,53	14,62	
	Ср. значение	14,4	14,39	14,38	14,37	14,39	14,4	14,43	14,49	14,59	14,66	

Зависимость изменения кислотного числа трансмиссионных масел от пробега в КПП исследуемых автомобилей
КаМАЗ, мг/КОН Г

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	1,22	1,1	0,99	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92	0,9	0,9
	2	1,22	1,09	1,03	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,93	0,92
	3	1,22	1,14	1,08	1,05	1,02	0,98	0,97	0,97	0,95	0,95
	4	1,22	1,07	1,0	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91
	5	1,22	1,15	1,1	1,07	1,03	1,0	0,99	0,99	0,97	0,97
	Ср. значение	1,22	1,11	1,04	1,0	0,98	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
Восстановленное масло присадки	1	1,22	1,11	1,06	1,01	1,0	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93
	2	1,22	1,14	1,05	0,99	0,98	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92
	3	1,22	1,16	1,1	1,04	1,02	1,02	1,02	0,98	0,99	0,99
	4	1,22	1,11	1,05	1,0	0,98	0,94	0,95	0,93	0,91	0,91
	5	1,22	1,18	1,09	1,06	1,02	1,0	0,97	0,98	0,96	0,95
	Ср. значение	1,22	1,14	1,07	1,02	1,0	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94

Зависимость изменения кислотного числа трансмиссионных масел от пробега в среднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, мг/КОН г

Тип масла	№ ав-томобля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	1,22	0,87	0,65	0,54	0,42	0,37	0,32	0,28	0,26	0,26
	2	1,22	0,9	0,68	0,56	0,43	0,36	0,31	0,28	0,24	0,24
	3	1,22	1,0	0,75	0,58	0,51	0,41	0,35	0,34	0,31	0,28
	4	1,22	0,88	0,66	0,52	0,42	0,37	0,34	0,3	0,27	0,27
	5	1,22	0,95	0,76	0,6	0,52	0,44	0,38	0,35	0,32	0,3
Ср. значение	1,22	0,92	0,7	0,56	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28	0,27	
Восстановленное масло присадками	1	1,22	0,98	0,79	0,64	0,53	0,46	0,4	0,36	0,34	0,32
	2	1,22	0,94	0,77	0,62	0,55	0,48	0,39	0,35	0,32	0,32
	3	1,22	1,02	0,82	0,7	0,59	0,48	0,44	0,43	0,37	0,36
	4	1,22	0,97	0,78	0,65	0,54	0,47	0,39	0,34	0,33	0,32
	5	1,22	1,04	0,84	0,69	0,59	0,51	0,48	0,42	0,39	0,38
Ср. значение	1,22	0,99	0,8	0,66	0,56	0,48	0,42	0,38	0,35	0,34	

зависимость изменения кислотного числа трансмиссионных масел от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, мг/КОН Г

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	1,22	0,94	0,83	0,71	0,64	0,6	0,57	0,52	0,5	0,49
	2	1,22	0,95	0,85	0,72	0,65	0,62	0,59	0,55	0,54	0,52
	3	1,22	1,03	0,89	0,76	0,71	0,66	0,63	0,6	0,58	0,58
	4	1,22	1,01	0,87	0,77	0,69	0,65	0,58	0,56	0,53	0,53
	5	1,22	0,97	0,81	0,74	0,71	0,67	0,63	0,62	0,6	0,58
Ср. значение	1,22	0,99	0,84	0,75	0,69	0,64	0,6	0,58	0,56	0,55	
Восстановленное масло присадками	1	1,22	1,03	0,87	0,8	0,74	0,71	0,66	0,6	0,59	0,57
	2	1,22	1,01	0,86	0,75	0,71	0,69	0,65	0,61	0,59	0,58
	3	1,22	1,12	0,99	0,88	0,77	0,74	0,71	0,67	0,65	0,64
	4	1,22	1,0	0,85	0,77	0,7	0,67	0,64	0,62	0,57	0,58
	5	1,22	1,09	0,98	0,85	0,83	0,74	0,69	0,65	0,65	0,63
Ср. значение	1,22	1,05	0,91	0,81	0,75	0,71	0,67	0,63	0,61	0,6	

Зависимость изменения плотности трансмиссионных масел от пробега в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, кг/м³

Тип масла	№ ав-томо-бля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	891	891,85	892,2	892,45	892,95	893,1	893,4	893,7	893,75	893,8	
	2	891	891,75	892,3	892,75	893	893,25	893,4	893,65	893,8	893,85	
	3	891	891,5	891,95	892,1	892,5	892,65	892,95	893	893,25	893,35	
	4	891	891,7	892,25	892,85	892,9	893,2	893,25	893,6	893,65	893,7	
	5	891	891,45	891,8	892,05	892,35	892,8	893	893,05	893,25	893,3	
	Ср. значение	891	891,65	892,1	892,45	892,75	893	893,2	893,4	893,55	893,6	
Восстановленное масло присадки	1	891	891,75	892	892,5	892,65	892,9	893	893,4	893,65	893,7	
	2	891	891,55	891,95	892,35	892,6	892,95	893,15	893,3	893,55	893,5	
	3	891	891,35	891,7	892,95	892,3	892,55	892,7	893	893,05	893,25	
	4	891	891,6	892,1	892,4	892,7	892,95	893,1	893,35	893,7	893,75	
	5	891	891,25	891,75	891,8	892,25	892,4	892,8	892,95	893,05	893,3	
	Ср. значение	891	891,5	891,9	892,2	892,5	892,75	892,95	893,2	893,4	893,5	

Зависимость изменения плотности трансмиссионных масел от пробег в среднем мосту исследуемых автомобилей
 КАМАЗ, кг/м³

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	891	894,65	895,9	896,75	897,15	897,65	897,8	898,1	898,15	898,05	
	2	891	894,7	895,8	896,6	897,2	897,75	897,9	898,15	898,1	898,1	
	3	891	893,95	895,55	896,3	896,9	897,35	897,45	897,55	897,6	897,55	
	4	891	894,6	895,95	896,8	897,3	897,5	897,95	898,15	898,2	898,25	
	5	891	894,1	895,35	896,25	896,95	897,25	897,4	897,55	897,95	898,05	
Ср. значение	891	894,4	895,7	896,55	897,1	897,5	897,7	897,9	898	898		
Восстановленное масло присадка-МИ	1	891	893	894,2	895,35	896,1	896,75	897,2	897,55	897,7	897,7	
	2	891	892,9	894,35	895,25	896	896,6	897,05	897,35	897,55	897,8	
	3	891	892,55	893,85	894,8	895,65	896,25	896,6	897,05	897,25	897,4	
	4	891	892,85	894,15	895,4	896,05	896,7	897,25	897,45	897,8	897,8	
	5	891	892,45	893,95	894,95	895,7	896,2	896,65	897,1	897,2	897,3	
Ср. значение	891	892,75	894,1	895,15	895,9	896,5	896,95	897,3	897,5	897,6		

Зависимость изменения плотности трансмиссионных масел от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей
КАМАЗ, кг/м³

Тип масла	№ ав- томо- бия	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСт-15К	1	891	893,85	894,65	894,85	895	895,1	895,4	895,45	895,7	895,7
	2	891	893,75	894,6	894,9	894,95	895,25	895,3	895,35	895,4	895,55
	3	891	893,15	894,15	894,5	894,7	894,85	894,9	895,05	895,1	895,2
	4	891	893,7	894,55	894,8	894,9	895,25	895,4	895,6	895,65	895,75
	5	891	893,05	894,05	894,45	894,65	894,8	895	895,05	895,15	895,3
Ср. значе- ние	891	893,5	894,4	894,7	894,9	895,1	895,2	895,3	895,4	895,5	
Восста- новленное масло присадка- ми	1	891	892,5	893,55	894	894,2	894,6	894,85	895	895,35	895,4
	2	891	892,5	893,45	894,05	894,35	894,65	894,9	895,1	895,2	895,3
	3	891	892,25	893,1	893,55	893,9	894,25	894,4	894,75	894,85	894,95
	4	891	892,55	893,55	893,9	894,45	894,55	894,7	894,9	895	895,4
	5	891	892,2	892,85	893,5	893,85	894,2	894,4	894,5	894,85	894,95
Ср. значе- ние	891	892,4	893,3	893,8	894,15	894,45	894,65	894,85	895,05	895,2	

Зависимость изменения содержания нерастворимых примесей в трансмиссионных маслах от пробега в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, г

Тип масла	№ автотомобиля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	0,0298	0,0329	0,0339	0,0346	0,0347	0,0347	0,0347	0,0345	0,0351	0,0352	0,0351
	2	0,0298	0,0328	0,0342	0,0345	0,0346	0,0348	0,0348	0,0347	0,035	0,0351	0,0355
	3	0,0298	0,0319	0,0334	0,0338	0,0338	0,0339	0,0343	0,0343	0,0344	0,0345	0,0344
	4	0,0298	0,0327	0,034	0,0342	0,0345	0,0347	0,0344	0,0344	0,0343	0,0344	0,0349
	5	0,0298	0,0317	0,0335	0,0337	0,0339	0,0339	0,0341	0,0342	0,0342	0,0342	0,0341
	Ср. значение	0,0298	0,0325	0,0339	0,0342	0,0343	0,0343	0,0344	0,0345	0,0345	0,0345	0,0346
Восстановленное масло присадками	1	0,0298	0,0317	0,0327	0,0334	0,0339	0,0340	0,0340	0,0344	0,0343	0,0345	0,0346
	2	0,0298	0,0315	0,0326	0,0331	0,0337	0,0340	0,0342	0,0344	0,0344	0,0346	0,0346
	3	0,0298	0,0309	0,0319	0,0327	0,0328	0,0330	0,0333	0,0338	0,0337	0,0337	0,0339
	4	0,0298	0,0318	0,0328	0,0336	0,0337	0,0339	0,0340	0,0342	0,0342	0,0345	0,0347
	5	0,0298	0,0306	0,032	0,0327	0,0329	0,0331	0,0331	0,0333	0,0333	0,0337	0,0337
	Ср. значение	0,0298	0,0313	0,0324	0,0331	0,0334	0,0336	0,0338	0,034	0,0342	0,0342	0,0343

Зависимость изменения содержания нерастворимых примесей в трансмиссионных маслах от пробега в среднем по ряду исследуемых автомобилей КамАЗ, г

Гид масла	№ ав-томобля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	0,0298	0,0408	0,0451	0,046	0,0467	0,0477	0,0486	0,0491	0,05	0,0501	
	2	0,0298	0,0402	0,0453	0,0462	0,0468	0,0474	0,0485	0,049	0,0498	0,0499	
	3	0,0298	0,0394	0,0438	0,0458	0,0463	0,0466	0,0472	0,0485	0,0489	0,0493	
	4	0,0298	0,0399	0,0443	0,0459	0,0469	0,0475	0,0483	0,0488	0,0495	0,0496	
	5	0,0298	0,0397	0,0435	0,0451	0,0463	0,0468	0,0474	0,0486	0,0488	0,0491	
	Ср. значение	0,0298	0,04	0,0445	0,0458	0,0466	0,0472	0,048	0,0489	0,0494	0,0495	
Восстановленное масло при-садками	1	0,0298	0,0361	0,0404	0,0430	0,0440	0,0451	0,0463	0,0474	0,0482	0,0489	
	2	0,0298	0,0364	0,0408	0,0429	0,0445	0,0453	0,0461	0,0473	0,0486	0,0488	
	3	0,0298	0,0350	0,0391	0,0417	0,0434	0,0443	0,0454	0,0461	0,0476	0,0477	
	4	0,0298	0,0363	0,0405	0,0429	0,0438	0,0451	0,0464	0,0472	0,0481	0,0485	
	5	0,0298	0,0352	0,0392	0,0405	0,0428	0,0447	0,0453	0,0465	0,0470	0,0476	
	Ср. значение	0,0298	0,0358	0,04	0,0422	0,0437	0,0449	0,0459	0,0469	0,0479	0,0483	

Зависимость изменения содержания нерастворимых примесей в трансмиссионных маслах от пробег в заднем мосту исследуемых автомобилей КамаЗ, г

Тип масла	№ ав- томо- бия	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСп-15К	1	0,0298	0,0368	0,0387	0,0398	0,0399	0,0403	0,0409	0,0417	0,043	0,0438
	2	0,0298	0,0367	0,038	0,0393	0,0398	0,0404	0,0408	0,0416	0,0426	0,0432
	3	0,0298	0,0357	0,0389	0,0391	0,0394	0,0397	0,0403	0,0411	0,0422	0,0427
	4	0,0298	0,0361	0,0382	0,0395	0,0397	0,0401	0,0409	0,0417	0,0424	0,0428
	5	0,0298	0,0357	0,0382	0,0383	0,0392	0,0395	0,0401	0,0409	0,0418	0,0425
Ср. значе- ние	0,0298	0,0363	0,0385	0,0391	0,0395	0,0401	0,0407	0,0415	0,0425	0,043	
Восста- новленное масло при- садками	1	0,0298	0,0340	0,0365	0,0378	0,0384	0,0392	0,0399	0,0403	0,0415	0,0416
	2	0,0298	0,0342	0,0367	0,0380	0,0386	0,0390	0,0397	0,0404	0,0410	0,0413
	3	0,0298	0,0331	0,0357	0,0372	0,0377	0,0384	0,0389	0,0396	0,0402	0,0408
	4	0,0298	0,0339	0,0365	0,0374	0,0383	0,0391	0,0397	0,0401	0,0409	0,0411
	5	0,0298	0,0333	0,0356	0,0366	0,0380	0,0383	0,0388	0,0396	0,0404	0,0407
Ср. значе- ние	0,0298	0,0337	0,0362	0,0374	0,0382	0,0388	0,0394	0,04	0,0408	0,0411	

Зависимость изменения импульсов от содержания железа в трансмиссионных маслах от пробега в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, имп. [XXXXXX](#)

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	0	78	107	114	129	132	136	142	148	149
	2	0	77	104	119	125	127	135	140	144	146
	3	0	67	95	108	116	120	127	133	135	138
	4	0	73	101	113	121	129	134	141	147	148
	5	0	65	93	106	109	122	128	134	136	139
	Ср. значение	0	72	100	112	120	126	132	138	142	144
Восстановленное масло присадками	1	0	41	71	90	108	118	121	129	133	133
	2	0	42	72	93	104	116	120	127	135	136
	3	0	31	62	82	94	106	114	117	123	128
	4	0	42	69	94	105	112	123	131	134	135
	5	0	34	61	81	94	103	117	121	120	123
	Ср. значение	0	38	67	88	101	111	119	125	129	131

Зависимость изменения импульсов от содержания железа в трансмиссионных маслах от пробега в среднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, [ИМП](#).

Тип масла	№ ав- томо- биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСп-15К	1	0	316	456	515	551	584	618	655	682	683
	2	0	313	458	514	552	588	622	659	685	684
	3	0	307	449	506	543	576	608	647	666	674
	4	0	315	454	516	549	585	623	656	677	683
	5	0	304	448	509	540	577	614	648	665	676
Ср. значе- ние	0	311	453	512	547	582	617	653	675	680	
Восста- новлен- ное масло присад- ками	1	0	163	290	380	445	501	547	582	614	625
	2	0	167	287	378	446	500	541	583	609	620
	3	0	151	271	368	434	490	530	571	602	613
	4	0	159	282	375	443	498	543	579	610	621
	5	0	150	270	364	432	486	529	575	605	616
Ср. значе- ние	0	158	280	373	440	495	538	578	608	619	

Зависимость изменение импульсов от содержания железа в трансмиссионных маслах от пробег в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, км/ч.

Тип масла	№ ав-тото-бия	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСл-15К	1	0	212	309	347	371	397	421	435	443	449
	2	0	212	302	343	372	398	416	437	442	447
	3	0	208	294	338	362	386	407	422	435	439
	4	0	213	305	348	370	393	415	432	446	450
	5	0	205	290	334	365	386	406	424	434	440
Ср. значение	0	210	300	342	368	392	413	430	440	445	
Восстановленное масло присадками	1	0	113	197	254	293	326	356	375	396	409
	2	0	110	194	256	298	322	353	378	402	405
	3	0	103	188	243	283	314	342	370	390	397
	4	0	110	191	252	297	325	352	379	399	411
	5	0	104	185	240	284	318	342	368	388	398
Ср. значение	0	108	191	249	291	321	349	374	395	404	

Зависимость изменения импульсов от содержания хрома в трансмиссионных маслах от пробег в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, www.kamaz.ru, ИМП.

Тип масла	№ ав-тото-бия	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	0	81	123	130	143	143	148	147	150	150
	2	0	84	116	137	144	145	146	149	150	153
	3	0	69	109	122	130	131	130	137	140	140
	4	0	78	121	132	138	143	147	148	147	149
	5	0	73	106	124	125	133	134	134	138	138
Ср. значение	0	77	115	129	136	139	141	143	145	146	
Восстановленное масло присадками	1	0	50	77	94	107	108	112	114	120	120
	2	0	46	80	90	103	110	113	117	121	124
	3	0	39	66	86	94	100	105	109	111	114
	4	0	49	75	94	105	108	109	117	121	122
	5	0	41	62	86	91	99	106	108	112	115
Ср. значение	0	45	72	90	100	105	109	113	117	119	

Зависимость изменения импульсов от содержания хрома в трансмиссионных маслах от пробег в среднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, имп. www.kamaz.ru

Тип масла	№ ав-томо-бля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	0	90	130	148	157	162	163	165	167	167	169
	2	0	84	124	144	155	164	165	166	169	169	160
	3	0	75	119	135	147	149	153	158	159	167	168
	4	0	83	124	149	161	161	163	164	167	158	161
	5	0	78	113	139	150	154	156	157	158	164	165
Ср. значение	0	82	122	143	154	158	160	162	164	164	165	
Восстановленное масло присадками	1	0	54	88	108	117	124	130	134	138	139	142
	2	0	53	84	105	118	126	134	136	141	133	145
	3	0	41	74	97	108	120	123	129	131	139	131
	4	0	48	83	105	116	122	131	133	139	128	131
	5	0	39	71	90	111	118	122	128	131	136	138
Ср. значение	0	47	80	101	114	122	128	132	136	136	138	

Зависимость изменения импульсов от содержания хрома в трансмиссионных маслах от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, Имп.

Тип масла	№ ав-томобля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСч-15К	1	0	80	120	137	147	150	154	155	157	158	
	2	0	83	119	139	149	151	152	155	158	158	
	3	0	69	112	130	136	141	142	146	147	147	
	4	0	78	118	134	143	148	151	152	151	155	
	5	0	65	111	130	135	140	141	142	147	147	
Ср. значение	0	75	116	134	142	146	148	150	152	153		
Восстановленное масло присадками	1	0	47	81	101	114	123	126	131	133	136	
	2	0	45	78	104	118	124	127	133	137	138	
	3	0	36	73	90	103	107	112	116	121	122	
	4	0	50	79	98	110	120	124	125	129	132	
	5	0	32	69	92	100	106	111	115	120	122	
Ср. значение	0	42	76	97	109	116	120	124	128	130		

Зависимость изменения импульсов от содержания никеля в трансмиссионных маслах от пробегта в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, www.kamaz.ru

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штанное масло ТСП-15К	1	0	81	123	133	143	144	146	147	148	148	148
	2	0	80	119	138	140	146	147	148	149	149	149
	3	0	73	111	126	130	131	133	134	134	134	135
	4	0	80	120	131	143	148	149	150	152	152	153
	5	0	71	107	127	129	131	132	134	135	135	135
Ср. значение	0	77	116	131	137	140	141	142	143	144	144	
Восстановленное масло присадками	1	0	47	78	95	108	113	116	119	120	122	
	2	0	48	74	98	109	115	118	120	121	123	
	3	0	34	70	89	97	103	105	109	108	110	
	4	0	46	74	96	106	110	111	114	121	121	
	5	0	35	69	87	95	99	105	108	110	109	
Ср. значение	0	42	73	93	103	108	111	114	116	117		

Зависимость изменения импульсов от содержания никеля в трансмиссионных маслах от пробега в среднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, ИПЦ.

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	0	62	99	111	114	117	117	119	118	119	122
	2	0	68	96	109	117	118	117	118	121	121	122
	3	0	55	88	99	104	105	109	110	111	111	110
	4	0	63	95	110	114	115	116	118	118	118	120
	5	0	57	87	96	101	105	106	105	107	107	109
Ср. значение	0	61	93	105	110	112	113	114	115	115	116	
Восстановленное масло присадки	1	0	37	60	80	89	91	96	97	99	103	
	2	0	40	65	79	90	92	94	98	100	100	
	3	0	28	55	69	81	85	86	87	88	90	
	4	0	38	61	80	89	97	96	98	99	99	
	5	0	32	54	67	76	80	83	85	89	88	
Ср. значение	0	35	59	75	85	89	91	93	95	96		

Зависимость изменения импульсов от содержания никеля в трансмиссионных маслах от пробег в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, млн.

Тип масла	№ ав- томо- бля	Пробег, тыс. км.										
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	
Штатное масло ТСП-15К	1	0	70	100	114	120	121	122	123	122	127	
	2	0	69	106	117	121	122	123	124	126	126	
	3	0	61	93	106	111	114	117	118	119	119	
	4	0	68	103	123	124	127	126	127	130	129	
	5	0	62	93	105	114	116	117	118	118	119	
	Ср. значе- ние	0	66	99	113	118	120	121	122	123	124	
Восста- новлен- ноемасло присад- ками	1	0	44	69	84	95	100	103	106	107	107	
	2	0	43	71	87	92	98	100	103	103	106	
	3	0	34	58	73	83	85	88	87	91	92	
	4	0	42	68	85	94	101	102	103	106	107	
	5	0	32	59	76	81	86	87	91	93	93	
	Ср. значе- ние	0	39	65	81	89	94	96	98	100	101	

Зависимость изменения содержания серы в трансмиссионных маслах от пробега в КПП исследуемых автомобилей КАМАЗ, мг/кг

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	12979,2	12867,1	12811,5	12777,3	12741,6	12712,5	12681,1	12656,5	12622,3	12610,0
	2	12979,2	12869,5	12814,4	12775,2	12744,2	12713,6	12685,4	12651,1	12619,9	12611,3
	3	12979,2	12885,7	12825,8	12780,8	12752,9	12723,8	12692,6	12660,3	12629,2	12626,1
	4	12979,2	12871,9	12816,3	12777,2	12743,5	12715,4	12689,2	12654,9	12624,8	12619,1
	5	12979,2	12882,3	12826,5	12783,5	12757,8	12724,2	12693,2	12663,2	12627,3	12623,0
Ср. значение	12979,2	12875,3	12818,9	12778,8	12748,0	12717,9	12688,3	12657,2	12624,7	12617,9	
Восстановленное масло прилад-камин	1	29984,2	29890,5	29829,6	29795,7	29772,5	29747,8	29728,7	29711,8	29686,2	29695,6
	2	29984,2	29892,9	29834,7	29793,3	29779,9	29754,5	29735,1	29716,2	29701,7	29688,5
	3	29984,2	29916,2	29865,2	29824,9	29788,3	29768,6	29752,3	29733,4	29714,2	29706,8
	4	29984,2	29886,1	29839,5	29806,6	29777,2	29758	29733,6	29717,8	29698,8	29693,4
	5	29984,2	29917,3	29863,5	29816	29794,1	29769,1	29755,8	29732,3	29710,1	29702,7
Ср. значение	29984,2	29900,6	29846,5	29807,3	29782,4	29759,6	29741,1	29720,3	29702,2	29697,4	

Зависимость изменения содержания серы в трансмиссионных маслах от пробега в среднем моту исследуемых автомобилей КамАЗ, мг/кг

Тип масла	№ ав-томо-мобиля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	12979,2	12796,9	12690,2	12603,7	12517,2	12422,1	12325,9	12232,4	12151,7	12142,9
	2	12979,2	12799,8	12689,0	12605,5	12520,9	12422,7	12329,1	12235,6	12156,2	12136,0
	3	12979,2	12806,5	12703,7	12615,6	12525,8	12436,3	12341,1	12240,8	12165,6	12147,3
	4	12979,2	12800,7	12694,1	12609,8	12519,3	12430,8	12328,9	12234,5	12157,7	12141,5
	5	12979,2	12809,6	12701,0	12615,4	12527,3	12434,1	12335,5	12239,2	12164,3	12148,8
	Ср. значе-ние	12979,2	12802,7	12695,6	12610,0	12522,1	12429,2	12332,1	12236,5	12159,1	12143,3
Восста-новлен-ное масло присад-ками	1	29984,2	29825,3	29725,1	29637,4	29554	29473,2	29383,7	29288,5	29222,1	29206
	2	29984,2	29815,6	29723,9	29642,8	29559,6	29461,8	29378,2	29294,9	29216,5	29198,8
	3	29984,2	29838,9	29734,8	29651,2	29571,4	29483,5	29401	29311,3	29238,8	29217,4
	4	29984,2	29822,4	29715,5	29641,9	29555,3	29469,9	29381,6	29296,7	29225,4	29204,5
	5	29984,2	29834,3	29733,7	29657,2	29572,2	29487,1	29392,5	29302,1	29238,7	29211,8
	Ср. значе-ние	29984,2	29827,3	29726,6	29646,1	29562,5	29475,1	29387,4	29298,7	29228,3	29207,7

Зависимость изменения содержания серы в трансмиссионных маслах от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, мг/кг

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	12979,2	12790,8	12671,3	12592,6	12535,5	12460,0	12383,1	12301,6	12224,5	12201,0
	2	12979,2	12788,3	12675,1	12599,2	12528,4	12457,5	12382,5	12298,7	12225,4	12208,5
	3	12979,2	12799,3	12682,1	12608,4	12541,9	12467,1	12386,4	12310,7	12236,8	12213,3
	4	12979,2	12787,9	12678,6	12601,3	12531,8	12460,1	12381,9	12299,0	12221,6	12208,4
	5	12979,2	12794,7	12688,9	12610,5	12540,4	12469,3	12388,1	12305,5	12234,7	12214,8
Ср. значение	12979,2	12792,2	12679,2	12602,4	12535,6	12462,8	12384,4	12303,1	12228,6	12209,2	
Восстановленное масло присадками	1	29984,2	29818,1	29714,4	29639,5	29581,9	29514,1	29442	29377,5	29316,7	29305,4
	2	29984,2	29825,3	29710,8	29637,8	29582	29518,2	29450,3	29375,2	29321,1	29301,3
	3	29984,2	29835,6	29727,1	29651,9	29591,2	29529,9	29464,7	29394	29333,9	29313,8
	4	29984,2	29821,7	29710,9	29635,7	29582,8	29522,5	29451,2	29380,3	29315,9	29302,1
	5	29984,2	29838,8	29723,8	29655,6	29589,6	29535,8	29465,3	29394,5	29341,4	2914,9
Ср. значение	29984,2	29827,9	29717,4	29644,1	29585,5	29524,1	29454,7	29384,3	29325,8	29307,5	

Зависимость изменения содержания фосфора в трансмиссионных маслах от пробега в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, %

Тип масла	№ автомо- то- бия	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСл-15К	1	0,0778	0,0774	0,0768	0,0763	0,0761	0,0756	0,0755	0,0753	0,0752	0,0751
	2	0,0778	0,0772	0,0768	0,0764	0,0763	0,0758	0,0757	0,0754	0,0751	0,0750
	3	0,0778	0,0777	0,0775	0,0769	0,0767	0,0765	0,0761	0,0760	0,0758	0,0755
	4	0,0778	0,0771	0,0768	0,0766	0,0758	0,0756	0,0755	0,0753	0,0751	0,0751
	5	0,0778	0,0776	0,0771	0,0768	0,0766	0,0765	0,0762	0,0760	0,0758	0,0758
Ср. значе- ние	0,0778	0,0774	0,0770	0,0766	0,0763	0,0760	0,0758	0,0756	0,0754	0,0753	
Восста- новленное масло присадка- ми	1	0,0778	0,0773	0,0767	0,0766	0,0763	0,0762	0,0760	0,0759	0,0757	0,0756
	2	0,0778	0,0773	0,0771	0,0768	0,0765	0,0761	0,0759	0,0757	0,0756	0,0756
	3	0,0778	0,0777	0,0775	0,0773	0,0771	0,0767	0,0766	0,0763	0,0762	0,0763
	4	0,0778	0,0774	0,0770	0,0767	0,0762	0,0763	0,0760	0,0757	0,0756	0,0755
	5	0,0778	0,0778	0,0777	0,0771	0,0769	0,0767	0,0765	0,0764	0,0764	0,0765
Ср. значе- ние	0,0778	0,0775	0,0772	0,0769	0,0766	0,0764	0,0762	0,0760	0,0759	0,0759	

Зависимость изменения содержания фосфора в трансмиссионных маслах от пробега в среднем мосту исследуемых автомобилей КАМАЗ, %

Тип масла	№ ав- томо- бля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСЛ-15К	1	0,0778	0,0769	0,0764	0,0756	0,0749	0,0743	0,0738	0,0730	0,0726	0,0723
	2	0,0778	0,0771	0,0761	0,0755	0,0751	0,0746	0,0739	0,0735	0,0728	0,0726
	3	0,0778	0,0775	0,0770	0,0765	0,0758	0,0752	0,0743	0,0740	0,0734	0,0731
	4	0,0778	0,0767	0,0761	0,0754	0,0745	0,0743	0,0740	0,0731	0,0727	0,0727
	5	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0762	0,0751	0,0745	0,0739	0,0735	0,0733
Ср. значе- ние	0,0778	0,0771	0,0765	0,0759	0,0753	0,0747	0,0741	0,0735	0,0730	0,0728	
Восста- новленное масло при- садками	1	0,0778	0,0771	0,0768	0,0759	0,0752	0,0746	0,0740	0,0736	0,0731	0,0730
	2	0,0778	0,0768	0,0764	0,0761	0,0755	0,0749	0,0743	0,0737	0,0734	0,0732
	3	0,0778	0,0775	0,0771	0,0767	0,0760	0,0758	0,0751	0,0743	0,0737	0,0736
	4	0,0778	0,0769	0,0762	0,0756	0,0754	0,0745	0,0741	0,0735	0,0730	0,0729
	5	0,0778	0,0777	0,0770	0,0767	0,0759	0,0757	0,0750	0,0744	0,0738	0,0738
Ср. значе- ние	0,0778	0,0772	0,0767	0,0762	0,0756	0,0751	0,0745	0,0739	0,0734	0,0733	

Зависимость изменения содержания фосфора в трансмиссионных маслах от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, %

Тип масла	№ ав- томо- били	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСп-15К	1	0,0778	0,0769	0,0762	0,0755	0,0750	0,0745	0,0741	0,0733	0,0724	0,0723
	2	0,0778	0,0766	0,0763	0,0759	0,0752	0,0746	0,0740	0,0736	0,0727	0,0726
	3	0,0778	0,0775	0,0770	0,0764	0,0757	0,0752	0,0745	0,0739	0,0737	0,0731
	4	0,0778	0,0770	0,0766	0,0757	0,0755	0,0743	0,0740	0,0732	0,0729	0,0728
	5	0,0778	0,0775	0,0769	0,0765	0,0756	0,0754	0,0744	0,0740	0,0733	0,0732
	Ср. значе- ние	0,0778	0,0771	0,0766	0,0760	0,0754	0,0748	0,0742	0,0736	0,0730	0,0728
Восста- новленное масло при- садками	1	0,0778	0,0770	0,0764	0,0763	0,0757	0,0752	0,0743	0,0740	0,0737	0,0731
	2	0,0778	0,0773	0,0769	0,0761	0,0755	0,0752	0,0748	0,0737	0,0736	0,0734
	3	0,0778	0,0776	0,0772	0,0767	0,0763	0,0755	0,0753	0,0747	0,0738	0,0738
	4	0,0778	0,0771	0,0766	0,0760	0,0755	0,0750	0,0745	0,0742	0,0735	0,0733
	5	0,0778	0,0775	0,0774	0,0769	0,0765	0,0756	0,0751	0,0744	0,0739	0,0739
	Ср. значе- ние	0,0778	0,0773	0,0769	0,0764	0,0759	0,0753	0,0748	0,0742	0,0737	0,0735

Зависимость изменения содержания азота в трансмиссионных маслах от пробега в КПП исследуемых автомобилей КамАЗ, %

Тип масла	№ ав- томо- бля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	0,0671	0,0662	0,0650	0,0644	0,0638	0,0630	0,0625	0,0622	0,0618	0,0618
	2	0,0671	0,0659	0,0653	0,0643	0,0634	0,0634	0,0628	0,0625	0,0619	0,0619
	3	0,0671	0,0666	0,0659	0,0656	0,0650	0,0642	0,0637	0,0629	0,0624	0,0624
	4	0,0671	0,0657	0,0648	0,0645	0,0639	0,0634	0,0626	0,0625	0,0621	0,0619
	5	0,0671	0,0666	0,0660	0,0652	0,0649	0,0640	0,0634	0,0629	0,0628	0,0625
	Ср. значе- ние	0,0671	0,0662	0,0654	0,0648	0,0642	0,0636	0,0630	0,0626	0,0622	0,0621
Восста- новленное масло присадка- ми	1	0,07	0,0690	0,0680	0,0677	0,0674	0,0666	0,0661	0,0658	0,0657	0,0655
	2	0,07	0,0690	0,0685	0,0678	0,0672	0,0669	0,0663	0,0660	0,0657	0,0656
	3	0,07	0,0697	0,0689	0,0684	0,0679	0,0674	0,0669	0,0666	0,0663	0,0662
	4	0,07	0,0688	0,0686	0,0676	0,0669	0,0667	0,0666	0,0659	0,0655	0,0654
	5	0,07	0,0695	0,0690	0,0685	0,0681	0,0674	0,0671	0,0667	0,0663	0,0663
	Ср. значе- ние	0,07	0,0692	0,0686	0,0680	0,0675	0,0670	0,0666	0,0662	0,0659	0,0658

Зависимость изменения содержания азота в трансмиссионных маслах от пробега в среднем моту исследуемых автомобилей КамаЗ, %

Тип масла	№ ав-томо-бия	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСт-15К	1	0,0671	0,0649	0,0635	0,0620	0,0609	0,0598	0,0585	0,0578	0,0570	0,0569
	2	0,0671	0,0650	0,0634	0,0619	0,0607	0,0597	0,0589	0,0576	0,0572	0,0566
	3	0,0671	0,0659	0,0640	0,0628	0,0616	0,0607	0,0596	0,0586	0,0577	0,0574
	4	0,0671	0,0647	0,0632	0,0621	0,0604	0,0594	0,0587	0,0580	0,0571	0,0568
	5	0,0671	0,0660	0,0644	0,0627	0,0619	0,0604	0,0593	0,0590	0,0580	0,0573
Ср. значение	0,0671	0,0653	0,0637	0,0623	0,0611	0,0600	0,0590	0,0582	0,0574	0,0570	
Восстановленное масло при-масто при-садками	1	0,07	0,0681	0,0669	0,0656	0,0641	0,0632	0,0622	0,0609	0,0609	0,0606
	2	0,07	0,0683	0,0667	0,0653	0,0644	0,0628	0,0620	0,0613	0,0609	0,0603
	3	0,07	0,0688	0,0676	0,0661	0,0651	0,0639	0,0630	0,0627	0,0616	0,0614
	4	0,07	0,0684	0,0663	0,0652	0,0644	0,0635	0,0623	0,0611	0,0607	0,0605
	5	0,07	0,0689	0,0675	0,0663	0,0650	0,0641	0,0630	0,0625	0,0614	0,0612
Ср. значение	0,07	0,0685	0,0670	0,0657	0,0646	0,0635	0,0625	0,0617	0,0611	0,0608	

Зависимость изменения содержания азота в трансмиссионных маслах от пробега в заднем мосту исследуемых автомобилей КамАЗ, %

Тип масла	№ ав-томо-биля	Пробег, тыс. км.									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Штатное масло ТСП-15К	1	0,0671	0,0655	0,0644	0,0632	0,0624	0,0611	0,0601	0,0593	0,0583	0,0581
	2	0,0671	0,0650	0,0641	0,0630	0,0621	0,0609	0,0597	0,0590	0,0588	0,0584
	3	0,0671	0,0665	0,0650	0,0640	0,0629	0,0619	0,0616	0,0603	0,0592	0,0589
	4	0,0671	0,0652	0,0645	0,0635	0,0620	0,0608	0,0599	0,0591	0,0584	0,0580
	5	0,0671	0,0663	0,0650	0,0638	0,0626	0,0623	0,0612	0,0603	0,0593	0,0586
Ср. значение	0,0671	0,0657	0,0646	0,0635	0,0624	0,0614	0,0605	0,0596	0,0588	0,0584	
Восстановленное масло при-садками	1	0,07	0,0687	0,0676	0,0663	0,0657	0,0645	0,0638	0,0629	0,0625	0,0623
	2	0,07	0,0686	0,0676	0,0668	0,0656	0,0649	0,0637	0,0627	0,0622	0,0620
	3	0,07	0,0694	0,0684	0,0675	0,0667	0,0659	0,0647	0,0640	0,0638	0,0630
	4	0,07	0,0690	0,0677	0,0667	0,0658	0,0647	0,0640	0,0629	0,0620	0,0619
	5	0,07	0,0693	0,0687	0,0677	0,0662	0,0655	0,0648	0,0645	0,0635	0,0633
Ср. значение	0,07	0,0690	0,0680	0,0670	0,0660	0,0651	0,0642	0,0634	0,0628	0,0625	

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	2
1	СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА.....	4
1.1	Состав и назначение трансмиссионных масел	4
1.2	Изменение состояния трансмиссионных масел в процессе эксплуатации	8
1.3	Анализ существующих технологий и технических средств для восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел	12
1.4	Анализ показателей качества трансмиссионного масла	22
	Выводы.....	24
2	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННЫХ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ.....	26
2.1	Теоретическое обоснование способа очистки отработанных трансмиссионных масел.....	26
2.2	Обоснование способа восстановления эксплуатационных свойств отработанных трансмиссионных масел	30
2.3	Обоснование безотходности способа очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла	37
2.4	Разработка технических средств для очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла	38
2.4.1	Разработка гидроциклона	38
2.4.2	Определение конструктивных параметров гидроциклона ..	41
2.4.2.1	Силы и скорости действующие на частицу нерастворимой примеси в гидроциклоне	41
2.4.2.2	Определение конструктивных параметров гидроциклона ..	50
2.4.3	Обоснование средств восстановления эксплуатационных свойств.....	55
	Выводы.....	62

3	МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	64
3.1	Программа экспериментальных исследований.....	64
3.2	Методика проведения исследований технологических режимов очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла.....	65
3.3	Методика проведения исследований гидроциклона.....	66
3.4	Лабораторный анализ проб.....	68
3.5	Методика производственных исследований.....	77
3.6	Методика сравнительных эксплуатационных исследований	80
3.7	Отбор и подготовка проб масел.....	81
3.8	Методика обработки результатов.....	82
	Выводы.....	83
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	85
4.1	Результаты исследований технологических режимов очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанного трансмиссионного масла	85
4.1.1	Результаты исследований по установлению щелочного соединения.....	85
4.1.2	Результаты исследований режимов осушки отработанного трансмиссионного масла.....	87
4.1.3	Результаты исследований режимов кислотной очистки.....	88
4.1.4	Результаты исследований режимов ввода базового масла и пакета присадок.....	90
4.2	Результаты исследований гидроциклона.....	94
4.3	Результаты исследований восстановленных отработанных трансмиссионных масел к пенообразованию	98
4.4	Результаты сравнительных трибологических исследований штатного и восстановленного отработанного трансмиссионных масел	99
4.5	Результаты исследований содержания продуктов износа в работающем трансмиссионном масле.....	100
4.6	Результаты производственных исследований	104
4.7	Результаты сравнительных эксплуатационных	

	исследований.....	106
	Выводы.....	124
5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТА- ТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	126
5.1	Экономическая эффективность исследований	126
5.2	Эффективность применения восстановленных отработан- ных трансмиссионных масел.....	126
5.3	Рекомендации производству.....	132
	Выводы.....	133
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	134
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	136
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	151
	СОДЕРЖАНИЕ.....	204

Глущенко Андрей Анатольевич

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ОТРАБОТАННОГО ТРАНСМИССИОННОГО
МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНА**

Монография

Ульяновск: Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, 2015, – 208 с.

План 2014

Подписано в печать
Формат 60х90/16 Бумага офсетная №1
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,9
Тираж 300 Заказ _____

Издательство Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина
432063, Ульяновск, б. Новый Венец, 1