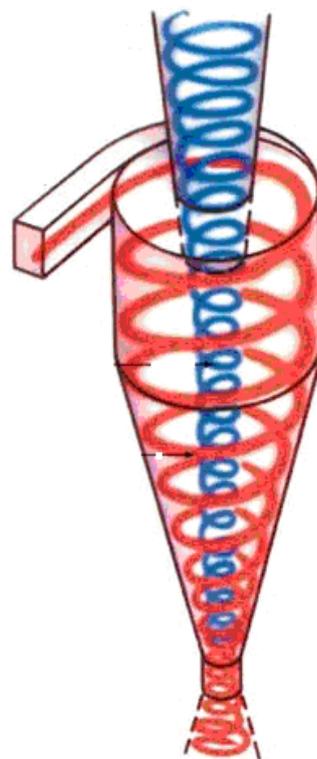
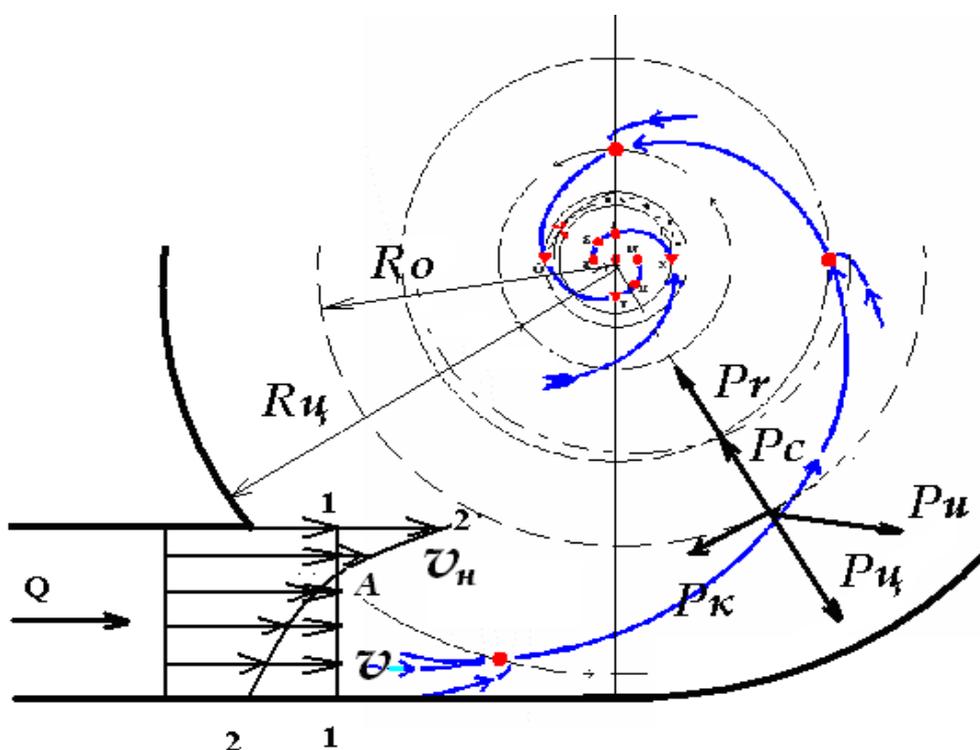


ГЛУЩЕНКО А. А.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНА**



Ульяновск-2011

ГЛУЩЕНКО А. А.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНА**

Ульяновск – 2011

УДК 631.3: 662.75/.76 + 502 Глущенко А.А.
Г-55 Экологически безопасные технологии для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла с использованием гидроциклона
ББК 35.514 + 28.081 Ульяновск, УГСХА, 2011 г. – 166 с.
Монография
Научный редактор: кандидат технических наук, профессор ХОЛМАНОВ В.М.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и информационное обеспечение АПК» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» ОГНЕВ О.Г.
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и энергетика» ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия» КУРДЮМОВ В.И.

В монографии рассмотрены экологически безопасные технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел

Предложена комплексная система показателей для оценки эксплуатационных свойств моторных масел на всех стадиях его использования.

Проведены исследования технологий восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел методом ввода присадок и компаундирования с использованием новой конструкции гидроциклона с учетом его оптимальных конструктивных параметров и рациональных режимов работы.

Проведены производственные и эксплуатационные исследования использования восстановленных отработанных моторных масел в двигателях автомобилей КамАЗ. Табл. 16. Ил. 52. Библиограф. 147.

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

Печатается по решению Научно-технического совета академии, протокол № 4 от 27.09.2011.

ISBN 978-5-902532-85-9

© Глущенко А.А., 2011

© Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Развитие сельскохозяйственного производства связано с возрастанием объемов работ по транспортировке грузов, что ведет к увеличению парка машин и все более возрастающему потреблению топливо-смазочных материалов. В настоящее время в России производится до 3200 тыс. т смазочных материалов в год, из которых 2200 тыс. т составляют моторные масла. Более 60 % производимых моторных масел потребляют предприятия АПК. Развитие производства подразумевает совершенствование техники, повышение её эксплуатационной надежности, экономию топлива и масел. Одним из значимых путей экономии моторных масел на этапе их эксплуатации, является повторное использование масел после соответствующей переработки. Рациональное и экономное применение нефтепродуктов и обострившиеся проблемы охраны окружающей среды ставят задачи по вторичному использованию отработанных продуктов нефтяной промышленности. Регенерация и возвращение в оборот отработанных моторных масел – один из эффективных путей решения этой актуальной задачи.

В связи с этим возникает необходимость в разработке методов рационального использования нефтепродуктов, в частности, моторных масел, от которых зависит надежность и долговечность работы двигателя. Повторное использование моторных масел может оказать существенное влияние на снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

В настоящее время используют различные технологии и технические средства для восстановления эксплуатационных свойств отработанных масел. 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, не-

смотря на высокое качество получаемых масел, не нашли широкого применения из-за высокой стоимости реактивов, а также необходимости последующей утилизации отработанных очистительных материалов и реактивов. Кроме того, использование атмосферного, вакуумного или каталитического способов 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.

Поэтому практическая реализация концепции предотвращения загрязнения окружающей среды может быть осуществлена на основе разработки более безопасных технологий и создания принципиально нового технологического оборудования по переработке отработанных масел.

Для очистки и восстановления свойств отработанных масел используют различные технические средства. Одними из наиболее широко распространенных являются различного рода сепараторы и центрифуги. При удовлетворительной полноте отсева данные технические средства имеют ряд существенных недостатков: низкая надежность и недолговечность, в следствии наличия деталей вращающихся с высокими скоростями; низкая эффективность очистки высоковязких нефтепродуктов; трудоемкость в обслуживании; необходимость в периодической очистке самих средств; высокая стоимость. Кроме того, для улучшения сепарирования применяют адсорберы – вещества, способные удерживать загрязняющие масло примеси на своей поверхности (отбеливающие глины, бокситы, природные цеолиты). Это приводит к возникновению проблем с утилизацией отработанных адсорберов, являющихся сильными канцерогенными веществами. Менее распространенные различного рода фильтры при высоком качестве очистки имеют сложную конструкцию, высокую стоимость и требуют периодической замены. Кроме того, проблема утилизации фильтрующих элементов до сих пор не решена полностью.

Анализ состояния вопроса показывает, что разработка новых высокоэффективных и безопасных технологий, создание принципиально нового

технологического оборудования по переработке и очистке отработанных масел является актуальной задачей сегодняшнего времени. Решение данной задачи позволит не только снизить затраты и объем потребляемых масел, но и улучшить экологическую обстановку за счет снижения образования высокотоксичных отходов.

Одним из направлений эффективного использования моторных масел является увеличение срока его работы в двигателях, что невозможно без оценки его эксплуатационных свойств. Оценка качества моторного масла трактуется по разному, и продолжительность работы масла оценивают также по разному. Еще нет показателей, которые достаточно полно могли бы охарактеризовать состояние масла к соответствующему промежутку времени, а также указать наступление времени его смены на новое. Это приводит либо к использованию в двигателях масел, уже не пригодных к эксплуатации, либо к выбраковке еще работоспособных масел. При этом работа в двигателе масла с выработанным ресурсом приводит к увеличению выбросов загрязняющих веществ с выхлопными газами машин.

Все это обуславливает необходимость дальнейших исследований по определению свойств и качества работающих моторных масел, увеличения ресурса службы и рационального использования отработанных масел путем создания экологически безопасных и безотходных технологий и оборудования для восстановления эксплуатационных свойств таких масел.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА

1.1 Актуальность обеспечения экологической устойчивости производства на современном этапе

Аграрное производство и, в частности, процессы возделывания и уборки сельскохозяйственных культур в значительной степени носят случайный характер. На порядок (и результаты) их протекания влияют разнообразнейшие факторы, каждый из которых, в свою очередь, испытывает воздействие со стороны значительного количества других, также вероятностно неопределенных параметров.

Процесс сельскохозяйственного производства может быть представлен как последовательность ряда технологических операций (рисунок 1.1), где на каждый элемент последовательности воздействует значительное количество как природно-климатических (влажность почвы, ее структура, вероятность заморозка, дождей и т.п.), так и технологических параметров (производительность технических средств, вероятность сохранения во времени ее скалярного значения и т. п.) [95].

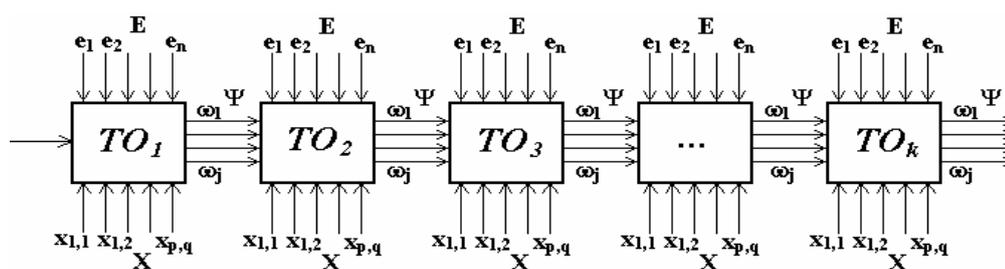


Рисунок 1.1 - Вероятностные условия протекания технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: $TO_1 \dots TO_k$ - технологические операции производства; $x_{1,1} \dots x_{p,q}$ - управляемые параметры, оказывающие воздействие на выполнение технологических операций; $e_1 \dots e_n$ - неуправляемые параметры (природно-климатические условия); $\omega_1 \dots \omega_j$ - оценка эффективности выполнения конкретной технологической операции; ψ - комплексный показатель эффективности аграрного производства

При этом численные характеристики, степень воздействия данных параметров существенно отличаются для различных технологических операций.

Комплексное воздействие указанных параметров формирует особенный (конкретный) набор характеристик качества выполнения для каждой технологической операции представленной последовательности. Подобный выходной поток какой-либо операции (его структура, скалярные характеристики) является, в свою очередь, возмущающим воздействием на совокупность качественных характеристик следующей операции технологического процесса, одновременно повышая неопределенность расчета их скалярных величин.

Абсолютное большинство участвующих в подобном взаимодействии факторов имеют случайную природу происхождения и существования. Производительность механизатора, благоприятное сочетание погодных условий, вероятность безотказной работы технических средств, в конкретный период времени, и многое другое зависят от многочисленных параметров (а также их сочетаний), их скалярные значения для данного момента времени рассчитаны быть не могут, что повышает непредсказуемость всего земледельческого процесса (функционирования технических средств). Можно считать, что и сам процесс возделывания растений является по своей природе стохастическим.

Основной задачей набора технологических операций всегда являлось получение максимальной урожайности возделываемых культур. Однако в последнее время приоритетной задачей комплектуемого набора операций становится сохранение и повышение уровня природного плодородия земель. Можно утверждать, что экологическая составляющая становится основной качественной характеристикой технологических операций, дальнейшее совершенствование которых будет рассматриваться именно с точки зрения повышения потенциального плодородия обрабатываемой земли в условиях конкретного региона.

Необходимо отметить одну из особенностей организации аграрного производства: до последнего времени рациональность формирования и функционирования технических средств оценивалась в основном такими количественными характеристиками эффективности аграрного комплекса как урожайность, рента-

бельность, затраты энергии и т.п. [95, 96]. Подобный подход был достаточно эффективен при условии наличия «запаса прочности» аграрного производства, когда техногенное воздействие человека на область применения растениеводства и животноводства компенсировалось естественными природными процессами: факт присутствия и жизнедеятельности человека биосферой Земли просто не ощущался. В случае же сопоставимости интенсивности техногенной нагрузки на окружающую среду мощности природных процессов почвообразования, использование для оценки эффективности аграрного производства вышеупомянутых критериев представляется нерациональным.

С началом индустриальных революций проблема утилизации отходов производства и жизнедеятельности человека постепенно приобретает все большую значимость, становясь в отдельных случаях основной и даже жизненно необходимой. Для ее решения необходимо предусмотреть использование совершенно новых подходов к организации самого сельскохозяйственного производства.

С учетом отмеченной выше цикличности и самозамкнутости аграрного производства можно утверждать, что результаты производственной деятельности, помимо «традиционных» задач (обеспечение необходимым количеством продовольственных товаров, достижение рентабельности производства и т.п.), существенным образом влияют также и на саму возможность ведения сельскохозяйственного производства. Отмеченная возможность формируется как воздействие конечных результатов каждой технологической операции процесса на условия выполнения остальных (рисунок 1.2). Причем последствие подобного влияния проявляется практически на каждой технологической операции и может длиться несколько лет (например, внесение навоза).

Наибольшую опасность представляют техногенные воздействия, носящие откровенно разрушительный характер на почвенно-климатические характеристики зоны аграрного производства, такие, как засорение почвы высокотоксичными и слабо утилизируемыми элементами удобрений, ядохимикатов, отходами деятельности технических средств механизации и особенно солями тяжелых ме-

таллов, засоление полей вследствие нерационального использования принудительного полива, подверженность пахотных массивов ветровой и прочим видам эрозии и т. п. [95].

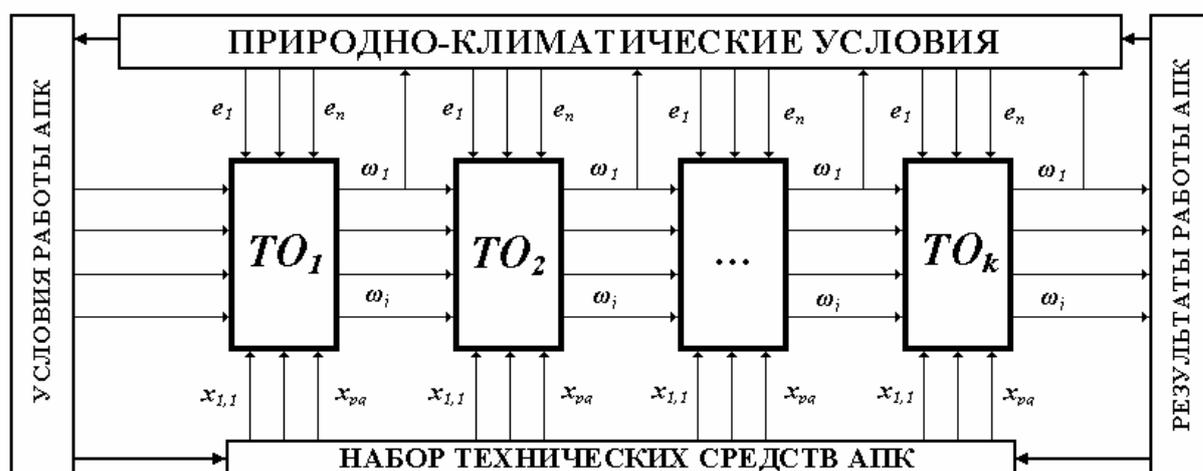


Рисунок 1.2 - Взаимосвязь технологических процессов в растениеводстве

Негативные последствия индустриального ведения сельскохозяйственного производства проявились уже во второй половине XX-го века, а их полное устранение (к примеру, истощение и эрозия почв) в обозримом будущем возможным не представляется.

Еще одной особенностью аграрного производства является необходимость учета крайне медленных процессов восстановления плодородия почв, которые могут протекать десятилетиями, причем последствия наиболее катастрофических разрушений почвенно-климатических условий могут проявляться веками.

Для учета и устранения возможных нежелательных проявлений техногенной деятельности человека в области агропромышленного сектора критерии оценки экологических последствий работы сельскохозяйственного производства (содержание гумуса в почвенном слое, затраты денежных, трудовых средств и энергии на утилизацию производственных отходов, общие затраты на восстановление выведенных из производства сельскохозяйственных угодий и т.п.), должны быть приняты в качестве основной оценки эффективности его функционирования.

В общем виде выходной функционал Ψ оценки качества работы системы технических средств (или всего аграрного производства)

$$\Psi(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_j) = f(B, E, X, K_{\text{эк}}), \quad (1.1)$$

где $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_j$ – единичные критерии оценки эффективности работы системы;

$B(b_1, b_2, \dots, b_k)$ – объемы выполняемых с заданными технологическими требованиями технологических операций;

$E(e_1, e_2, \dots, e_n)$ – параметры региональных природно-климатических условий;

$X(x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{p,q})$ – необходимый набор технических средств (машин и агрегатов);

$K_{\text{эк}}$ – региональные экологические факторы ужесточения условий аграрного производства (функционирования системы технических средств), например, степень прогрессирования эрозии почв, интенсивность выработки гумусного компонента и т.п.

Влияние на работу рассматриваемой системы экологических факторов можно представить следующей зависимостью [95, 96]:

$$\sum_{i=1}^I (P_i^{\text{оз}} M_i^{\text{оз}}) + \sum_{j=1}^J (K_j^{\text{д}} Z_j^{\text{дK}}) + \sum_{l=1}^L (T_l^{\text{д}} Z_l^{\text{дT}}) + \sum_{m=1}^M (M_m^{\text{д}} Z_m^{\text{дM}}) \leq \sum_{p=1}^P (W \Delta C_p^{\text{д}}), \quad (1.2)$$

где $P_i^{\text{оз}}$ – потери от ограничения производственной зоны функционирования системы;

$M_i^{\text{оз}}$ – масштабы ограничений производственной деятельности (входных воздействий на систему);

$K_j^{\text{д}}$ – дополнительные изменения в конструкции технических средств, использующихся в изменившихся экологических условиях;

$Z_j^{\text{дK}}$ – дополнительные затраты на внесение конструктивных изменений в технические средства;

$T_l^{\text{д}}$ – дополнительные изменения технологических свойств полей входных воздействий на систему (технологические режимы и приемы);

$Z_l^{\text{дT}}$ – дополнительные затраты на изменение технологических свойств полей входных воздействий;

M_m^∂ – мероприятия по устранению вредных экологических последствий функционирования системы;

$Z_j^{\partial M}$ – дополнительные затраты на устранение экологических последствий функционирования системы;

W – количество производимой системой машин продукции (один из параметров выходного функционала качества системы);

$\Delta C_p^{\partial on}$ – изменение стоимостной оценки производимой системой продукции;

i, j, l, p – текущие значения переменных.

Следует также учесть, что в данном случае будет справедливым и выражение обратной зависимости региональных экологических условий аграрного производства как от природно-климатических особенностей региона E , характеристик используемых технологий и технических средств X , так и от экологической направленности оценки эффективности самого аграрного производства $\omega_{эк}$:

$$K_{эк}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = f(E, X, \omega_{эк}), \quad (1.3)$$

где $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ – единичные факторы ужесточения экологических условий функционирования рассматриваемой системы.

Негативное влияние, выражающееся в загрязнении сельскохозяйственных угодий, можно разделить по видам и оказываемому воздействию на естественные (пожары), физические (дым, радиоизлучение), физико-химические (аэрозоли), химические (внесение пестицидов) и антропогенные (рисунк 1.3).

Восемьдесят восемь процентов такого влияния приходится на антропогенные загрязнения, приводящие к необратимым (катастрофическим) последствиям и потере экологической устойчивости сельскохозяйственного производства. Антропогенное воздействие в наибольшей степени оказывается нарушением технологии возделывания, техническими средствами и используемыми топливо-смазочными материалами.



Рисунок 1.3 - Виды и воздействие загрязнений на окружающую среду

1.2 Моторное масло как составная часть системы средств технической оснащённости АПК

Поддержание эффективности всего сельскохозяйственного производства в настоящее время невозможно без масштабного применения средств механизации, повышения его уровня оснащённости техническими средствами.

Рассматривая технические средства механизации как элемент целенаправленного техногенного воздействия на природную среду с целью получения необходимого для человека результата, следует признать, что они в значительной мере зависят от условий протекания процесса их деятельности - эксплуатации.

Подобная зависимость проявляется не только в формировании комплекса основных требований, которым должны удовлетворять сельскохозяй-

ственные технические средства, но и в постоянном влиянии на сам процесс их функционирования. Комплекс основных требований к техническим средствам следует рассматривать как систему граничных условий, позволяющих достичь наивысших показателей эффективности их работы в данных конкретных условиях [95, 96].

Технологические параметры, оказывающие непосредственное влияние на выполнение технологической операции, определяются эксплуатационными и конструктивными параметрами техники, применяемыми топливосмазочными материалами и условиями эксплуатации. Надежная работа сборочных единиц двигателя и машины в условиях воздействия различных факторов (температуры, давления, скорости взаимного перемещения и материала трущихся поверхностей, их шероховатости и качества термической обработки), обеспечивается применением различных смазочных материалов. Смазочные материалы, выполняя ряд функций (снижение износа, потерь энергии на трение, предохранение поверхностей от коррозии, отвод теплоты, унос продуктов износа от места трения), обеспечивают оптимальный режим работы двигателя и выполнение возложенных на энерготехническое средство функций. Таким образом, смазочные масла, и особенно моторные масла, являются важной составляющей частью всей системы средств технической оснащённости АПК.

В процессе выполнения возложенных на механизмы (тракторы, автомобили, сельскохозяйственные машины) функций смазочные материалы расходуются, теряют свои эксплуатационные качества и при достижении предельных значений эти материалы меняют.

Необходимостью замены масел, и в особенности моторных, является потеря его качества – совокупности свойств, обеспечивающих возможность выполнения двигателем заданных функций в течение установленного ресурса. Процесс потери качества часто называют процессом старения масла, который зависит от множества факторов.

1.3 Особенности изменения состояния моторного масла

Развитие более мощного двигателестроения потребовало значительного улучшения качества выпускаемых моторных масел и расширения их ассортимента, вызвало необходимость многочисленных исследований в области режимов работы масел в масляных системах и оценки их качества [27, 50, 54, 67, 76, 78, 79, 94, 110, 117, 128]. Эти исследования широко представлены трудами отечественных ученых: А.В. Виппера, Н.И. Черножукова, В.Р. Вильямса, Н.А. Рогозина, Г.П. Лышко, Б.В. Лосикова, К.С. Рамайя, А.В. Николаенко, А.П. Картошкина и др. [56, 57, 94, 98, 99, 101, 118, 130].

Большой вклад в теоретическое исследование применения и оценки работы масла в двигателе внесли Г.П. Белянчиков, И.Ф. Благовидов, Н.Г. Пучков, Д.М. Аронов, С.Г. Арабян, В.В. Чанкин, А.В. Непогодьев, М.А. Григорьев, Г.А. Морозов, В.Н. Сторожев, И.П. Полканов, Г.П. Шаронов, В.Г. Гончаренко и др. [37, 45, 46, 50, 52, 53, 55, 67, 76, 77, 85, 116, 120, 121, 125, 128], а также зарубежные исследователи Verley G., Ovist E., Clark G.H., Muller P. и др. [52, 53, 54, 144, 145, 147].

Для обеспечения надежной работы двигателей применяемые в них масла должны обладать определенными эксплуатационными свойствами. Процесс эксплуатации масла является химмотологическим (рисунок 1.4).

При работе двигателя термохимические превращения моторного масла происходят под воздействием трех основных факторов:

- внутренних, определяемых физико-химическими свойствами масла;
- конструкционных, связанных с устройством и параметрами рабочего процесса двигателя;
- эксплуатационных, определяемых условиями и особенностями эксплуатации двигателя.

Старение масла в двигателе— это сложный, ещё недостаточно изученный комплекс физических и химических процессов, на скорость которых

оказывает влияние большое количество различных связанных между собой факторов.

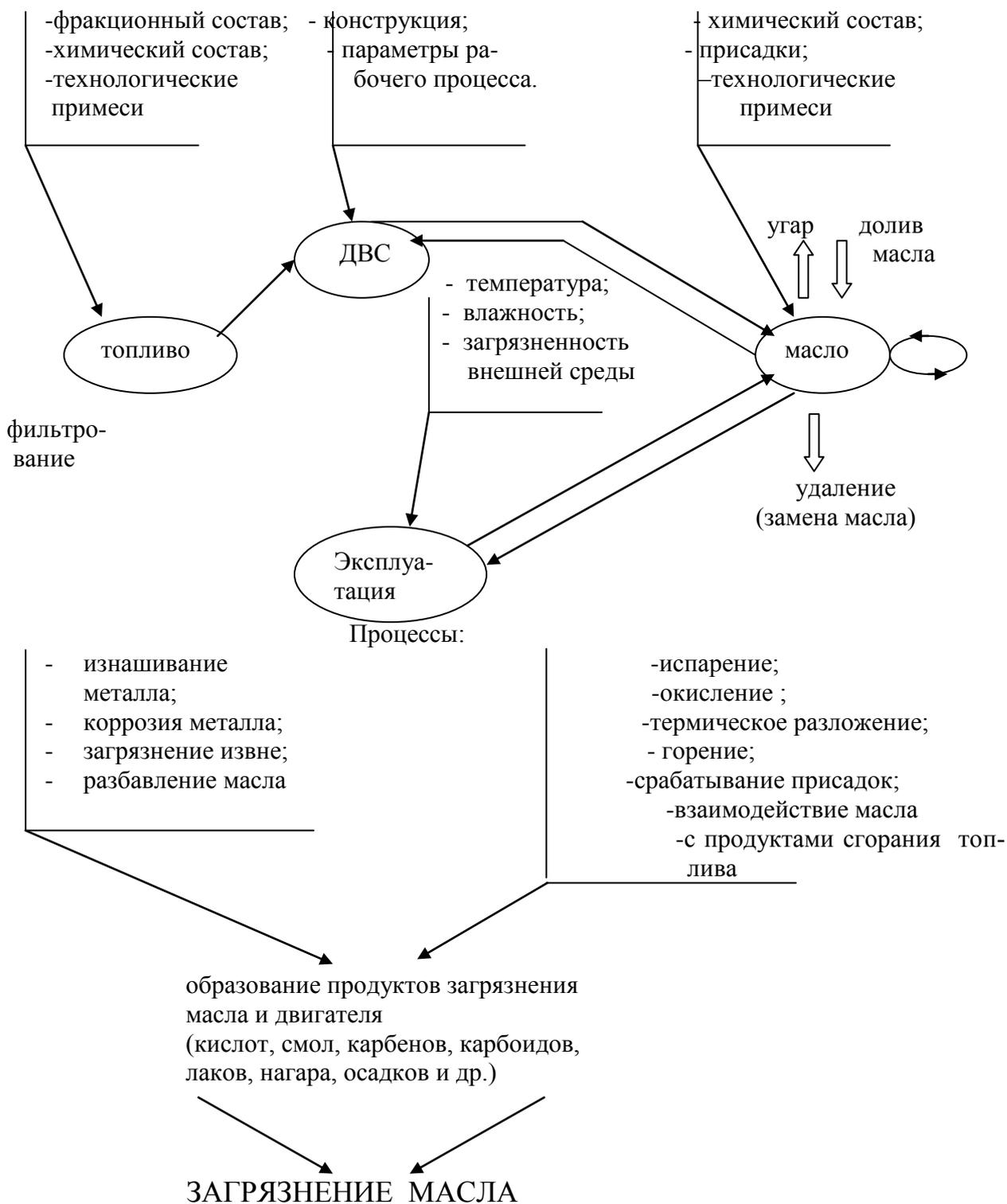


Рисунок 1.4 - Химмотологическая схема функционирования моторного масла в системе «двигатель – топливо - моторное масло – эксплуатация»

Из комплекса этих процессов в первую очередь могут быть выделены следующие:

- окисление масла, происходящее под действием кислорода воздуха и высокой температуры;
- загрязнение масла нерастворимыми примесями, которые образуются из твердых углеродистых частиц, проникших в масло в результате неполного сгорания топлива;
- из продуктов окисления самого масла; из продуктов износа и загрязнений, поступающих извне (вода, песок, пыль);
- расход присадок в результате нейтрализации кислотных продуктов и на диспергирование углеродистых частиц.

Наиболее интенсивное старение масла происходит в зоне поршневых колец, где оно подвергается глубокому термическому деструктивному распаду, часть масла полностью сгорает, а часть остаётся в виде углеродистых частиц, карбенов, карбоидов и оксикислот, которые образуют лаковые налеты и дополнительно увеличивают загрязнение масла нерастворимыми примесями.

Основным источником нерастворимых примесей в масле является сажа, образующаяся в результате неполного сгорания дизельного топлива, а также продукты износа, пыль и пр. [16, 18, 25, 37, 63, 65, 85].

К химическим в первую очередь относят: нейтрализацию кислотных соединений присадками (снижение щелочного числа), окисление масла. Скорость этих процессов зависит от концентрации веществ, вступающих в реакцию, и может изменяться в течение периода работы двигателя.

Снижение щелочности является важным процессом, определяющим интенсивность износа и количество нагароотложений. Окислы серы, попадая в картер двигателя с прорвавшимися газами, в присутствии воды образуют сернистую и серную кислоты, а также взаимодействуют с углеводородами масла и продуктами их окисления, образуя сульфоновые кислоты [88].

Другим неизбежным источником загрязнения масла являются продукты износа деталей двигателя (железо, алюминий, медь, свинец и др.). Метал-

лические продукты износа частично растворяются в масле, а частично остаются в виде нерастворимых коллоидных частиц. В результате попадания в масло металлических частиц возрастает неорганическая часть нерастворимых примесей и повышается зольность масла. Повышение неорганических частиц нерастворимых примесей происходит и за счет распада металлосодержащих присадок, содержащихся в масле [85, 99, 124, 127, 131] .

Металлические частицы, попадающие в масло в результате абразивного износа деталей двигателя, частицы сажи и внесенной пыли обволакиваются смолистыми продуктами окисления масла, а также адсорбируют на своей поверхности молекулы присадок. Поэтому в состав частиц нерастворимых примесей входят как органические, так и неорганические вещества. Органическая часть примесей состоит в основном из карбенов и карбоидов, а также смол, оксикислот и асфальтенов. Неорганическая часть состоит из железа, меди, свинца и других продуктов износа, соединений алюминия и кремния (песок, пыль) и металлов, входящих в состав присадок (барий, кальций и др.).

В результате многих исследований было выявлено, что срабатываемость щелочных присадок в масле зависит от содержания серы в используемом топливе и от содержания в масле нерастворимых примесей [6, 7, 25, 37, 47]. То есть, снижение щелочности масла при работе двигателя вызывается расходом щелочного компонента присадки на нейтрализацию кислот и на диспергирование поступающих в масло нерастворимых загрязнений. Поэтому расход присадки в масле легче всего контролировать по снижению щелочного числа и росту кислотного числа.

1.4 Использование отработанных моторных масел и их влияние на экологию

Современные моторные масла представляют собой сложные углеводородные и синтетические соединения с значительным процентным составом присадок. Интенсивное применение топлив, смазочных материалов и специ-

альных жидкостей, получаемых из нефти и синтетического сырья, приводит к загрязнению окружающей среды. Причем, топлива загрязняют окружающую среду преимущественно в процессе эксплуатации двигателей, а смазочные материалы загрязняют экосистемы не только в процессе их использования, но и при утилизации. Экологически опасными компонентами как товарных, так и отработанных смазочных материалов являются полициклические ароматические углеводороды, полигалоген - дифенилы, серо- и хлорсодержащие присадки, органические соединения металлов (свинца, бария, сурьмы, цинка) [58, 110, 124]. Они распространяются в атмосфере, воде, почве. Кроме того, углеводороды нефтяных и синтетических масел, имея невысокую степень биоразлагаемости (10...30 %) и накапливаясь в окружающей среде, могут вызвать сдвиг экологического равновесия. Загрязнение биосферы маслами происходит путем просачивания их в грунт и попадания в поверхностные и грунтовые воды при проливах, подтеканиях и утечках. Загрязнение атмосферы происходит в результате испарения и сжигания отработанных масел. К источникам устойчивого загрязнения почвы, водоемов и атмосферы относят не только отработанные масла, но и отходы от переработки отработанных масел, которые чаще всего не утилизируются и представляют собой еще большую опасность, чем сами масла. Существенной экологической опасностью являются присадки к маслам, обладающие канцерогенными свойствами (серо- и хлорсодержащие продукты, и др.) [111, 131].

Следовательно, отработанные масла опасны для окружающей среды, поэтому захоронение или сжигание отработанных масел недопустимо, необходимо их обезвреживание, а это возможно только путем регенерации.

Регенерация смазочных масел, выполненная с учётом экологических требований, является наилучшим из способов их утилизации, позволяющей решить не только экологические проблемы, но и получить экономическую выгоду, обеспечивая увеличение ресурсов масел за счет рационального их использования. Таким образом, задачу использования отработанных смазочных масел следует рассматривать не только как техническую и экономиче-

скую, но в значительной степени как экологическую, где одним из эффективных способов предотвращения загрязнения окружающей среды является переработка отработанных масел с целью их повторного использования. Исходя из вышесказанного, проблема регенерации отработанных масел с целью их повторного использования в механизмах машин, и, в частности, моторных, остается актуальной.

В настоящее время вопросам квалифицированной утилизации отработанных масел не уделяют должного внимания. Это привело к тому, что крупные потребители утилизируют масла, в лучшем случае, сжиганием. Мелкие потребители ограничиваются захоронением отработанных масел на свалках, сливом в канализацию, или, в нарушение природоохранных норм, сливом в землю. Только 3...5 % отработанных моторных масел, поступающих на переработку, утилизируют в виде добавок к печному топливу, наполнителей к пластичным смазкам, битуму и асфальтовым покрытиям и т.д., но основную часть отработанных масел либо сливают, либо утилизируют с другими маслами (рисунок 1.5).

Такое обращение с образующимися отработанными маслами приводит не только к загрязнению окружающей среды, но и потере ценного углеводородного сырья.

1.5 Анализ методов и технических средств восстановления свойств отработанных моторных 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 (рисунок 1.6) [132].

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

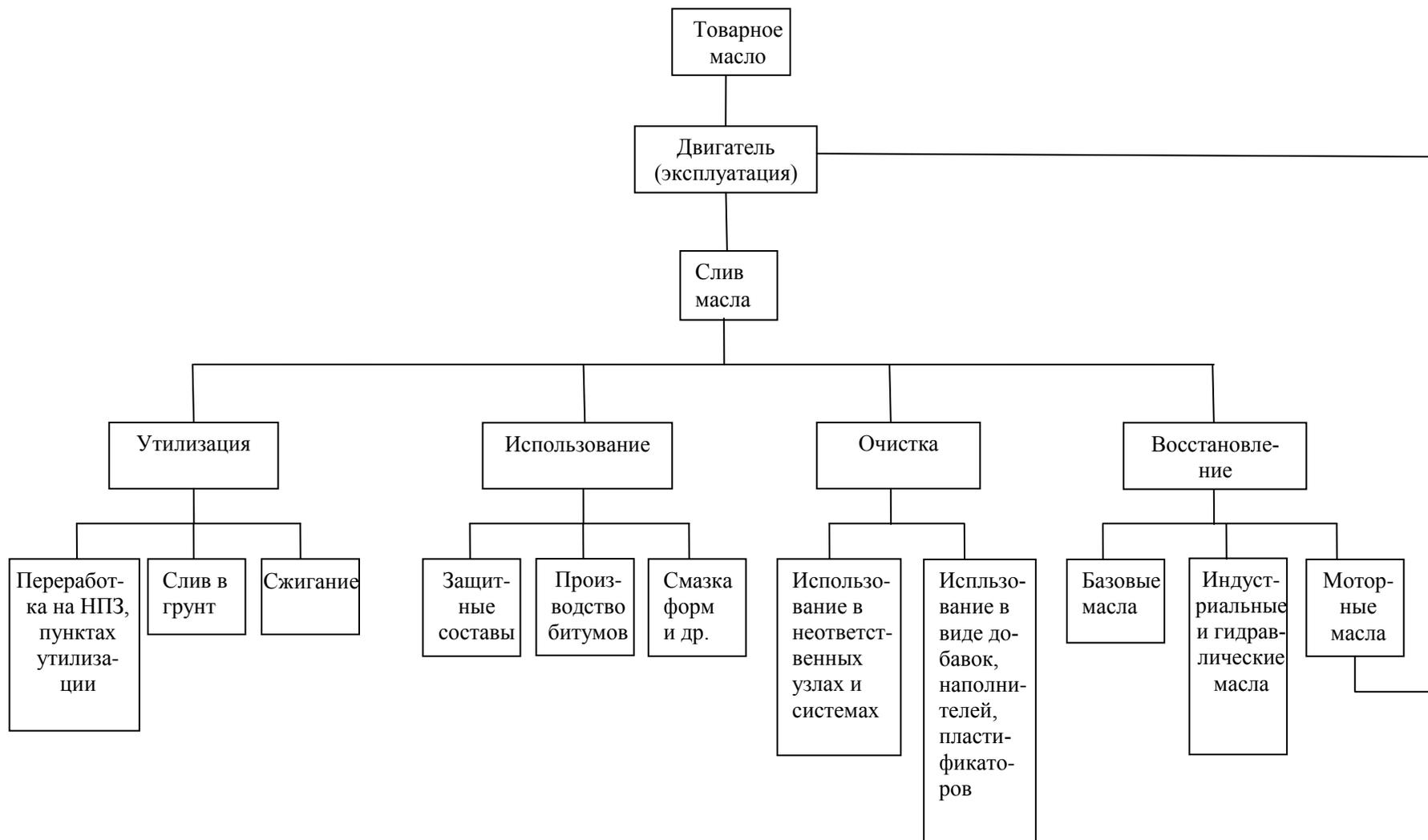


Рисунок 1.5 - Схема использования моторного масла

свойства масла требуют исправления, т.е., регенерация отработанных моторных масел требует специального подхода.

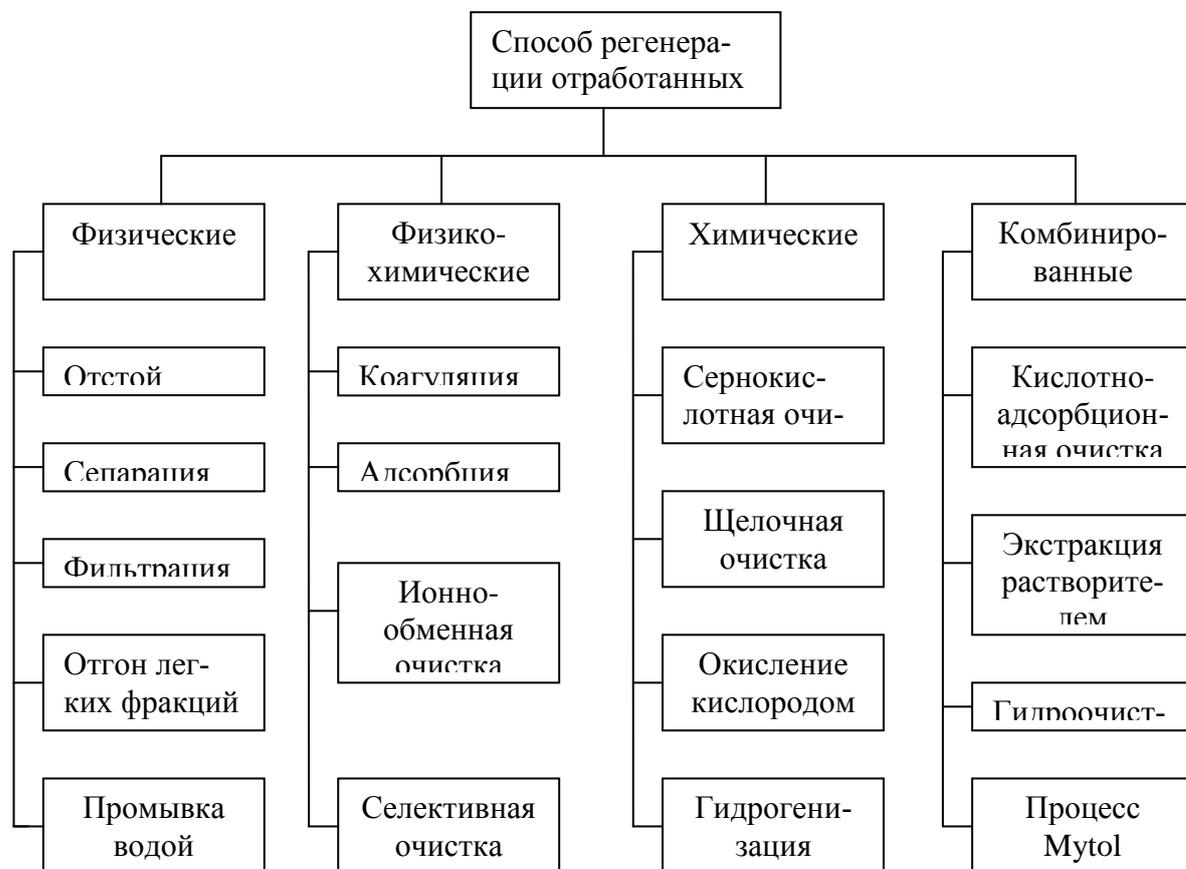


Рисунок 1.6 - Способы регенерации масел

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 (рисунок 1.7) связано с выбросами в атмосферу значительного количества разнообразных полициклических аренов (нафталина, пирена, бенз- α -антрацена, бенз- α -пирена и др.),



Рисунок 1.7 - Способы очистки отработанных масел

многие из которых являются канцерогенами (таблица 1.1) [20, 43, 58, 112].

Таблица 1.1 Выделение загрязняющих веществ при различных способах утилизации и переработки отработанных масел

Выделяемые вещества, мг/м ³	Средне-суточная ПДК в атмосферном воздухе населенных мест	Способ утилизации и переработки			
		сжигание	вакуумная	крекинговая	с использованием сорбентов и коагулянтов
Диоксид серы	0,05	321	282	318	16,4
Оксиды азота	0,06	107	92	84	5,6
Углеводороды	5	180	312	102	84
Медь (сульфит, сульфат)	0,0001	1,35	1,08	4,32	0,12
Свинец и его неорганические соединения	0,0003	75,3	74,2	82,1	12,4
Хром	0,0015	0,49	0,34	0,56	0,08
Кадмий (дихлорид, оксид, сульфат)	0,0003	0,03	0,08	0,06	-

Как видно из данных таблицы 1.1, в настоящее время ни одна из существующих технологий утилизации и переработки не отвечает предъявляемым требованиям по ПДК загрязняющих веществ, изложенным в ГН 2.1.6.1338-03. Поэтому создание экологически безопасных технологий переработки масел, позволяющих снизить негативное влияние на окружающую среду за счет снижения выбросов, и использовать отходы или побочные продукты одного процесса в качестве сырья или реагентов другого, является в настоящее время актуальной задачей.

Колоссальные затраты на устранение возникших загрязнений и невозможность предвидеть и устранить все их последствия целиком и полностью оправдывают разработку новых более безопасных технологий и создание принципиально новых технических средств по переработке отработанных масел.

Для очистки и восстановления свойств отработанных масел в используемых технологиях применяют различные технические средства. Наиболее простыми являются отстойники. Одними из наиболее широко распространенных являются технические средства для очистки масел методом сепарирования [36, 51, 59, 63, 64, 65, 132, 133] (таблица 1.2).

Таблица 1.2 Технические средства для очистки и восстановления отрабо-

танных масел

Марка технического средства	Способ	Производительность, л/ч	Виды очищаемых масел	Основные операции очистки и восстановления масел
СЦ-3М	физический	3000	И, Г, М	сепарирование
СЛ-2		4350	И, Г, М	сепарирование
LUWA		580	И, Г, Т	нагрев, сепарирование
УОМ-1		40-100	И, Г, М	центрифугирование
ПСМ-1-3000		3000	Т	осушка, центрифугирование
ПСМ-2-4000		4000		
СОГ-904А	Физико-химический	3000	И, Г, М, Т	центрифугирование
ВИТА-С, ВИТА-М		1200 1000	И, Г, М, Т, Тт	адсорбция, ПАВ, центрифугирование, фильтрование
СММ, РММ		40 - 200	И, Г	адсорбция, осушка, фильтрование
Мастер-Ойл		80	И, Г, Т	адсорбция, фильтрование
УХРМ-1		860	М, И	центрифугирование, ПАВ, компаундирование
АТМ-3		Комбинированный	300	И, Г, М, Т, Тт
РМ-100	100		М, И, Г	вакуумная перегонка, ПАВ, фильтрование
РМ-50-65	50		М, И, Г	вакуумная перегонка, ПАВ, фильтрование
ВИМЭ-2	60		М, И, Г	вакуумная перегонка, ПАВ, фильтрование
АТР-3	40-80		И, Г, М, Т, Тт	центрифугирование, термодиффузионное разделение
LUBREX	800		И, Г	вакуумная перегонка, ПАВ, фильтрование
PROP	1000		И, Г	фильтрование, перколяция, ПАВ, фильтрование
MEINKEN	1100		И, Г	вакуумная перегонка, ПАВ, фильтрование

И – индустриальные, Г – гидравлические, М – моторные, Т – трансформаторные, Тт – турбинные.

Метод основан на том, что под влиянием центробежных сил наиболее тяжелые загрязняющие примеси отесняются к стенкам сосуда, образуя кольцевой слой. Сепарация предусматривает два способа очистки: центрифугирование и сепарацию [132]. Центрифугирование осуществляют в специальных масляных центрифугах [133]. Для улучшения сепарирования применяют адсорберы – вещества, способные удерживать загрязняющие масло вещества на своей поверхности (отбеливающие глины, бокситы, природные цеолиты). Широко используют различ-

ные мобильные станции очистки масел. Принцип действия данных установок основан на предварительном разогреве отработанного масла, обработке адсорберами и последующем отстое или фильтровании. На стационарных установках используют более глубокую очистку с атмосферной или вакуумной перегонкой, обработку различными поверхностно-активными веществами, разделение на фракции и т.д.

Однако необходимо отметить, что при удовлетворительной полноте отсева данные технические средства имеют ряд существенных недостатков: низкую надежность и недолговечность, вследствие наличия деталей, вращающихся с высокими скоростями; низкую эффективность очистки высоковязких нефтепродуктов; трудоемкость в обслуживании; необходимость периодической очистки самих средств; высокую стоимость. Кроме того, для улучшения сепарирования применяют адсорберы, что приводит к возникновению проблем с утилизацией отработанных адсорберов, являющихся сильными канцерогенными веществами. Менее распространенные различного рода фильтры при высоком качестве очистки имеют сложную конструкцию, высокую стоимость и требуют периодической замены. Кроме того, проблема утилизации фильтрующих элементов до сих пор не решена полностью.

1.6 Анализ показателей оценки качества моторных масел

О качестве масла, как при производстве, так и в условиях эксплуатации, можно судить по показателям их физико-химических и эксплуатационных свойств (рисунок 1.8). Значения показателей являются основным критерием для определения срока смены масла, а также для восстановления эксплуатационных свойств моторных масел при их регенерации.



Рисунок 1.8 - Показатели качества масла

Физико-химические свойства моторных масел составляют основу стандартов и технических условий на масло. С их помощью с достаточной степенью надежности удаётся контролировать идентичность различных партий масла в процессе его производства, транспортировки, хранения и эксплуатации.

Зависимость вязкости масла от давления во многом определяет его противоизносные свойства в области граничного трения. Изменение вязкости от давле-

ния аналогично изменению вязкости от температуры и описывается уравнением А.Камерона [102, 129] (таблица 1.3).

Таблица 1.3 Показатели оценки состояния моторных масел

Показатели масла	Зависимость	Расчетная формула	График изменения показателя	Автор
Вязкость	Изменение температуры	$\eta = \frac{\hat{E}}{t + \theta^m};$ $\eta = K \exp -at$ $\eta = K \exp \frac{1}{t^c}; \quad \eta = ke^{\frac{d}{t} + 0.5}$		Слоте [6] Фогель [6] Рейнольдс [6] Вальтер [6] Камерон [6]
	Изменение давления	$\eta_p = \eta_o e^{\alpha p}$		Камерон [50]
Температура вспышки	Изменение давления	$\lg V = A - \frac{B}{T}$ $T = 0.83 \frac{fP}{\sqrt{\lambda_1 \gamma_1 c_1 V_1} - \sqrt{\lambda_2 \gamma_2 c_2}}$		Крагельский [26]
Стабильность к окислению	Изменение температуры	$\lg V = A - \frac{B}{T};$ $B = \frac{E}{2.3R}$		Аррениус [7]
	Изменение скорости качения	$V = \frac{V_k}{1}$		Климов [7]
Смазочная способность (толщина масляной пленки)	Изменение динамической вязкости	$h = 0.0715 \times 10^4 \frac{\mu_o^{0.602} V_{\xi}^{0.53} \rho}{P_{\max}^{0.14}}$		Петрусевич [26]
	Изменение скорости скольжения	$h = 0.3 \eta^{0.44} V_{\xi k}^{0.7} V_{\bar{n}e}^{-0.52} P_n^{-0.1} R^{0.4}$		Крагельский [26]

Основу современных присадок к маслам составляют алкилфеноляты или сульфонаты щелочно-земельных металлов. В соединениях этого типа металлы прочно связаны с молекулой органического соединения и способны легко раз-

рывать эту связь и вступать во взаимодействие с сильными кислотами, например с серной кислотой, образующейся при сгорании топлива, проявляя своё нейтрализующее действие. Таким образом, нейтрализующее действие присадки основано на взаимодействии металла присадки с кислыми продуктами сгорания или окисления масла. Поэтому для моторных масел в качестве эксплуатационного показателя указывают общее щелочное число TBN [67].

Сульфатная зольность является косвенным показателем количества присадок в масле. Высокая сульфатная зольность моторных масел обусловлена наличием в их составе моющих присадок, содержащих металлы.

Из эксплуатационных свойств смазывающее свойство моторного масла является главным, так как обеспечивает основное функциональное предназначение масла - снижать потери на трение и предотвращать изнашивание двигателя. Противоизносные свойства заключаются в способности масла снижать процесс изнашивания трущихся деталей за счет образования на них граничного слоя, препятствующего непосредственному контакту трущихся поверхностей. Изнашивание деталей происходит в результате механического, абразивного, гидроабразивного, коррозионно-механического и окислительного воздействия на трущиеся поверхности. Известны два основных механизма противоизносного действия граничного слоя: расклинивающее действие и модифицирующее действие [45, 78, 79].

Модифицирующие свойства определяются способностью отдельных элементов масла (присадок) взаимодействовать с металлом, в результате чего образуются новые вещества, повышающие критическую нагрузку разрушения масляного слоя.

1.7 Анализ методов оценки качества моторного масла

В нашей стране первые испытания минеральных масел начал проводить в конце 19 начале 20 века профессор Н.П. Петров [50]. Основные разработки нашли

своё отражение в трудах отечественных ученых Н.П. Петрова, Н.И. Мерцалова, А.К. Дьячкова, А.М. Эртеля, А.Н. Грубина, Д.С. Коднира, К.К. Папок, Г.П. Лышко и других [76, 78, 79, 99, 101, 102, 118-122, 125].

В настоящее время применяют две группы методов оценки свойств моторных масел – физико-химические и эксплуатационные (таблица 1.4). Поэтому в основу российской системы обозначений моторных масел, предусмотренной ГОСТ 17479.1 – 85, положены сведения о принадлежности масла к одному из классов вязкости и группе эксплуатационных свойств [79, 28-35, 51, 114, 115].

Таблица 1.4 Методы оценки свойств моторных масел.

Показатель	Метод оценки	Стандарт	
		Отечеств.	Зарубежн.
1	2	3	4
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА			
Кинематическая вязкость	Определение времени прохождения пробы в вискозиметре	ГОСТ 33-2000	ASTM D 88
Динамическая вязкость	Время трех поворотов цилиндра под нагрузкой в пробе масла	ГОСТ 33-2000	ASTM D4683-95
Плотность	Отсчет по мениксу нефтенсиметра	ГОСТ 3900-47	ASTM D1288-80
Температура вспышки.	Температура, при нагреве до которой пары масла горят не менее 5 с	ГОСТ 4333-87	ASTM D 92-72
Температура застывания	Температура, при которой масло не меняет положения в пробирке в течение 5с	ГОСТ 20287-81	ASTM D2602-86
Испаряемость	Определение потерь нагретого масла при пропускании через него воздуха	ГОСТ 10306-77	ASTM D 5800
Содержание серы.	Сжигание навески масла, улавливание сернистых соединений и оценка содержания	ГОСТ 9827-81	ASTM D 5185
Содержание фосфора	Сжигание пробы масла в калориметрической бомбе в присутствии O ₂ и H ₂ O и по оптической плотности определяют содержание	ГОСТ 9827-81	ASTM D 5185
Содержание хлора	Оттитровывают раствор нитрата ртути образующимся хлористым Na при сжигании масла в калориметрической бомбе в присутствии O ₂	ГОСТ 20242-74	ASTM D 3120
Содержание бария, кальция, цинка	Разлагают пробу масла HCl и проводят комплексометрическое оттитрование	ГОСТ 13538-68	Байрд ICA 2000

Продолжение таблицы 1.4.

1	2	3	4
Коксуемость	1.Определение при нагреве масла без O ₂ . 2.Метод Конрадсона и Ромсботтома	ГОСТ 19932-72	ASTM D 4530
Сульфатная зольность.	Нагрев пробы до образования твердого остатка и обработка H ₂ SO ₄	ГОСТ 12417-73	ASTM D 874
Щелочное число	Метод потенциометрического титрования	ГОСТ 11362-96	ASTM D 664
Кислотное число	Метод потенциометрического титрования	ГОСТ 11362-96	ASTM D 664

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА			
Смазывающие свойства	Четырехшариковая машина трения	ГОСТ 9490-75	ASTM D 2266
Противоизносные свойства	ЧШМТ, Метод FZG (метод Нимана)	ГОСТ 9490-75	ASTM D 1947
Противозадирные свойства	ЧШМТ, метод Тимкена, метод Фалекса.	ГОСТ 9490-75	ASTM D 3233
Стабильность к термоокислению	1.Время, в течение которого масло нагретое до 250°С превращается в остаток. 2.Моторные испытания на ДК-НАМИ	ГОСТ 11063-92 ИЗ137-94	ASTM D 5533 D 5302
Противопенные свойства	Определение высоты пены при пропускании через масло воздуха в теч.5мин.	ТУ38.101 413-73	ASTM D 892-89
Моющие диспергирующие св-ва	Стендовые и моторные испытания	ГОСТ 5726-53	ASTM D 665
Коррозионные свойства	Воздействие на пластинки из свинца С ₁ или С ₂ .	ГОСТ 2917-76	ASTM D 665/A
Содерж. механич. примесей.	1.Метод фильтрования 2.Фотометрический метод	ГОСТ 122-75	ISO 4407
Содержание воды	1.Отстаивание в пробирке 2.Измерением диэлектрической проницаемости	ГОСТ 2477-80 1473-81	ASTM D 5185
Модифицирующие свойства	Определение серы, фосфора, хлора	ГОСТ 9827-81	ASTM D 5185

В большинстве развитых стран мира общепринятой служит классификация моторных масел по вязкости, установленная SAE в стандарте оценки качества SAE J –300 DEC 99, введенном в действие с 2001 г. Классификация моторных масел по эксплуатационным свойствам в России определяется ГОСТ 17479.1 - 85 [114].

Значительная часть методов используемых в зарубежных странах, в большей или меньшей степени соответствует аналогичным отечественным методам оценки физико-химических и эксплуатационных свойств моторных масел [22].

Выводы

1. Анализ состояния вопроса показывает, что необходимость утилизации отработанных моторных масел в настоящее время не вызывает сомнений, поскольку их захоронение и уничтожение порождают еще большие экологические проблемы, чем сами отработанные масла. Наиболее рациональным направлением в решении современных экологических проблем представляется практическая реализация концепции предотвращения загрязнения окружающей среды путем

повторного использования отработанных моторных масел после восстановления их эксплуатационных свойств. Применяемые в настоящее время технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел энергоемки, имеют низкую производительность, требуют утилизации высокотоксичных отходов процесса переработки, приводят к выбросам в атмосферу значительного количества разнообразных канцерогенных веществ. При этом эксплуатационные свойства масел восстанавливаются не полностью, а восстановленные масла могут использоваться только в малоответственных узлах и системах.

2. Используемые в применяемых технологиях технические средства для очистки масел имеют ряд существенных недостатков: низкая надежность; низкая эффективность очистки высоковязких нефтепродуктов; трудоемкость в обслуживании; необходимость в периодической очистке самих средств; высокая стоимость.

Все это обуславливает необходимость дальнейших исследований по разработке новых высокоэффективных и экологически безопасных технологий восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел, созданию принципиально нового надежного и высокоэффективного технологического оборудования по переработке и очистке отработанных масел. Решение данных задач позволит не только уменьшить материальные затраты и объем потребляемых масел, но и, за счет снижения образования высокотоксичных отходов, улучшить экологическую обстановку.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА

2.1 Обоснование технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла

В процессе работы в двигателе моторное масло претерпевает целый ряд изменений, которые обусловлены тремя основными факторами:

- поступлением в масло продуктов износа деталей двигателя;
- накоплением в масле продуктов окисления и разложения углеводородов;
- попаданием и накапливанием в масле примесей из окружающей среды.

Данные факторы приводят к старению масла, потере его основных эксплуатационных свойств, выбраковке и отправке на регенерацию.

Метод восстановления необходимо выбирать с учетом состояния отработанного масла. Вопрос о выборе той или иной технологии восстановления масла необходимо рассматривать, исходя, прежде всего, из технико-экономической целесообразности. Проведенный анализ показывает, что все методы восстановления подчиняются общим закономерностям. По групповому углеводородному составу и физико-химическим свойствам регенерируемые масла должны соответствовать товарным маслам.

Все агрегаты регенерационных установок должны удовлетворять следующим требованиям: невысокая стоимость, технологичность конструкции, безотказность работы без обслуживания, высокая степень очистки, производительность и надежность, а также простота в эксплуатации.

Исходя из вышеперечисленных требований, выбран способ очистки моторных масел в условиях автотранспортного предприятия. Предлагаемый способ включает в себя следующие операции:

1. удаление воды и низкокипящих фракций;
2. удаление загрязняющих примесей и продуктов износа в силовом центробежном поле;
3. обработку масла коагулянтами с последующим отстоем;
4. смешивание очищенного масла с присадками или товарным маслом.

Так как в отработанном моторном масле содержится значительное количество воды и механических примесей, приходится пользоваться комбинированным способом очистки, представляющим 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 от-

работанного масла поверхностно-активными веществами позволяет добиться укрупнения и уплотнения мелкодисперсных частиц и смолистых соединений, после чего происходит их интенсивный отстой.

Основными техническими средствами, используемыми в современных технологических процессах центробежного способа очистки масла, являются различного рода центрифуги и сепараторы (п. 1.6, таблица 1.2). 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].

Для восстановления эксплуатационных свойств очищенных масел предложено два способа:

- 1) очистка отработанного масла и восстановление свойств введением присадок;
- 2) очистка отработанного масла и восстановление свойств путем компаундирования очищенного масла с товарным маслом, имеющим завышенную в полтора раза кинематическую вязкость и в два раза - щелочное число.

В дальнейшем будут рассмотрены оба вышеперечисленных способа с целью определения одного, наиболее перспективного и экологически безопасного.

2.1.1 Обоснование технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла вводом присадок

Восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных масел путем ввода присадок еще не нашло широкого применения на пунктах регенерации. Причиной этому является высокая себестоимость восстановленных масел из-за дороговизны самих присадок, а также отсутствие четких данных и научно

обоснованной методики ввода присадок. Второй причиной является то, что большинство пунктов регенерации выполняет только очистку отработанных масел с целью применения их в малоответственных узлах и механизмах как заменителей гидравлических или индустриальных масел. Кроме того, в большинстве случаев нет необходимости ввода полного пакета присадок, поскольку часть присадок остаются несработанными в отработанных маслах. Поэтому технология восстановления очищенных отработанных моторных масел должна предусматривать обязательный анализ очищенного масла на содержание присадок и расчет нормы ввода той или иной присадки.

Проведенные исследования отработанного моторного масла [19, 36] по показателям качества дают основание полагать, что, в первую очередь, в отработанных моторных маслах имеются отклонения от норм по следующим показателям: кинематическая вязкость, щелочное и кислотное число. Для восстановления этих показателей предлагается использовать вязкостную присадку ПМА- «В-2», представляющую собой 58 ... 65 % раствор полиметакрилатов в масле МС-8, и высокощелочную Детерсол – 140. Эти присадки имеют хорошую совместимость и легко растворяются в масле.

После очистки отработанного моторного масла проводят его анализ по следующим показателям: кинематическая вязкость; щелочное число; кислотное число; содержание механических примесей и воды.

После этого восстанавливают вязкость и щелочное число путем ввода в горячее масло вязкостной присадки ПМА «В-2» и высокощелочной Детерсол-140 в процентном соотношении. Экспериментальным путем было установлено, что присадка ПМА «В-2» (ТУ 6-01-979-84) позволяет поднять кинематическую вязкость масла исходя из следующих расчетов: 1 % ПМА - «В-2», добавленный к объему масла, увеличивает вязкость на $1,05 \text{ мм}^2/\text{с}$. Исходя из этого, рассчитывают количество данной присадки, которое необходимо ввести в очищенное отработанное масло для получения желаемой вязкости.

Количество присадки Детерсол-140 (ТУ 38 1011090-88) со средней щелочностью 130 мг КОН/г, которое необходимо добавить к очищенному отработанному маслу,

$$A = \frac{X - X\hat{a}}{X\hat{a} - X\hat{a}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где X – щелочное число, которое необходимо получить, мгКОН/г;

Xa - щелочное число присадки, мгКОН/г;

$Xв$ - щелочное число очищенного отработанного масла, мгКОН/г .

Технологический процесс ввода присадок (рисунок 2.1) включает в себя следующие операции: нагрев отработанного моторного масла в электропечах с деэмульгированием; очистку в гидроциклоне; обработку масла поверхностно-активными веществами с последующим отстоем; ввод в очищенное масло присадки Детерсол-140 в расчетном количестве; ввод присадки ПМА - «В-2» в расчетном количестве и постоянном перемешивании. На каждом этапе производства отбирают пробы для контроля и корректировки процесса восстановления эксплуатационных свойств очищенного отработанного моторного масла.

Присадки вводят в строгой последовательности и при определенной температуре. Присадку Детерсол -140 вводят первой, как обладающей высокой активностью, при постоянном перемешивании, что обеспечивает наилучшее смешивание с очищенным маслом и дает наибольшее щелочное число.

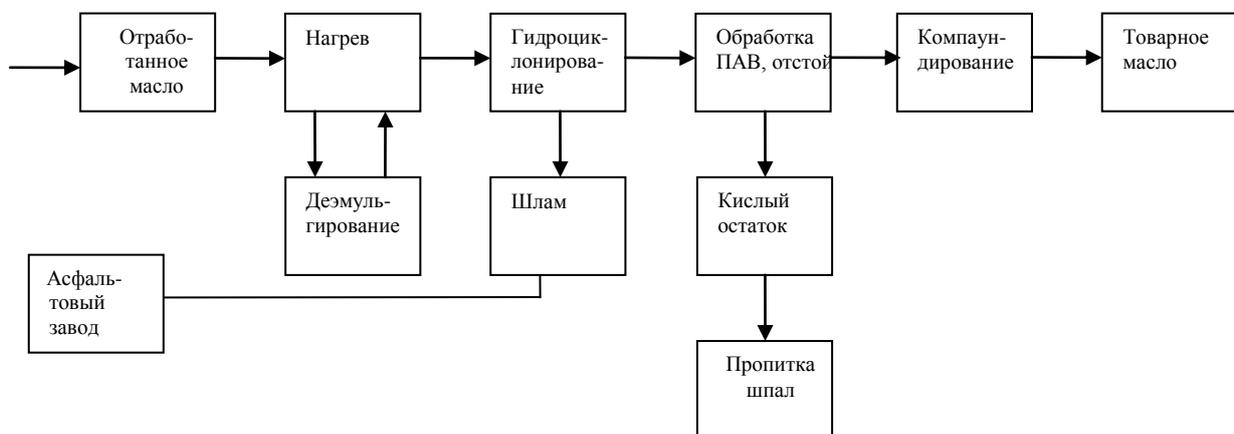


Рисунок 2.1 - Технологическая схема восстановления отработанных моторных масел пакетом присадок

Затем вводят вязкостную присадку ПМА - «В-2», обладающую более низкой активностью, также при постоянном перемешивании. Время компаундирования присадок с очищенным маслом устанавливают на основании эксперимен-

тальных исследований. Компаундирование проводят в емкости с термозащитным покрытием, с целью предотвращения быстрого остывания очищаемого масла.

2.1.2 Обоснование технологии компаундирования

Многие моторные масла, выпускаемые нефтеперерабатывающими заводами, имеют высокую вязкость и высокое щелочное число, намного превышающее значение этих параметров у моторного масла М-10Г₂к. Поэтому смешивание таких марок масел с очищенными отработанными моторными маслами в определенных пропорциях позволит получать масла заданного качества, соответствующего товарным маслам.

Данный метод разработан для восстановления основных качественных показателей моторного масла М-10Г₂к путем смешивания (компаундирования) очищенного отработанного моторного масла с товарным маслом, имеющим завышенную в полтора раза кинематическую вязкость и в два раза - щелочное число.

В результате проведенных анализов для основного продукта было выбрано дизельное масло марки М-14 Г₂ЦС, имеющее кинематическую вязкость не ниже 14 мм²/с и щелочное число не менее 9 мг КОН/г.

Для определения количества товарного масла, которое необходимо смешать с очищенным отработанным моторным маслом для получения заданной вязкости, составляют номограмму получения смесей масел с разной вязкостью при 100 °С.

Щелочное число восстанавливаемого масла, в этом случае рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{P_a X_a + P_b X_b}{P_a + P_b}, \quad (2.2)$$

где P_a – количество масла М-14Г₂ЦС, %;

P_b – количество отработанного масла, %;

X_a – щелочное число М-14Г₂ЦС, мг КОН/г;

X_b – щелочное число отработанного масла, мг КОН/г;

X – щелочное число смеси, мг КОН/г.

Технологический процесс компаундирования (рисунок 2.2) аналогичен процессу ввода присадок. Он включает в себя следующие операции: нагрев отработанного масла в электропечах с деэмульгированием; очистку в гидроциклоне; обработку поверхностно-активными веществами с последующим отстоем; компаундирование отстоявшегося масла с маслом М-14 Г₂ЦС, вводимом в количестве определенном по номограмме, и постоянном перемешивании.

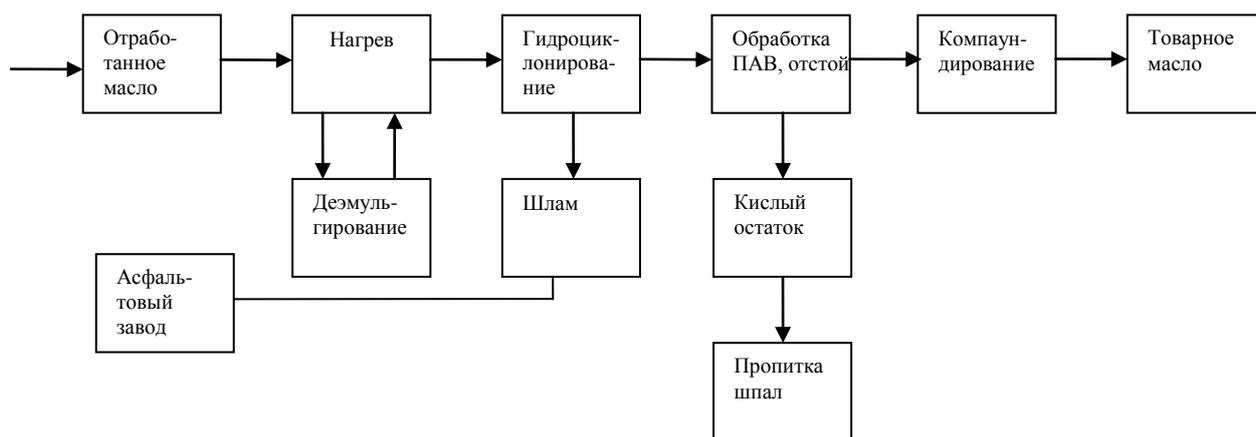


Рисунок 2.2 - Технологическая схема восстановления отработанных моторных масел методом компаундирования с М-14Г₂ЦС

Данный метод позволяет получать моторные масла, не уступающие по своим показателям товарному маслу М-10 Г₂к.

Предлагаемая технология восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел предусматривает:

- нагрев отработанного масла до температуры 100...103 °С, благодаря чему не происходит окисления масла и дальнейшего ухудшения его свойств, а также предотвращается образование различного рода полициклических аренов, образующихся при высоких температурах нагрева (от 280 °С до 500 °С), что характерно для широко применяемых методах атмосферной, вакуумной и каталитической перегонки;

- очистка гидроциклоном позволяет снизить содержание нерастворимых в масле примесей до допустимых значений, благодаря чему отпадает необходимость в использовании различного рода коагулянтов и, соответственно, исключается проблема утилизации высокотоксичных отработанных продуктов очи-

стки; дальнейшая обработка ПАВ предназначена для удаления смолистых соединений. В процессе обработки масла ПАВ образуется кислый гудрон, который в дальнейшем используют как антисептический материал для обработки деревянных изделий против гниения (столбов, шпал, и др.).

Грязное масло после гидроциклона сливают в емкость для отработанных масел с целью повторной переработки или перемешивают с продуктами отстоя. Осадок в виде нефтяного шлама используют в производстве асфальта. Таким образом, можно утверждать, что данная технология является безотходной и экологически безопасной, поскольку снимает ряд проблем, связанных с утилизацией продуктов переработки, и значительно сокращает выбросы в атмосферу вредных веществ, образующихся при тепловой обработке масла.

2.2 Разработка технических средств для восстановления отработанного моторного масла

2.2.1 Обоснование выбора установки для восстановления свойств отработанного моторного масла

При перемещении тела в жидкой среде, последняя оказывает сопротивление, которое складывается из сопротивления от инерции среды (динамическое сопротивление) и сопротивления от трения (вязкости). При небольшой скорости перемещения и малых размерах тела или его обтекаемой поверхности, преобладает сопротивление от трения, что и наблюдается в случае очистки отработанных вязких моторных масел.

Скорость осаждения частиц шарообразной формы диаметром менее 0,175 мм, в зависимости от вязкости среды, определяют по формуле Стокса [63, 64]:

$$\omega_{i\bar{n}} = \frac{d_{\bar{z}}^2(\rho_{\bar{z}} - \rho_i)}{18\mu}, \quad (2.3)$$

где $d_{\bar{z}}$ - диаметр падающей частицы, м;

$\rho_{\bar{z}}$ и ρ_i - соответственно плотность частицы и среды (масла), кг/м³;

μ - коэффициент вязкости, кг/(м²·с);

Для частиц диаметром более 1,5 мм скорость осаждения определяют по формуле Риттенгера [104]:

$$\omega_{i\bar{n}} = \sqrt{\frac{2d(\rho_z - \rho_i)g}{\rho_i}}, \quad (2.4)$$

где g - ускорение свободного падения, м²/с.

Скорость осаждения частиц диаметром от 0,175 мм до 1,5 мм определяют по формуле Алена [105]:

$$\omega_{i\bar{n}} = \left(\frac{4g}{30\rho_i \sqrt{\nu}} \right)^{\frac{2}{3}} d \rho_z - \rho_i^{\frac{2}{3}}, \quad (2.5)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости, мм²/с.

Анализ уравнений показывает, что скорость осаждения примесей пропорциональна диаметру осаждаемой частицы.

Поскольку с уменьшением размеров частиц их объем уменьшается быстрее, чем полная поверхность, то действие объемных сил будет сравнительно невелико. Весьма существенными факторами процесса разделения сред являются разности плотностей среды и частиц. При незначительной разности плотностей и небольших размерах частиц абсолютные скорости их будут ничтожно малы. Поэтому увеличение скорости осаждения можно достигнуть следующими методами:

- 1) увеличением размеров частиц;
- 2) увеличением разности между плотностями частиц и среды;
- 3) уменьшением вязкости среды и увеличением скорости осаждения частиц.

Последний метод возможен при использовании метода осаждения в силовых полях.

Принцип очистки и осушки масел и различных технических жидкостей в силовых полях остается одним из самых распространенных. Из используемых в таких технологических процессах технических средств широкое применение получили различного рода центрифуги и сепараторы. В последнее время для очистки различных жидкостей все чаще используют гидроциклонные установки [86, 104, 136], где под воздействием центробежных сил происходит выделение твер-

дых частиц из потока очищаемого масла. Гидроциклонные установки отличаются более высокой надежностью, поскольку не имеют вращающихся частей, низкой стоимостью, неприхотливостью в обслуживании. Их можно устанавливать в различных местах с отклонением от вертикали [41, 48, 49, 66]. В настоящее время во многих научно-исследовательских центрах проводятся работы по применению гидроциклонных установок для очистки различных жидкостей.

Наиболее простой и эффективной является очистка масла от механических примесей в гидроциклоне. Гидроциклон прост в изготовлении и надежен в эксплуатации, так как не имеет вращающихся частей, а разделение в нем происходит за счет спиралеобразного движения самой очищаемой жидкости [1, 4, 5, 14, 15, 41, 44, 48, 49, 72, 73, 100].

Для выведения из масла смолистых соединений, асфальтенов и ряда окисленных углеводородов, не удаляемых в силовом поле в силу их одинаковой с маслом плотности, используют различного рода поверхностно-активные вещества. Наиболее доступными активными веществами являются кислоты. Поэтому после отделения механических примесей масло обрабатывают кислотой. На рисунке 2.3 представлена технологическая схема установки для очистки отработанного моторного масла.

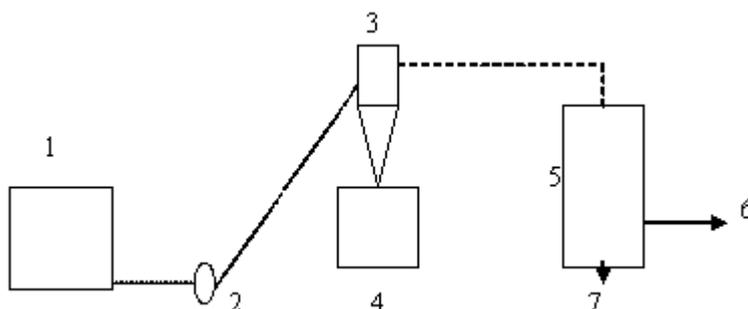


Рисунок 2.3 - Технологическая схема очистки отработанного моторного масла (обозначения в тексте)

По предлагаемой схеме отработанное масло очищают следующим образом. Отработанное моторное масло заливают в электропечь 1, где его разогревают, после чего из него удаляют воду и легкокипящие фракции при постоянном переме-

шивании. Затем насосом 2 разогретое масло подают в гидроциклон 3, где происходит отделение примесей в ёмкость 4. Чистое масло через отводной патрубок сливают в ёмкость 5, в которую затем подают ПАВ. После отстоя чистое масло сливают через отвод 6, а кислый гудрон через нижний отвод 7.

Данная технологическая линия может быть установлена как в стационарных помещениях, так и на передвижных тележках или прицепах.

2.2.2 Устройство и принцип работы гидроциклона

Для реализации метода очистки отработанных масел предлагается рабочая гипотеза о возможности использования гидроциклона для очистки отработанных моторных масел от механических примесей. Существующие типы гидроциклонов не отвечают необходимым требованиям по качеству очистки. Кроме этого, для очистки высоковязких жидкостей, таких как моторные масла, гидроциклоны до сих пор не применяли. Поэтому для использования гидроциклона как технического средства для очистки масла необходимо определить зависимость качества очистки от основных геометрических параметров гидроциклона и режимов его работы.

Гидроциклон (рисунок 2.4) для очистки отработанного моторного масла содержит корпус 1 цилиндрикоконической формы, коническую диафрагму 2, приспособления для подвода 3 и отвода 4 очищенного масла. Приспособление для подвода очищаемого масла 3 выполнено в виде патрубка прямоугольного сечения, установленного тангенциально к корпусу 1 в его верхней части с наклоном к горизонтальной плоскости. На корпусе 1 установлена крышка 5 цилиндрической формы. Диафрагма 2 снабжена наружным выступом 6 в виде кольца для ее крепления к корпусу 1 и установлена под крышкой 5 вдоль оси корпуса 1. Приспособление для отвода очищенного масла 4 установлено тангенциально к крышке 5. В нижней части корпуса 1 установлен сливной патрубок 7.

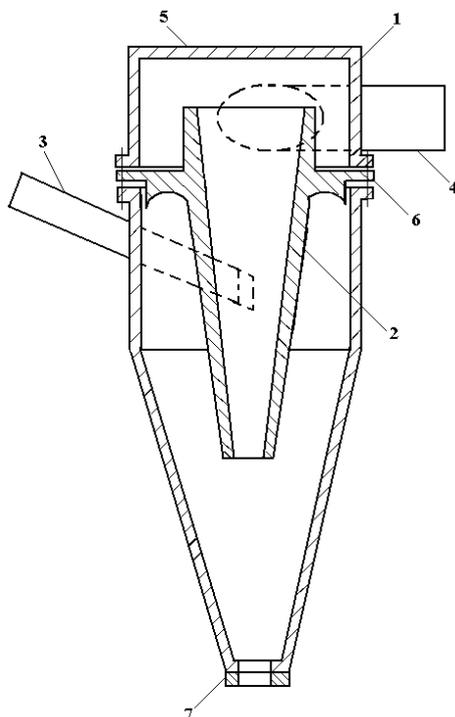


Рисунок 2.4 – Схема гидроциклона (обозначения в тексте)

Гидроциклон для очистки отработанного моторного масла работает следующим образом.

Загрязненное масло поступает под давлением через приспособление для подвода 3 очищаемого масла тангенциально в цилиндрическую часть корпуса 1 и, приобретая вращательное движение, перемещается в коническую часть корпуса 1. При этом возникают значительные центробежные силы, превышающие силу тяжести, под действием которых более тяжелые фракции очищаемого масла движутся от оси гидроциклона к стенкам его корпуса 1 по спиральной траектории вниз. Затем тяжелые фракции через сливной патрубок 7 удаляются из гидроциклона. Более легкие фракции движутся во внутреннем спиральном потоке, направленном вверх, внутри диафрагмы 2. Далее они поступают во внутреннюю полость крышки 5 и через приспособление для отвода очищенного масла 4 удаляются наружу.

Эффективность очистки отработанного моторного масла повышается за счет того, что приспособление для подвода очищаемого масла, выполненное в виде патрубка прямоугольного сечения и установленное тангенциально к корпусу в его верхней части с наклоном к горизонтальной плоскости, обеспечивает ламинарность потока очищаемого масла при его вращательном движении вдоль

внутренней стенки корпуса. Установленная под крышкой вдоль оси корпуса и снабженная наружным выступом в виде кольца диафрагма обеспечивает высокое качество процесса разделения масла на фракции. Приспособление для отвода очищенного масла, установленное тангенциально к крышке, также повышает эффективность очистки масла за счет снижения сопротивления движению очищенного масла при выходе его из гидроциклона.

2.2.3 Определение основных конструктивно-технологических параметров гидроциклона

Технологический расчет гидроциклона сводится к определению производительности гидроциклона, работающего при оптимальных геометрических параметрах, соответствующих максимальному отделению примесей, находящихся в очищаемой жидкости. Для определения производительности предложен ряд формул [44, 66, 69, 71, 72, 74, 84, 87, 89, 105, 134, 142]. В результате проведенного анализа выявлено, что все известные формулы получены на основе трех предпосылок:

- гидроциклон рассматривается как местное сопротивление на трубопроводе;
- процесс истечения жидкости из гидроциклона приводят к случаю истечения жидкости из затопленного отверстия;
- закономерность истечения жидкости из гидроциклона аналогична закономерностям, полученным для случая истечения жидкости через водослив, образованный краями верхнего отводного отверстия.

Причем, эти формулы, в основном, идентичны, независимо от выбора предпосылок [142].

За основу расчета основных размеров гидроциклона была взята методика, разработанная Р.Н. Шестовым [135, 136]. При реализации этой методики гидроциклон позволяет получить более тонкую степень очистки моторного масла. Однако, пользуясь данным методом, довольно сложно подобрать циклон с желаемой степенью очистки. Поэтому целесообразнее рассчитывать размеры гидроциклона, исходя не из его производительности, а желаемой степени очистки.

2.2.3.1 Силы и скорости, действующие на частицу в гидроциклоне

Процесс разделения отработанных масел на фракции в гидроциклоне может быть представлен следующим образом. На частицу, находящуюся в потоке жидкости в гидроциклоне, действуют следующие силы (рисунок 2.5): центробежная $P_{ц}$, отбрасывающая частицу к периферии; радиальная сила P_r , возникающая от действия радиального потока жидкости и направленная к оси аппарата; сила Кориолиса P_k , которая перемещает частицу в окружном направлении относительно потока; сила сопротивления среды P_c , препятствующая осаждению частицы; сила инерции P_u , образуемая вследствие изменения скорости осаждения.

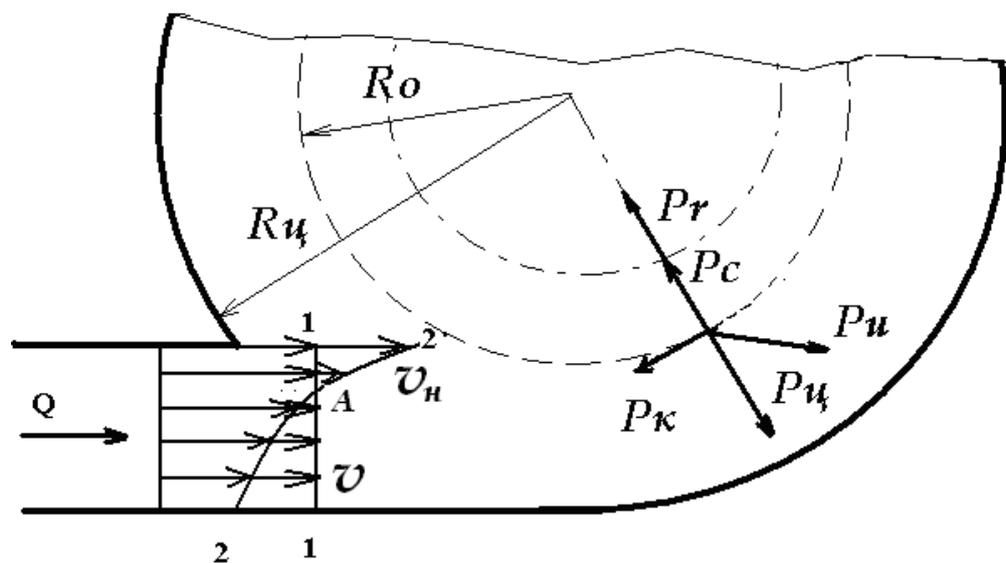


Рисунок 2.5 – Силы, действующие на частицу в спиральном потоке в гидроциклоне

Если вследствие малости частицы принять, что она увлекается потоком во вращательное движение с угловой скоростью ω , то основная действующая на нее сила – центробежная:

$$D_{\dot{o}} = m_{\dot{c}} \omega^2 r_{\dot{a}} = \frac{\pi d_{\dot{c}}^2 \rho_{\dot{c}} \omega^2 r_{\dot{a}}}{6} = \frac{\pi d_{\dot{c}}^2 \rho_{\dot{c}} v^2}{6 r_{\dot{a}}}, \quad (2.6)$$

где $m_{\dot{c}}$ – масса частицы, кг;

ω – угловая скорость вращения, с^{-1} ;

$r_{\dot{c}}$ – радиус вращения частицы, м;

ρ_c - плотность частицы, кг/м³;

v – линейная локальная скорость потока, м/с.

Сила инерции P_u обусловлена изменением относительной скорости частицы в потоке среды при перестройке профиля скорости частицы на входе в цилиндрическую часть гидроциклона. Поток жидкости входит в циклон с начальной скоростью v_1 (скорость жидкости во входном патрубке циклона); затем профиль скорости изменяется по линии 1–1 (рисунок 2.5.).

При переходе жидкости в искривленный канал входного патрубка, профиль скорости v изменяется (рисунок 2.5 линия 2–2) и ее распределение по сечению входного канала соответствует закону:

$$vr^n = const, \quad (2.7)$$

где n – показатель свободы.

Большинство исследователей принимает $n = 1$ [93].

Скоростью сепарации частиц называют вектор \bar{v}_c , равный разности векторов:

$$\bar{v}_c = \bar{v}_n - \bar{v}(r), \quad (2.8)$$

где \bar{v}_n - вектор скорости потока на входе в цилиндрическую часть гидроциклона, м/с;

$\bar{v}(r)$ - вектор скорости частицы по радиусу гидроциклона, м/с.

Вследствие изменения скорости сепарации частицы появляется дополнительная сила инерции:

$$D_c = m_c \left(\frac{d\bar{v}_c}{d\tau} \right), \quad (2.9)$$

где τ - время сепарации частицы, ч.

Вектор скорости v_c изменяет свое направление в различных зонах потока. Ниже точки A он направлен к периферии циклона, а выше – к его оси. Поэтому учесть силу инерции P_{ii} при анализе очень сложно; обычно этой силой пренебрегают, что и является основной причиной расхождения экспериментальных данных с расчетными.

На частицу, перемещающуюся во вращающемся потоке, действует сила Кориолиса

$$P_{\kappa} = 2m_{\kappa}\omega\overline{v_c} \quad (2.10)$$

Так как изменение скорости $\overline{v_c}$ в направлении центробежной силы $\overline{P_{\kappa}}$ невелико, то силой Кориолиса можно пренебречь.

Сила сопротивления потока среды

$$P_c = \frac{\xi S_{\kappa} \rho_{\kappa} v_c^2}{2}, \quad (2.11)$$

где ξ – коэффициент лобового сопротивления частицы;

S_{κ} – площадь сечения частицы по нормали к ее движению. м^2 .

Радиальная сила:

$$D_r = \frac{3\mu Q d_{\kappa}}{2hr}, \quad (2.12)$$

где μ – кинематическая вязкость масла, $\text{м}^2/\text{с}$;

Q – производительность гидроциклона, $\text{м}^3/\text{ч}$;

h – высота воздушного столба гидроциклона, м .

Под действием указанных выше сил, скорость движения частицы в любой точке гидроциклона может быть разложена на следующие три составляющие (рисунок 2.6):

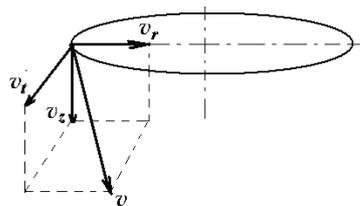


Рисунок 2.6 – Составляющие скорости движения частицы в гидроциклоне

v_t – тангенциальную скорость, направленную перпендикулярно радиусу вращения частицы в данной точке на горизонтальной плоскости;

v_r – радиальную скорость, направленную по радиусу гидроциклона внутрь его;

v_z – осевую или вертикальную скорость, направленную под прямым углом к v_t и v_r вдоль оси гидроциклона.

Поскольку на частицу, находящуюся в потоке жидкости, в гидроциклоне действуют в основном две силы: центробежная P_u и радиальная P_r , то в каждой точке гидроциклона в плоскости, перпендикулярной его оси, частица будет иметь скорость v (рисунок 2.6), состоящую из тангенциальной v_t и радиальной v_r скоростей. Исходя из этого, уравнение радиального движения частицы в цилиндрическом гидроциклоне можно записать следующим образом:

$$m_{\pm} \frac{d^2 r}{dt^2} = m_{\pm} \left(\frac{\rho_{\pm}}{\rho_i} - 1 \right) \frac{v_t(r)}{r} - \mu \left(\frac{dr}{dt} - v_r(r) \right) + \xi(t), \quad (2.13)$$

где $v_t(r)$ – функция, описывающая распределение тангенциального компонента скорости частицы в потоке;

$v_r(r)$ – функция, описывающая распределение радиального компонента скорости частицы в потоке;

$\xi(t)$ – функция времени, учитывающая случайную составляющую скорости, вызванную стесненностью движения частиц и их взаимными столкновениями.

Предположив обратную пропорциональность тангенциальной $v_t(r)$ и радиальной $v_r(r)$ компонент скорости жидкости радиальной координате, в условиях отсутствия относительного движения частицы в окружном направлении и ускорения их при радиальном перемещении и, определив силу сопротивления по линейному закону Стокса, уравнение (2.13) можно записать в виде

$$\frac{dr}{dt} = \frac{d_{\pm}^2 \left(\frac{\rho_{\pm}}{\rho_i} - 1 \right) A^2}{18v_{\bar{n}}} \frac{1}{r^3} - \frac{\gamma}{r} + \frac{\xi t}{3\pi d_{\pm} \rho_{\pm} v_{\bar{n}}}, \quad (2.14)$$

где A – параметр, характеризующий геометрические характеристики гидроциклона

$$A = v_t R_t, \quad (2.15)$$

где v_t – тангенциальная скорость частицы на участке, м/с;

R_t – радиус, на котором выполняется соотношение $V_t = const$, м;

γ - параметр, характеризующий пропускную возможность гидроциклона.

$$\gamma = A \left(\frac{d_{\text{вх}}}{8HR_t} - 4C^2 \right), \quad (2.16)$$

где $d_{\text{вх}}$ – диаметр входного патрубка гидроциклона, м;

H – высота конической части гидроциклона, м;

C – постоянная величина, характеризующая зависимость производительности от высоты гидроциклона;

$$\tilde{N} = \frac{Q}{2\pi L}, \quad (2.17)$$

где Q – производительность гидроциклона, м³/ч;

L – высота гидроциклона от сливного патрубка до верхнего среза диафрагмы, м.

Если предположить, что функция $\xi(t)$, учитывающая случайную составляющую скорости, вызванную стесненностью движения частиц и их взаимными столкновениями, определяется функцией времени с нулевым средним значением, то описываемое уравнением (2.14) случайное перемещение частицы вдоль радиуса гидроциклона, в любом его сечении, является простым процессом и может быть представлено одномерной плотностью вероятности $W(t, r)$. Тогда величина $W(t, r)dr$ характеризует относительное число частиц, находящихся в момент времени t в сечении $r+dr$, а функция $W(t, r)$ может быть истолкована как концентрация частиц в этот момент времени в данном сечении и определена уравнением

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(-aW + \frac{b}{2} \frac{\partial W}{\partial r} \right), \quad (2.18)$$

с соответствующими уравнению коэффициентами:

$$a = \frac{r^3 d_{\dot{v}}^2 \left(\frac{\rho_{\dot{v}}}{\rho_i} - 1 \right) \dot{A}^2}{18v_{\bar{n}}} - \frac{\gamma}{r}, \quad (2.19)$$

и

$$b = \frac{4,8 \cdot 10^{-15} \left(\frac{d_{\dot{a}}}{d_{\bar{n}}} \right)^{0,65}}{9\pi^2 d_{\dot{v}}^2 \rho_i^2 v_{\bar{n}}^2}, \quad (2.20)$$

где d_c – диаметр сливного патрубка, м.

Граничные условия, указывающие на отсутствие перемещения частицы вдоль радиуса вращения (r) при достижении ими стенки $r = R_y$ гидроциклона, а также границы зоны противотока $r = r_o$, соответствующее радиусу воздушного столба (r_o), определяющие унос частиц в приспособление для отвода очищенного масла, могут быть записаны в виде:

$$W(t, r) = 0 \text{ при } r = R_y - ztg\alpha \text{ и } r = r_o, \quad (2.21)$$

где z – координата точки по высоте гидроциклона, м.

α – угол конусности гидроциклона, град.;

С учетом граничных условий и безразмерных параметров, влияющих на процесс отделения частицы $\bar{r}, \bar{\alpha}, \bar{\gamma}$ дифференциальное уравнение (2.18) принимает вид

$$\frac{\partial \bar{W}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left[- \left(\frac{1}{r^3} - \frac{\bar{\gamma}}{r} \right) \bar{W} + \frac{1}{2\alpha} \frac{\partial \bar{W}}{\partial r} \right]. \quad (2.22)$$

Тогда унос частиц через сливной патрубок, выраженный в долях единицы от общего числа частиц, поступающих с очищаемым маслом, может быть определен как безразмерная величина потока частиц:

$$\bar{G}(\bar{r}) = \left[- \left(\frac{1}{r^3} - \frac{\bar{\gamma}}{r} \right) \bar{W} + \frac{1}{2\alpha} \frac{\partial \bar{W}}{\partial r} \right], \quad (2.23)$$

зависимостью

$$S_a(\bar{r}) = \frac{1}{2\alpha_0} \int \bar{G}(\bar{r}) d\bar{t}. \quad (2.24)$$

Таким образом, качество очистки, определяемое массовым содержанием частиц в потоке масла, удаляемого через нижнее сливное отверстие, зависит от времени t нахождения частицы в гидроциклоне и радиуса зоны противотока $r = r_o$, то есть, от радиуса поверхности нулевой осевой скорости, определяющей разделение потока масла и унос частиц через верхнее или нижнее сливные отверстия.

2.2.3.2 Определение конструктивных параметров гидроциклона

При спиралеобразном движении потока жидкости в гидроциклоне наблюдается стоксовский (ламинарный) режим осаждения находящихся в потоке масла частиц, обеспечивающий разделение их по фазам. Поэтому, если учитывать действие центробежной силы P_u и силы сопротивления среды P_c , то из выражений (2.6) и (2.11) получим:

$$\frac{\pi d_{\pm}^2 \rho_{\pm} v^2}{6r} = \frac{24\mu}{v_c d_{\pm} \rho_i} \frac{\pi d_{\pm}^2 \rho_i v_{\bar{n}}^2}{4 \cdot 2}. \quad (2.25)$$

Откуда
$$\frac{v^2}{r} = \frac{18v_{\bar{n}}\mu}{d_{\pm}^2 \rho_{\pm}}. \quad (2.26)$$

При условии обеспечения в гидроциклоне принятого закона изменения тангенциальной скорости от радиуса (2.7) распределение скорости жидкости в криволинейном канале (линия 2–2 на рисунке 2.5) характеризуется зависимостью:

$$v = \frac{v_i (R_2 - R_1)}{r \ln \frac{R_2}{R_1}}, \quad (2.27)$$

где R_2 – наружный радиус потока жидкости, равный радиусу гидроциклона $R_2 = R_u$, м;

R_1 – внутренний радиус потока жидкости в гидроциклоне, м, введение которого в формулу (2.22) дает выражение:

$$\frac{v_i (R_2 - R_1)^2}{r^3 \left(\ln \frac{R_2}{R_1} \right)^2} = \frac{18v_c \mu}{d_{\pm}^2 \rho_{\pm}}. \quad (2.28)$$

Приняв в качестве текущего радиуса вращения частицы r его среднее значение:

$$r_{cp} = \frac{R_2 + R_1}{2}, \quad (2.29)$$

получим обобщенную зависимость, характеризующую минимальный диаметр осаждающихся частиц:

$$d_{\pm, \min} = \sqrt{\frac{18v_c \mu D}{2,5v_i^2 \rho_{\pm}}}, \quad (2.30)$$

где D – диаметр циклона $D = 2R_2$, м.

Однако, использование среднего значения радиуса позволит определить только диаметр частиц, находящихся на данном радиусе, и не позволяет получить реальный диаметр осаждаемой частицы. Для решения этой задачи необходимо использовать значение радиуса нулевой вертикальной скорости.

Если предположить, что отсутствует вертикальное воздействие на частицу в потоке циклона, то каждая частица будет находиться во взвешенном состоянии на определенном расстоянии от центра вращения, то есть на расстоянии, где центробежная сила будет равна радиальной силе $P_u = P_r$. Более тяжелые частицы будут располагаться ближе к периферии гидроциклона, а легкие – у его центра. Во внутренней конической полости гидроциклона траектории каждой группы частиц, находящихся в потоке масла, при движении будут образовывать криволинейную поверхность (рисунок 2.7).

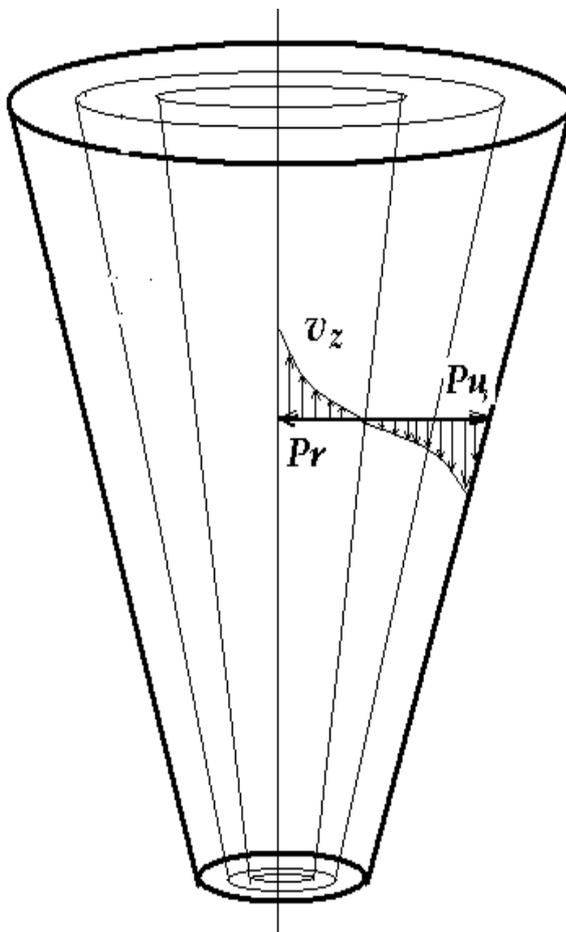


Рисунок 2.7 - Схема поверхностей частиц в потоке гидроциклона

Точки нулевой вертикальной скорости, то есть границы смены знаков вертикальной скорости, тоже создают криволинейную поверхность. Пересечение или совпадение плоскости вертикальной скорости с плоскостью какой-либо группы

частиц даст величину граничного зерна, причем большее зерно будет уходить в слив, а меньшее – в чистый поток.

Определив уравнение плоскости нулевой вертикальной скорости, можно рассчитать основные геометрические размеры гидроциклона, обеспечивающие заданную степень очистки.

Для определения радиуса нулевой поверхности необходимо определить осевую скорость перемещения частицы в потоке гидроциклона.

Для вычисления осевой скорости воспользуемся формулой [66]:

$$v_z = \frac{\Gamma}{4\pi \cos \frac{\alpha_1}{2}} \int_0^{H+H_1} dh \int_0^{2\pi} \frac{\left(R_o - htg \frac{\alpha_1}{2} \right) - \left(R_o - htg \frac{\alpha_1}{2} \right) R \cos \beta}{\left[(h-z)^2 + \left(R_o - htg \frac{\alpha_1}{2} \right)^2 + R^2 - 2R \cos \beta \left(R_o - htg \frac{\alpha_1}{2} \right) \right]^{3/2}} d\beta, \quad (2.31)$$

где $\Gamma = const$ – циркуляция скорости на единицу высоты тороида, m^2/c ;

$$\Gamma = 2\pi r v_t;$$

R_o - радиус поверхности нулевых осевых скоростей на границе цилиндрической и конической частей гидроциклона, м.

$$R_o = \frac{r_o}{r_c + r_n} \left(R_r + Htg \frac{\alpha}{2} \right), \quad (2.32)$$

где R_r – радиус гидроциклона, м;

r_o – радиус воздушного столба ($r_o = 0,606r_c$), м;

r_c – радиус отвода очищенного масла, м;

r_n - радиус сливного патрубка, м;

α_1 - угол конусности гидроциклона, град.;

β – угол наклона или угол смещения точки при движении в вихревом слое на высоту (h-z), град;

h - расстояние рассматриваемого кольцевого сечения от начала вихревого слоя (т.е. от верхней крышки цилиндрической части гидроциклона), м;

H - высота конической части гидроциклона , м;

H_1 - высота цилиндрической части гидроциклона, м.

Тангенциальная скорость частицы

$$v_t = Cr_0 \int_0^{H+H_1} dh \int_0^{2\pi} \frac{R - r_i \cos \beta}{\left[h - z^2 + r_i^2 + R^2 - 2r_i \cos \beta \right] r_i^2 + R^2 - 2R_0 \cos \beta} d\beta, \quad (2.33)$$

где C – постоянная величина, характеризующая зависимость производительности от высоты гидроциклона;

r_n – наружный диаметр рассматриваемого кольцевого сечения, м;

R и z – координаты точки, для которой определяется скорость, м;

v_t – тангенциальная скорость частицы, м/с;

dh – высота рассматриваемого кольца, м;

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} = \frac{r_o}{r_c + r_n} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.34)$$

Осевая скорость частицы:

$$v_z = \frac{2\pi Cr_o}{4\pi \cos \frac{\alpha_1}{2}} \int_0^{H+H_1} \int_0^{2\pi} \frac{R - r_o \cos \beta}{\left[h - z^2 + r_o^2 + R^2 - 2r_o \cos \beta \right] r_o^2 + R^2 - 2R_0 \cos \beta} d\beta dh \times \left[\left(R_o - h \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \right)^2 - \left(R_o - h \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \right) R \cos \beta \right] \times \int_0^{H+H_1} \int_0^{2\pi} \frac{d\beta dh}{\left[h - z^2 + \left(R_o - h \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \right)^2 + R^2 - 2R \cos \beta \left(R_o - h \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} \right) \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.35)$$

Для установления связи в критериальной форме в виде регрессионной модели зависимости радиуса нулевой поверхности R_o от параметров гидроциклона составим матрицу, приняв в качестве независимых переменных: высоту рабочей части гидроциклона $H + H_1$, координату частицы по радиусу гидроциклона R , координату частицы по высоте гидроциклона $H + H_1$, расстояние до рассматриваемого сечения h конической части гидроциклона, диаметр сечения d , осевую скорость v_z :

R_o	$H+H_1$	R	z	h	d	v_z
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	0
-1	-1	-1	-1	-1	0	1
-1	-1	-1	-1	0	1	1
-1	-1	-1	0	1	1	1
-1	-1	0	1	1	1	1

Уравнение регрессии будет иметь вид:

$$R_o = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n = 0; \quad (2.36)$$

где a_0, a_1, \dots, a_n - коэффициенты регрессии при выделенных параметрах гидроциклона;

X_1, X_2, \dots, X_n - параметры гидроциклона.

Имея предварительную информацию о влиянии перечисленных параметров гидроциклона на радиус поверхности нулевой осевой скорости, представим функциональную зависимость в общем виде:

$$R_0 = f(\alpha, R, h, z, d). \quad (2.37)$$

Для расчета коэффициентов определим изменение осевой скорости и координаты частицы, перемещающейся в вихревом потоке гидроциклона, в трех точках сечения по высоте и десяти точках по радиусу гидроциклона (рисунок 2.8).

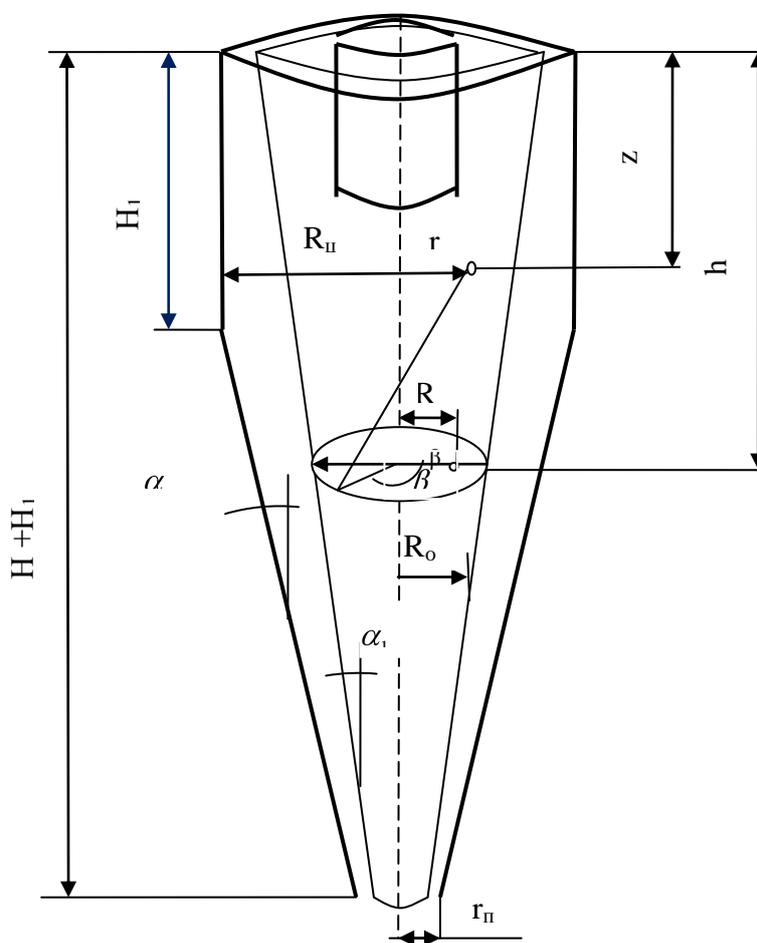


Рисунок 2.8 - Расчетная схема гидроциклона

При этом координата частицы z примет определенные числовые значения в зависимости от диаметра сечения, и соответственно, от положения ее по высоте гидроциклона. Задавшись условием, что координата z - числовая меняющаяся величина, получим:

$$r_0, R_0, \alpha, \beta, r, h = \text{const}; \quad (2.38)$$

то есть, изменяться будет только R - координата исследуемой точки. После расчета положения точки получим ряд числовых значений основных параметров (приложения А, Б).

Рассмотрев приложение Б, можно заключить, что некоторые из параметров имеют постоянные значения в любой точке рассматриваемых сечений, то есть они являются маловажными, поскольку не оказывают существенного влияния, и могут быть исключены из рассматриваемых параметров. Тогда, выбрав пять сечений в горизонтальной плоскости конической части гидроциклона и рассчитав координаты перемещения частицы по оси радиуса сечения конической части гидроциклона, определим перемещение этой частицы вдоль оси гидроциклона. Поскольку перемещение частицы зависит от радиальной скорости, т. е. от центробежной и радиальной сил, выявим, в какой точке координат по линии R радиуса выбранного сечения тороида, центробежная сила будет либо превосходить радиальную, либо будет меньше её. Соответственно, в числовом выражении, это перемещение будет характеризоваться изменением математического знака скорости либо в положительную, либо в отрицательную сторону. Таким образом, в том случае, если скорость будет иметь отрицательное значение, частица, находящаяся в вихревом потоке, будет отброшена к стенке гидроциклона и удалена через нижнее сливное отверстие. В том случае, если скорость положительная, то частица будет подхвачена внутренним вихревым потоком и вынесена через верхнее выходное отверстие.

Координата, соответствующая точке изменения отрицательного значения скорости на положительное, будет являться координатой нулевой вихревой поверхности в заданном (или рассматриваемом) горизонтальном сечении гидроциклона и, таким образом, будет являться зоной отделения граничного зерна, то есть определять степень очистки продукта от примесей (приложение Б).

После определения координат изменения положения частицы в потоке гидроциклона и расчета коэффициентов регрессии получено квадратичное уравнение осевой скорости частицы в потоке:

$$v_z = \dot{O} = (-244,524 - 30) - 19769,382r - 138,852z + 31610,804C + 1373,869R_i + 227914,938r^2 - 17399,748z^2 - 158262,452C^2 - 88475,754R^2. \quad (2.39)$$

Выполнив расчеты, по уравнению 2.35, получим теоретическое изменение осевой скорости по радиусу гидроциклона (рисунок 2.9).

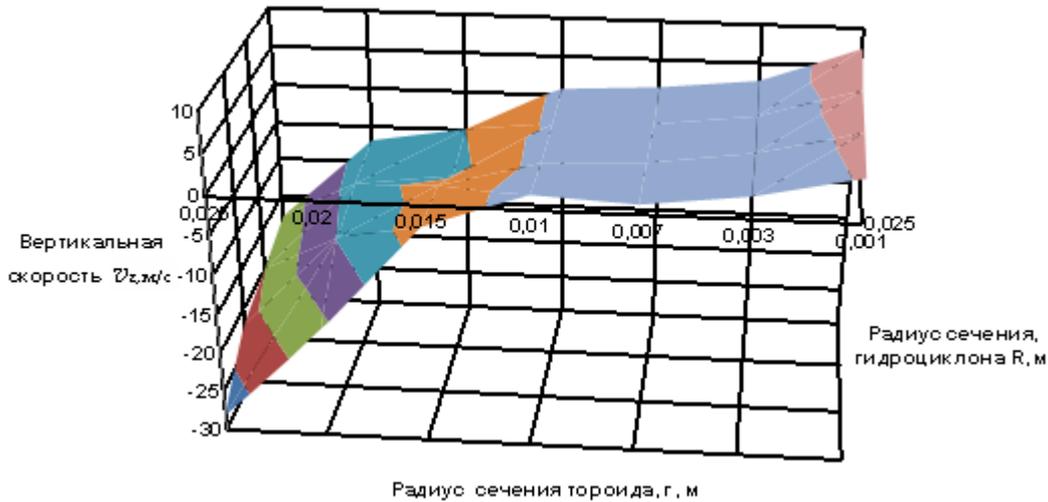


Рисунок 2.9 - Теоретическое изменение осевой скорости движения частицы по радиусу гидроциклона

Как видно из рисунка 2.9, максимальное отрицательное значение осевая скорость имеет у стенок гидроциклона. В этом случае частица отбрасывается к стенкам и выносится с грязным потоком. Чем ближе находится частица к оси вращения, тем меньше отрицательное значение скорости, и на определенном расстоянии от оси (соответствующем радиусу $r = 0,012$ м) эта скорость достигает нулевого значения, а затем переходит в зону положительных значений (когда частица увлекается в поток чистого масла). Зона, где осевая скорость равна нулю ($r = 0,012$ м), будет являться зоной разделения очищаемого масла на чистый и грязный поток.

Поэтому, для дальнейших расчетов предположим, что осевая скорость $V_z = 0$. Тогда при некоторых значениях радиуса гидроциклона R , постоянной C и координаты положения частицы z , уравнение осевой скорости (2.39) примет вид:

$$0 = -214,524 - 19,77r - 0,139z + 31,61C + 1,374R_i + 0,228r^2 - 0,0174z^2 - 0,158C^2 - 0,088R_i^2. \quad (2.40)$$

Выполнив преобразование, получим:

$$0,088R^2 - 1,377R_i + (0,0174z^2 - 0,228r^2 + 19,77r + 0,158C^2 - 31,61C) = 0. \quad (2.41)$$

Отсюда, поделив члены уравнения на коэффициент 0,088, получим:

$$R_i^2 - 15,614R + (0,1977z^2 + 1,58z - 2,591r^2 + 224,66r + 1,795C^2 - 359,2C + 2437,773) = 0. \quad (2.42)$$

Заменив параметры, определяющие координаты частицы в потоке, на коэффициент W , получим:

$$W = R_i^2 - 15,614R + (0,1977z^2 + 1,58z - 2,591r^2 + 224,66r + 1,795C^2 - 359,2C + 2437,773). \quad (2.43)$$

Откуда:

$$R_i^2 - 15,614R + W = 0. \quad (2.44)$$

Тогда уравнение осевой скорости (2.39) примет вид:

$$v_z = \dot{O} = (59,082 - 30) - 628,793r - 5,45z - 261,75C - 754,58R_i = 0. \quad (2.45)$$

Отсюда определим радиус нулевой поверхности R_o :

$$754,58R_o = 29,082 - 628,793r - 5,45z - 26,75C. \quad (2.46)$$

Тогда:

$$R_o = 0,0385 - 0,833r - 0,0072C. \quad (2.47)$$

Подставив уравнение радиуса нулевой поверхности осевой скорости в выражение (2.28), заменив значение диаметра гидроциклона D значением радиуса нулевой поверхности $2R_o$, получим:

$$d_{\pm, \min} = \sqrt{\frac{36v_c \mu R_o}{2,5v_i^2 \rho_{\pm}}}. \quad (2.48)$$

Полученная зависимость наглядно показывает связь каждой величины, входящей в подкоренное выражение, с размером частиц, сепарируемых в спиральном потоке гидроциклона. При этом, с увеличением радиуса нулевой поверхности размер отделяемых частиц будет увеличиваться. Поэтому, для улавливания мелкодисперсных частиц следует применять гидроциклоны уменьшенных диаметров. Увеличение начальной скорости потока очищаемого масла v_n (во входном патрубке циклона) также способствует сепарации более мелких частиц.

Использование выражения (2.48) для определения минимального размера отделяемой частицы в практических целях не всегда возможно, так как оно содержит неизвестную величину - скорость сепарации v_c .

Для определения скорости сепарации принимаем допущение, что частица, вошедшая в циклон вблизи входного патрубка (на радиусе R_1), должна осесть на стенке циклона за время прохождения ею цилиндро-конической части циклона.

Если принять, что по характеру движения частиц гидроциклон работает в режиме идеального вытеснения, то время осаждения частицы

$$\tau = \frac{R_2 - R_1}{v_c} = \frac{V_2}{Q_2} = \pi H \frac{R_2 - R_1}{Q_2}, \quad (2.49)$$

где V_2 - объем цилиндро-конической части гидроциклона, м³.

Поскольку отделение частиц происходит на радиусе R_o , заменив $R_2 - R_1$ на R_o , получим:

$$\tau = \pi H \frac{R_o}{Q_2}. \quad (2.50)$$

При этом скорость осаждения частицы

$$v_c = \frac{Q_2}{\pi H R_o}. \quad (2.51)$$

Для отделения частицы в гидроциклоне существенное значение имеют три величины: скорость сепарации v_c , толщина слоя осаждения и время пребывания частицы в гидроциклоне τ .

Из этих трех величин может быть составлен параметр – критерий сепарации, определяющий количество отделяемых частиц из потока очищаемого масла:

$$K_c = \frac{v_c \tau}{\lambda}, \quad (2.52)$$

где λ - толщина слоя осаждения, м.

Поскольку толщину слоя осаждения определяют граничные значения радиусов $R_{ц} - R_o$, то:

$$\lambda = R_{ц} - R_o, \quad (2.53)$$

где $R_{ц}$ – радиус гидроциклона, м.

Так как качество очистки определяет количество осажденных примесей, заменим объем подаваемого масла на количество примесей в очищаемом масле.

Выполнив замену и подставив значение v_c в формулу (2.51), получим:

$$K_c = \frac{G_2 \tau R_u}{\pi H}, \quad (2.54)$$

где G_2 – количество примесей в очищаемом масле, кг.

В этом случае качество очистки гидроциклона можно определить как унос частиц через сливное отверстие, выраженный в процентах от общего количества частиц, поступающих в гидроциклон с очищаемым маслом:

$$\phi = \frac{G_2 - K_c}{G_2} 100. \quad (2.55)$$

Таким образом, качество очистки масла будут определять геометрические параметры гидроциклона и время нахождения частицы в гидроциклоне, зависящее от режима сепарации.

Основной характеристикой циклона является внутренний диаметр его корпуса D , который рассчитывают, с учетом осевой скорости потока v_z , и полного сечения аппарата:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_a}{\pi v_z}}, \quad (2.56)$$

где Q_a – производительность гидроциклона, м³/с;

v_z – осевая скорость частицы, м/с.

Диаметр входного отверстия:

$$d_n = \frac{D}{5}. \quad (2.57)$$

Размеры прямоугольного входного отверстия [63, 67], рассчитывают с учетом наиболее выгодного соотношения сторон входного отверстия $a : b = 0,4$:

$$0,4b^2 = \frac{\pi d_n^2}{4}, \quad (2.58)$$

$$b = \sqrt{\frac{\pi d_n^2}{1,6}}, \quad (2.59)$$

$$a = 0,4b. \quad (2.60)$$

Длина суженной части патрубка входного отверстия:

$$c = 2a. \quad (2.61)$$

Угол наклона входного патрубка в цилиндрическую часть гидроциклона:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{\pi D}. \quad (2.62)$$

Диаметр верхнего отводного патрубка определяют из формулы производительности гидроциклона:

$$Q = 3600\psi D d_s \sqrt{qH}, \quad (2.63)$$

где ψ - коэффициент производительности, характеризующий конструкцию гидроциклона;

d_s – диаметр сливного отверстия, м.

q – ускорение свободного падения, м/с².

Для гидроциклонов с углом конуса, не равным 20°, в формулу вводят коэффициент $\frac{0,81}{\alpha^{0,2}}$,

где α - угол конусности конической части гидроциклона, рад.

Диаметр выходного отверстия

$$d_s = \frac{Q}{7776\sqrt{HD}}. \quad (2.64)$$

Диаметр нижнего сливного отверстия

$$d_c = \frac{d_s}{1,4}. \quad (2.65)$$

Предлагаемые формулы позволяют рассчитать основные геометрические параметры гидроциклона с заданными качеством очистки и крупностью отделяемых частиц загрязнений.

Выводы

1. Для восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел разработаны экологически безопасные и безотходные технологии с использованием гидроциклона новой конструкции:

- вводом пакета присадок, включающая: нагрев отработанного масла с деэмульгированием, очистку его в гидроциклоне, обработку поверхностно-активными веществами с последующим отстаем, и последовательным вводом в

очищенное масло присадок Детерсол-140 и ПМА «В-2» при постоянном перемешивании.

- компаундированием с маслом М-14 Г₂ЦС, включающая: нагрев отработанного масла с деэмульгированием, очистку его в гидроциклоне, обработку поверхностно-активными веществами с последующим отстаем, компаундирование отстаившегося масла с маслом М-14 Г₂ЦС.

2. Для очистки отработанных масел от нерастворимых примесей и воды предложен гидроциклон, который содержит корпус цилиндрической формы, коническую диафрагму, приспособления для подвода очищаемого и очищенного масла. Приспособление для подвода очищаемого масла выполнено в виде патрубка прямоугольного сечения, установленного тангенциально к корпусу в его верхней части с наклоном к горизонтальной плоскости. На корпусе установлена крышка цилиндрической формы. Диафрагма снабжена наружным выступом в виде кольца для ее крепления к корпусу и установлена под крышкой вдоль оси корпуса. Приспособление для отвода очищенного масла установлено тангенциально к крышке. В нижней части корпуса установлен сливной патрубок. Предлагаемый гидроциклон отличается от широко распространенных, центрифуг и сепараторов более высокой надежностью, поскольку не имеет вращающихся частей, низкой стоимостью, неприхотливостью в обслуживании.

3. Установлена теоретическая зависимость качества очистки масла в гидроциклоне от давления входного потока и глубины погружения разделительной диафрагмы в поток масла, которая позволяет определить пространственно-геометрические координаты поверхности зоны разделения потока масла на фракции и отделения частиц. Предложены аналитические выражения для определения конструктивных параметров гидроциклона через радиус поверхности нулевой осевой скорости, являющейся поверхностью граничного зерна, что позволяет определить основные параметры гидроциклона с требуемым качеством очистки.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа исследований включала в себя:

- лабораторные исследования технологических режимов восстановления эксплуатационных свойств моторных масел, определение конструктивных параметров и технологических режимов работы гидроциклона, эксплуатационных свойств восстановленных моторных масел на соответствие их требованиям стандартов и технических условий;
- производственные исследования процесса восстановления эксплуатационных свойств моторных масел в производственных условиях с использованием гидроциклона;
- сравнительные эксплуатационные исследования двигателей автомобилей, работающих на штатном моторном масле М-10Г₂К и маслах, восстановленных по предлагаемым технологиям с использованием гидроциклона;
- проведение экологической экспертизы для определения количества выбросов загрязняющих веществ при восстановлении эксплуатационных свойств отработанных масел по предлагаемым технологиям с использованием гидроциклона.

3.2 Методика лабораторных исследований

3.2.1 Методика исследований технологических процессов восстановления эксплуатационных свойств моторных масел

Исследования технологических процессов восстановления эксплуатационных свойств моторных масел включали в себя: исследования для установления вида поверхностно-активных веществ; определение режима деэмульгирования; определение количества и режимов ввода присадок и базового масла М-14Г₂ЦС.

Методика исследования для установления вида поверхностно-активных веществ.

В качестве коагулянта при очистке отработанных моторных масел использовали кислоты H_2SO_4 и HCl , являющиеся эффективными и недорогими средствами коагуляции смолистых соединений продуктов разложения отработанного масла.

В две ёмкости с отработанными моторными маслами заливали серную (H_2SO_4) и соляную (HCl) кислоты в количестве 0,5 % к объему масла. Масло в ёмкостях перемешивали в момент ввода кислот и затем отстаивали в течение 2 ч. Затем из обеих емкостей отбирали пробы масел для анализа на содержание механических примесей, кинематической вязкости и коррозионности.

Определение режима деэмульгирования.

Деэмульгирование отработанных масел проводили с целью обезвоживания отработанных масел, снижения температуры нагрева и предотвращения дальнейшего его окисления.

Экспериментальная установка (рисунок 3.1) включала в себя емкость для нагрева мала 1, масляный насос НШ-32У 2, деэмульгатор 3 (рисунок 3.2).

В основу технологии положен следующий принцип: нагретое в печи до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ масло подается насосом в деэмульгатор. В деэмульгаторе масло проходит через сопло, где на выходе, благодаря использованию схемы сопла Лавалья, резко увеличивается скорость выхода масла и происходит падение давления. В этот момент находящиеся в масле пары воды легко преодолевают силы поверхностного натяжения масла и разделяются. При этом пары воды устремляются вверх, а аэрационные струи масла, потеряв энергию, стекают обратно в емкость для нагрева.

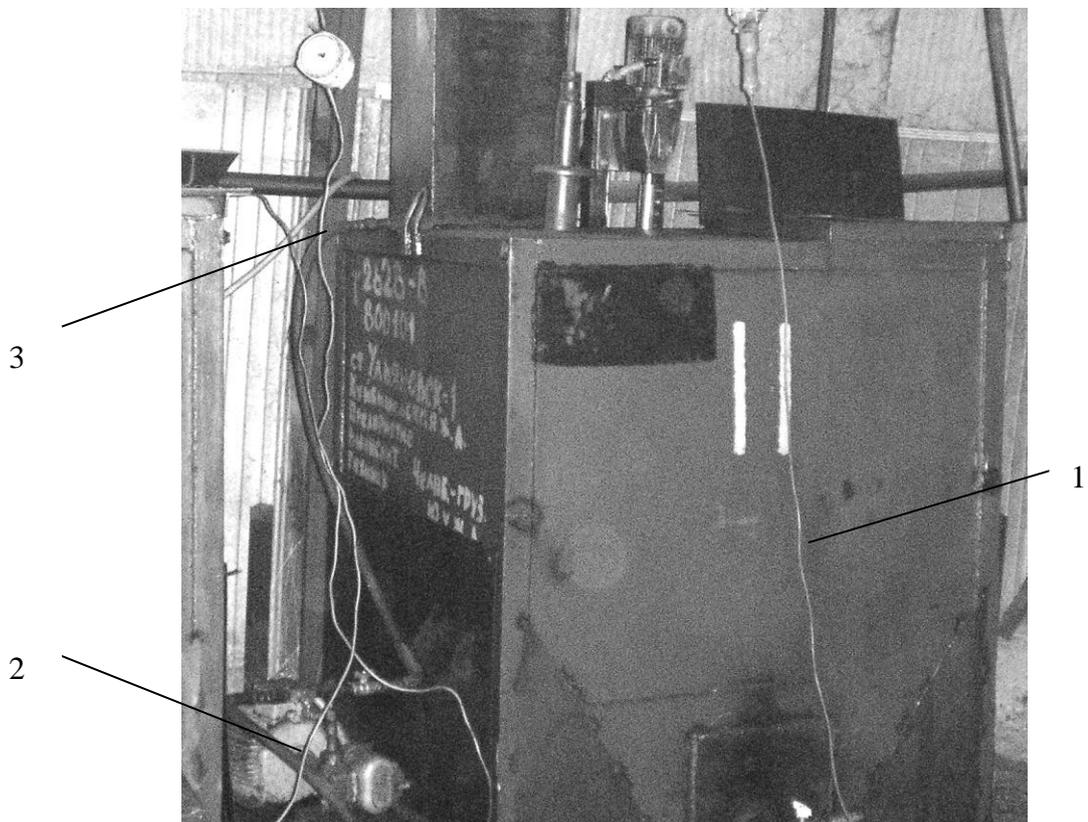


Рисунок 3.1 – Установка деэмульгирования масел (обозначения в тексте)



Рисунок 3.2 – Профилированное сопло деэмульгатора

Масло нагревали в емкости с помощью электротэнов. Перед началом исследований определяли содержание воды в масле. В процессе обезвоживания отбирали пробы для определения процентного содержания воды. Пробы отбирали с интервалом нагрева 20 °С. Нагрев и обезвоживание производили до отсутствия воды в пробах.

Определение количества и режимов ввода присадок.

Исследования предусматривали определение количества, последовательности, температуры ввода присадок и времени перемешивания.

Экспериментальные исследования проводили путем ввода вязкостной присадки в базовое масло Д-11 в количестве 1 % на объем масла с последующим определением кинематической вязкости и составлением номограммы изменения вязкости (рисунок 3.3).

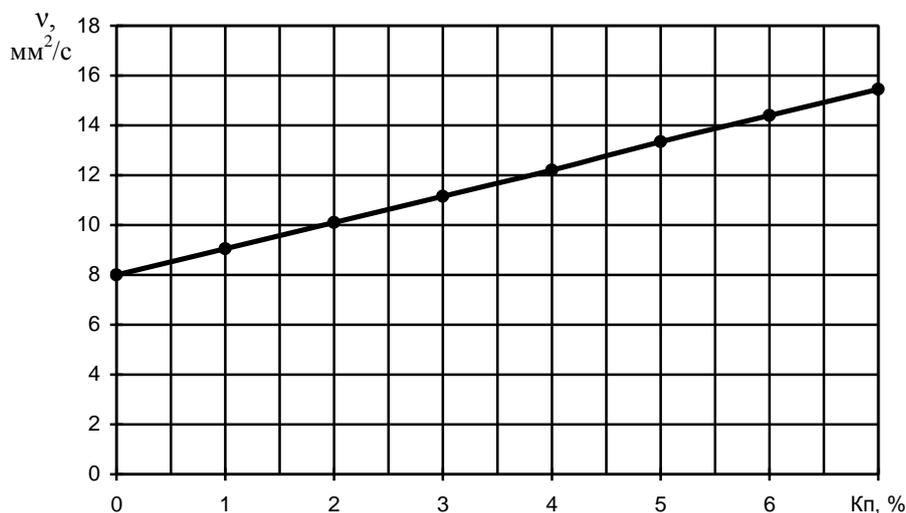


Рисунок 3.3 - Изменение кинематической вязкости v масла от количества K_p введенной вязкостной присадки ПМА«В-2»

По полученным данным рассчитывали количество присадки, которое необходимо ввести в очищенное отработанное масло для получения желаемой вязкости.

Количество присадки Детерсол-140 (ТУ 38 1011090-88) со средней щелочностью 130 мг КОН/г, в процентном отношении масс, которое необходимо добавить к очищенному отработанному маслу, рассчитывали по формуле (2.1).

Определение режимов ввода присадок и базового масла М-14Г₂ЦС.

Исследования заключались в определении температуры ввода присадок и базового масла в очищенное, а также времени перемешивания.

Экспериментальные исследования проводили путем ввода присадок и базового масла в очищенное масло при различных температурах с определением основных показателей качества. По отклонениям экспериментальных значений кинематической вязкости и щелочного числа от расчетных определяли оптимальную температуру ввода.

3.2.2 Методика исследования гидроциклона

Для исследования гидроциклона была разработана лабораторная установка, представляющая собой передвижную платформу, на которой смонтированы три емкости объемом по 100 л каждая, две насосные установки с насосами НШ-10 и

НШ-32, система трубопроводов и запорной арматуры для слива и налива масла, гидроциклон и дроссель-расходомер ДР-70 для регулирования давления подачи масла (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 - Лабораторная гидроциклонная установка регенерации моторных масел:

1 – емкость для нагрева масла; 2 – насос НШ – 10 для подачи масла в гидроциклон; 3 - дроссель-расходомера ДР-70; 4 – гидроциклон; 5 – емкость для слива грязного масла; 6 – емкость для слива чистого масла; 7 – насос НШ – 32

Исследования проводили на гидроциклоне, изготовленном по размерам, рассчитанным по разработанной методике, и контрольном гидроциклоне, изготовленном по размерам, рассчитанным по типовой методике (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Гидроциклоны:
а) предлагаемый, б) контрольный

Цель исследований - определение влияния давления входного потока и глубины погружения диафрагмы в поток масла на степень очистки отработанного масла от нерастворимых примесей.

Исследования гидроциклона заключались в определении его основных геометрических размеров и их влияния на степень очистки отработанного масла. С этой целью гидроциклон был изготовлен с изменяющимся сечением входного патрубка, сменными насадками диафрагмы (рисунок 3.6), для изменения глубины погружения выходного отверстия диафрагмы в поток масла.

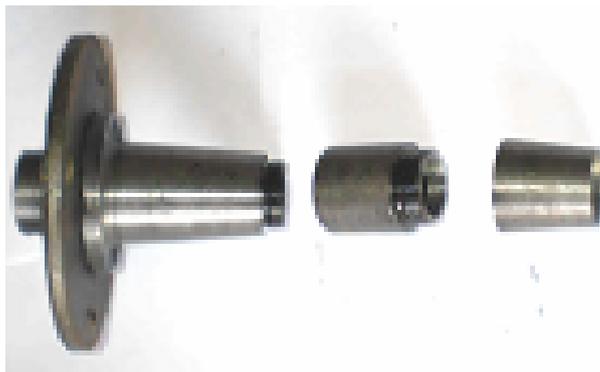


Рисунок 3.6 - Сменные насадки диафрагмы гидроциклона

Давление входного потока масла в гидроциклон изменяли от 0,01 до 0,1 МПа с шагом 0,01 МПа. При этом для каждого значения давления изменяли сечение входного патрубка и глубину погружения выходного патрубка диафрагмы в поток масла. При каждом изменяющемся значении параметра гидроциклона отбирали пробы очищенного масла для определения содержания нерастворимых примесей и воды. Результаты исследований записывали в журнал.

3.2.3 Лабораторный анализ проб

Кинематическая вязкость.

Кинематическую вязкость определяли при температуре 100 °С по ГОСТ 33-2000 на термостате (рисунок 3.7). При этом принимали только те отсчеты, которые отличались от среднего арифметического не более чем на 0,5 %. Время истечения масла через вискозиметр измеряли по секундомеру. Общая предельная

ошибка в измерении продолжительности опыта равна 0,4с. Относительная ошибка равна 0,4 %.



Рисунок 3.7 - Термостат для определения кинематической вязкости масла

Щелочное и кислотное число.

Анализ проводили согласно ГОСТ 11362-96 с помощью универсального иономера ЭВ-74 (рисунок 3.8). Метод заключается в потенциометрическом титровании раствора испытываемого продукта едким кали или соляной кислотой. Титрование ведётся или до значения потенциала, установленного по буферным растворам или до скачка потенциала.



Рисунок 3.8 – Иономер универсальный ЭВ-74

За общее кислотное число принимали количество едкого кали, израсходованного на титрование раствора 1 г испытываемого продукта до получения значения потенциала, установленного для щелочного буферного раствора или до скачка потенциала.

За общее щелочное число принимали количество едкого кали, эквивалентное количеству соляной кислоты, израсходованному на титрование раствора 1 г

испытуемого продукта до получения значения потенциала, установленного для кислотного буферного раствора или до скачка потенциала.

Противоизносные и противозадирные свойства.

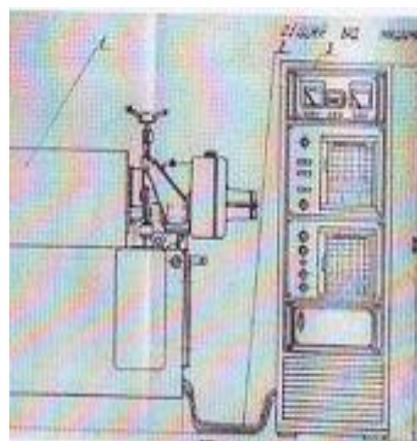
Трибологические испытания проводили в лаборатории смазочных материалов ИП МАШ РАН на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 (рисунок 3.9 а), а для определения критических нагрузок задира – на роликовой машине трения СМТ-1 (рисунок 3.9 б).

Принцип действия машины ЧМТ-1 основан на воспроизведении нормированных воздействий на испытательные образцы, находящиеся в исследуемом смазочном материале, с последующим определением износа исследуемых образцов.

В качестве исследуемых образцов использовали шарики диаметром $12,70 \pm 0,01$ мм по ГОСТ 3722-81 из стали ШХ-15 по ГОСТ 801-78, которые образуют пирамидку из четырех шариков, контактирующих между собой. Три нижних шарика закрепляли неподвижно в узле трения машины, в котором размещали исследуемое масло.



а)



б)

Рисунок 3.9 - Машины трения:

а) ЧМТ-1, б) СМТ-1

Длительность исследований - 60 мин. Требуемое значение осевых нагрузок задавали путем установки гиредержателя с необходимым набором гирь в положение, определяемое индексом на рычаге.

Величину износа исследуемых образцов определяли путем измерения диаметров пятна износа каждого из трех нижних шариков с помощью микроскопа

с увеличением не менее 24, снабженного отсчетной шкалой с ценой деления 0,01 мм.

Исследования на машине трения СМТ-1 проводили на образцах, имеющих форму дисков, при частоте вращения нижнего ролика $8,4 \text{ с}^{-1}$. Масло в зону трения подавалось из ванночки вращающимся нижним образцом. Трибоузел нагружали ступенчато возрастающей нагрузкой с 1 МПа до 8 МПа с шагом нагружения 1 МПа. На каждой ступени нагрузки определяли величину износа лунки, коэффициент трения и предельную удельную нагрузку, характеризующие, соответственно, противоизносные, антифрикционные и антизадирные свойства.

Содержание нерастворимых примесей.

Для определения содержания нерастворимых осадков применяли выпускаемую промышленностью шестипробирочную центрифугу ЦЛН-2 (рисунок 3.10) с фактором разделения, равным 7000, т.е. частотой вращения ротора 800 с^{-1} .

В гнездо ротора, монтируемого на самоустанавливающемся подшипнике, вставляли шесть пронумерованных алюминиевых пробирок емкостью 20 см^3 . Перед проведением анализа все пробирки тщательно промывали на ультразвуковой установке УЗУ-01, после чего высушивали. Пробы масла предварительно нагревали до $60...70^\circ\text{C}$ и встряхивали до полного перемешивания в течение $5...7$ минут. Затем в пробирки наливали исследуемое масло в соотношении 1:4 с бензином Б-70, пробирки закладывали в гнезда, ротор тщательно закрывали кожухом, после чего центрифугу включали в сеть. Масло центрифугировали в течение 20 мин.



Рисунок 3.10 - Центрифуга ЦЛН – 2



Рисунок 3.11 - Аналитические весы
ВЛА-2000

Сразу после центрифугирования из пробирок сливали верхний слой раствора. Пробирки с нерастворимым осадком, осевшим на дно, ставили на выпарива-

ние остатков бензина в муфельную печь на 14...15 минут при 105...110 °С. После этого взвешивали пробирки с примесями на аналитических весах ВЛА-2000 (рисунок 3.11).

Содержание осадков определяли по уравнению:

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

где G_M – масса масла, г;

G_n – масса осадков, г.

Масса масла

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

где G_1 – масса пробирки с маслом, г;

G_2 – масса пустой пробирки, г.

Масса нерастворимых осадков

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

где G_3 – масса пробирки с осадком, г;

G_2 – масса пустой пробирки, г.

В процессе использования центрифуги было уделено внимание выбору пробирок для центрифугирования. Использование пластмассовых пробирок, поставляемых заводом вместе с центрифугой, не дало желаемых результатов, так как они постоянно меняли свою массу. Стеклоянные пробирки при 600 с^{-1} начинали выходить из строя из-за недостаточной прочности. Только после перехода на алюминиевые пробирки опыты пошли успешно, и была получена хорошая сходимость результатов в параллельных определениях. Расход бензина на одну пробу составил 60 мл; время одного анализ – 1 ч.

Содержание продуктов износа и металлов присадок.

Содержание продуктов износа и металлов активных присадок в исследуемых маслах определяли с помощью бездифракционного анализатора рентгеновского спектрального БАРС-3 (рисунок 3.12).

Для подготовки проб исследуемых масел к анализу на определение примесей по каналу Fe прибора БАРС-3, производили высадку проверяемой пробы на фильтрующий элемент, с которого предварительно снимали количество выдавае-

мых импульсов (количество импульсов фона). Высадку производили на фильтр «Красная лента» диаметром 30 мм. Затем фильтр с высаженной пробой помещали в сушильный шкаф с температурой 115 °С на 30 минут для высушивания примесей. После этого фильтр с высаженной пробой помещали в прибор и производили снятие импульсов пробы масла по каналу Fe.



Рисунок 3.12 – Прибор БАРС-3

Количество импульсов нерастворимых примесей по каналу Fe рассчитывали по формуле:

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

где C_{nm} – количество импульсов пробы масла;

$C_{ф}$ - количество импульсов фильтра.

Для определения содержания активных металлов присадки выполнили тарировку прибора по приготовленным образцам масел с известным содержанием металлов Ca и Zn. Прибор БАРС-3 тарировали путем введения в базовое масло ДС-11 компонентов соли циклогексанмасляной кислоты кальциевой $C_{20}H_{34}CaO_4$ и цинковой $C_{20}H_{34}ZnO_4$ в строго дозированных количествах в процентном соотно-

шении. После этого по разработанной методике снимали импульсы по каналам Ca и Zn, причем выполняли не менее двенадцати замеров по каждой пробе.

Снятие импульсов по каналу Ca и Zn для определения содержания активных присадок в масле производили аналогично снятию импульсов нерастворимых примесей:

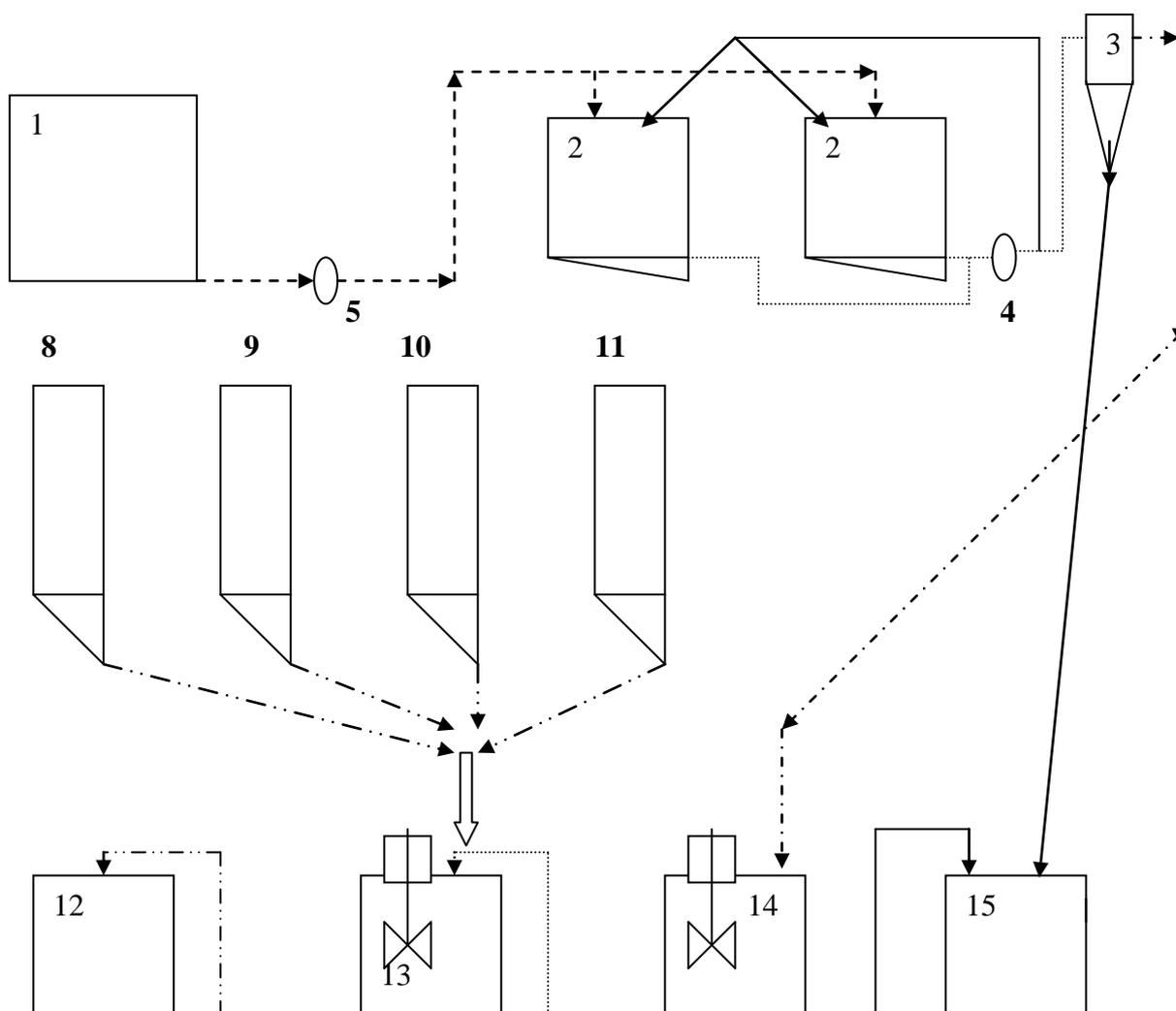
$$C_{нрм} = C_m - C_f, \quad (3.5)$$

где $C_{нрм}$ – количество импульсов определяемого металла (Ca, Zn) ;

C_m – количество импульсов пробы масла;

3.3 Методика производственных исследований

Для проведения исследований предлагаемых экологически безопасных технологий восстановления эксплуатационных свойств отработанных масел в производственных условиях на базе предприятия ОАО «Симбирск-Автотранс» была смонтирована установка по регенерации масел производительностью 3500 л в смену (рисунки 3.13, 3.14).



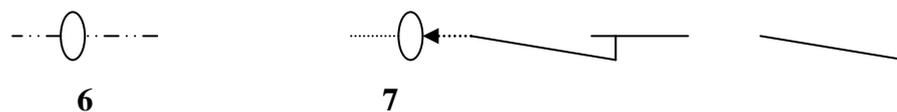


Рисунок 3.13 - Технологическая схема производственной установки для регенерации отработанных моторных масел (обозначения в тексте)

Установка включает в себя оборудование, разработанное согласно предлагаемым технологиям восстановления: резервуар для слива отработанных масел 1; две электроды мощностью по 30 кВт и объёмом по 1800 л каждая 2, 2; гидроциклон, изготовленный по уточненным расчетам 3; ёмкость для слива грязного масла с нижнего патрубка гидроциклона 15; ёмкость для слива чистого масла с верхнего патрубка гидроциклона и ввода ПАВ с активатором мотор-редуктором 14; ёмкость для компаудирования и ввода присадок с активатором мотор-редуктором 13; ёмкость для слива восстановленного моторного масла 12; насос НШ-32У 4; насосы К-4,5-3 5,6,7; емкости 8 - 11 для масла М-14Г₂ЦС (при исследовании технологии восстановления отработанных масел компаундированием с базовым маслом), емкости 8, 9 - для присадки «Детерсол –140» и 10, 11 – для присадки ПМА – «В-2» (при исследовании технологии ввода присадок).



Рисунок 3.14 - Производственная установка регенерации масел

С пункта технического обслуживания автохозяйства приняли и слили в резервуар 4500 л отработанного моторного масла. Насосом 5 закачивали масло в электропечи 2 и нагревали до 100...103 °С с последующим деэмульгированием насосом 4. После выпаривания воды и легких фракций при температуре 100 °С масло подавали насосом 4 в гидроциклон под давлением 0,04 МПа. Из гидроциклона очищенное масло поступало в ёмкость 14 для ввода ПАВ. Суммарный выход чистого масла составил 3400 л по 1700 л с каждой печи. Затем в него добавляли 8,5 л HCl (0,5 % объёма) и перемешивали в течение 1 ч мешалкой с мотор-редуктором. После отстаивания в течение 32 ч отбирали пробы и проводили анализы по определению кинематической вязкости, содержанию нерастворимых примесей, щелочному и кислотному числам и температуре вспышки. После отстоя масло насосом перекачивали в ёмкость для ввода пакета присадок и ёмкость для компаундирования товарным маслом.

По номограмме вязкости смесей (рисунок 3.3) определяли, что для получения вязкости смеси 11,5 мм²/с к очищенному маслу необходимо добавить 60 % масла М-14Г₂ЦС, то есть 2550 л.

Для данного количества по формуле рассчитывали ожидаемое щелочное число:

$$X = \frac{3400 \times 9,3 + 1700 \times 2,35}{3400 + 1700} = 6,98$$

Согласно расчетам, полученное масло должно иметь кинематическую вязкость 11,5 мм²/с и щелочное число 6,98 мг КОН/г.

После ввода рассчитанного объёма М-14Г₂ЦС в очищенное масло и перемешивания в течение 3 ч при температуре 70 °С отбирали пробы и проводили анализ для определения кинематической вязкости и щелочного числа, а также противоизносных и противозадирных свойств.

Вторую ёмкость с очищенным маслом готовили по методу ввода присадок ПМА «В-2» и Детерсол-140, произведенных Новокуйбышевским НПЗ.

На основании показателей очищенного масла рассчитываем количество добавляемых присадок. Зная, что введение 1 % присадки ПМА «В-2» поднимает вязкость продукта на 1,05 мм²/с, рассчитывали количество присадки:

$$11,5 - 8,3 = 3,2 / 1,05 = 3,05 \%$$

Для объёма 1700 л очищенного масла необходимо 3,05 % вязкостной присадки ПМА - «В-2», то есть 52 л.

Количество присадки Детерсол - 140, необходимое для ввода, рассчитывали следующим образом:

$$A = \frac{6 - 2,35}{130 - 2,35} \times 100 = 2,85\%$$

То есть, к объёму 1700 л очищенного масла добавляли 48,5 л щелочной присадки Детерсол-140.

После ввода пакета присадок в ёмкость с очищенным маслом при температуре 75...80 °С и перемешивании в течение 3 ч, отбирали пробы и проводили их анализ.

3.4 Методика сравнительных эксплуатационных исследований

Выбор условий эксперимента

При выборе условий проведения эксперимента исходили из следующих положений:

- идентичность использования и обслуживания автомобилей;
- типичность выполняемого объёма работ.

Эксплуатационные исследования проводили на автомобилях КамАЗ, принадлежащих ОАО «Симбирск-Автотранс».

Девять автомобилей были взяты из рядовой эксплуатации без специального подбора деталей и узлов. Такое количество обеспечивает желаемую степень достоверности эксплуатационных результатов. Режимы исследований были поставлены в реальных условиях. Подготовка исследуемого масла и отбор проб осуществляли непосредственно на рабочих местах.

Из системы смазки опытных двигателей автомобилей КамАЗ отбирали пробу работавшего масла для анализа и столько же доливали идентичного свежего масла.

Производственные исследования проводили на трех группах автомобилей:

- первая группа включала в себя три автомобиля КамАЗ, в двигателях которых использовалось товарное масло марки М-10Г₂К (ГОСТ 17479.1 с присадкой Детерсол-140) и при отборе проб доливалось такое же;
- вторая группа включала в себя три автомобиля КамАЗ, в двигателях которых использовалось отработанное моторное масло с восстановленными показателями пакетом присадок и при отборе проб доливалось такое же масло;
- третья группа включала в себя три автомобиля КамАЗ, в двигателях которых использовалось отработанное моторное масло с восстановленными показателями с помощью компаундирования с товарным маслом М-14Г₂ЦС и при отборе проб доливалось такое же масло.

Двигатели работали на дизельном топливе с содержанием серы в пределах 0,2...0,5 % (по ГОСТ 305-82). Общий пробег девяти автомобилей за время исследований составил 118620 км или в среднем по 13180 км на один автомобиль до срока смены масла в картере двигателя.

Подготовка системы смазки двигателей

Перед началом исследований, после проведения очередного технического обслуживания, на каждом двигателе автомобилей проводили следующие операции:

- слив имеющегося масла из картера двигателя;
- снятие центрифуги и масляного фильтра для очистки;
- проверку исправности контрольно-измерительных приборов;
- установку очищенных центрифуги и фильтра в систему смазки двигателя;
- промывку двигателя на холостом ходу промывочным маслом в течение 15 мин.;
- слив из картера двигателя промывочного масла (данные операции повторяли до тех пор, пока из картера двигателя не стало вытекать прозрачное промывочное масло);
- промывку системы смазки в течение 15 мин. маслами, которые будут подлежать исследованию;
- слив из картера масла до полного его истечения;

-
- залив исследуемого масла в двигатель.

После замера уровня масла по маслоуказательному щупу автомобиля пускали в эксплуатацию.

Во время исследований контролировали пробег автомобиля, периодичность отбора проб и количество доливаемого масла. Все результаты наблюдений регистрировали в журнале.

Взятие проб и подготовка их для анализа

Пробы отбирали в бутылки ёмкостью 700...800 мл из темного стекла с притертыми пробками согласно требованиям ГОСТ 2517-85. Предварительно бутылки промывали бензином Б-70 с ёршиком, затем споласкивали дистиллированной водой. После промывки и слива из них воды, ставили в сушильный шкаф и в течение одного часа выдерживали при температуре 110 °С до полной просушки. После этого бутылки плотно закрывали и не вскрывали до момента взятия соответствующей пробы.

Пробы отбирали с помощью шприца Жанэ с одетой гибкой пластиковой трубкой через отверстие масляного щупа из поддона двигателя. Пробы отбирали в конце рабочей смены при температуре двигателя 60 ... 80 °С.

Определение количества проб

Перед началом работ определяли количество проб, которое необходимо отобрать через каждую 1000 км пробега при исследованиях, проводимых в условиях эксплуатации. Общая формула для нахождения количества проб выглядит следующим образом:

$$M = \sum_{n=1}^m P_i Z_i, \quad (3.6)$$

где P_i – повторность циклов, $P_i=1$;

Z_i – количество необходимых проб, $Z_i=12$;

m – количество серий опытов, $m=9$.

Тогда для одного автомобиля при испытаниях количество проб:

$$N_1 = P_1 Z_1 = 1 \cdot 12 = 12 \text{ проб.}$$

Для девяти автомобилей количество проб:

$$M_1 = N_1 m_1 = 12 \cdot 9 = 108 \text{ пробы.}$$

К этому количеству добавляли одну пробу свежего масла. Таким образом получили 109 проб.

Масло после отбора проб анализировали по группам свойств и показателям качества (табл. 3.1). Кроме оценочных показателей определяли величину суммарной массы железа, наличие продуктов износа в масле на приборе БАРС.

Таблица 3.1 Характеристика объекта исследования

Наименование показателя	Масло М-10Г ₂ к
Вязкость, класс SAE	30
Эксплуатационный класс API	CC
Эксплуатационный класс ГОСТ 17479.1	Г ₂
Вязкость при 100°C, мм ² /с	11,0 ± 0,5
Индекс вязкости, min	95
Температура вспышки в открытом тигле, °C, min	220
Температура застывания, °C, max	-18
Щелочное число, мг КОН/1г масла, min	6,2
Зольность сульфатная, %, max	1,15
Содержание активных элементов, %, min:	
	Ca 0,19
	Zn 0,05
	P 0,05

Периодичность смены моторного масла в двигателях КамАЗ 740.10, установленная заводом изготовителем, составляет 10000 км пробега. При этом предусматривается система браковочных показателей для масла М-10Г₂к, при наступлении которых производится смена масла на новое независимо от пробега (таблица 3.2).

Таблица 3.2 Браковочные показатели работающего масла М-10Г₂к

Наименование показателя	Значение
Вязкость при 100°C, мм ² /с	14,5
Щелочное число, мг КОН/1г масла, не менее	2,0
Температура вспышки в открытом тигле, °C, не менее	200
Содержание нерастворимых примесей, %, не более	3,0
Содержание воды, %, не более	0,3
Содержание топлива, %, не более	0,8
Содержание активных элементов, %, не менее:	

Ca Zn P	не регламентируется не регламентируется не регламентируется
---------------	-------------------------------------------------------------------

Результаты анализов проб масел исследуемых автомобилей сравнивали с браковочными показателями и принимали решение о дальнейшем ходе исследований.

3.5 Методика расчета обобщающего коэффициента

Для оценки качества моторного масла, определения продолжительности его работы в двигателе предлагается использовать показатели, сгруппированные по основным свойствам: вязкостно-температурным, противоизносным, щелочному и кислотному числу, содержанию нерастворимых примесей по железу (рисунок 3.15). Такая схема позволит более объективно комплексно оценивать фактическое состояние масла и с большей достоверностью определять срок его замены и восстановления.

Конечную оценку и обоснование срока замены масла предлагается производить по обобщающему коэффициенту качества масла, определяемому в соответствии с величиной суммарной массы железа, находящейся в моторном масле и срабатываемости активных металлов присадки.

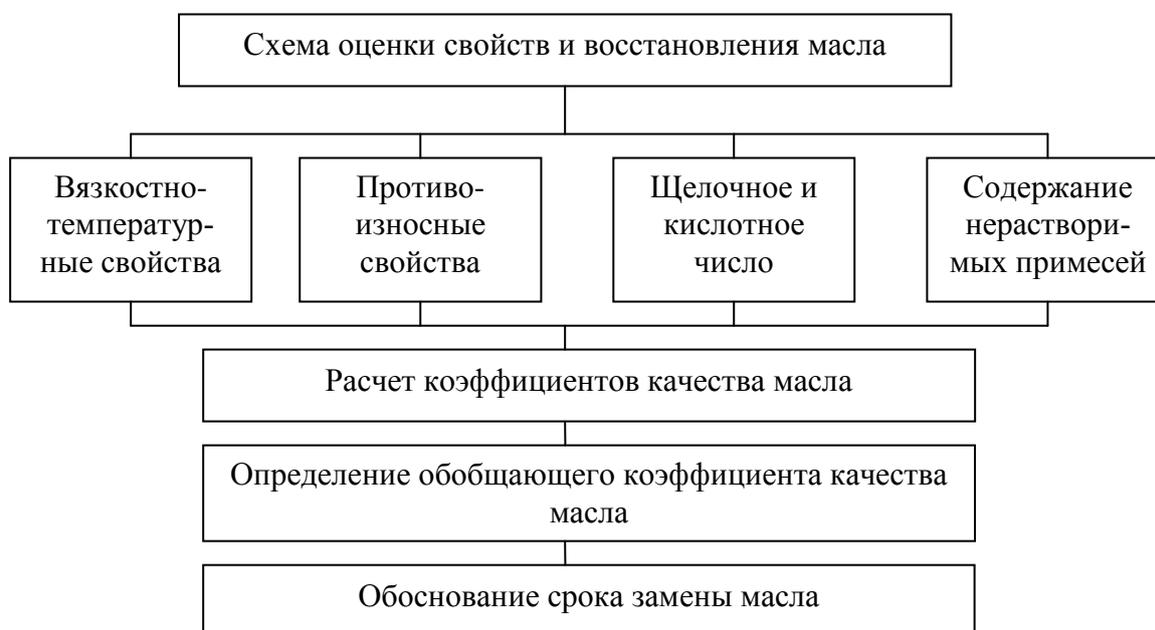


Рисунок 3.15 - Структурная схема оценки свойств и качества масла

Для расчета обобщающего коэффициента необходимо знать значения коэффициентов изменения предлагаемых показателей состояния масла. Коэффици-

енты определяют на основании полученных экспериментальных данных изменения каждого показателя в зависимости от пробега автомобиля.

Коэффициенты рассчитывают по формуле:

$$\eta_i = \frac{A_{эi}}{A_{фi}}, \quad (3.7)$$

где $A_{эi}$ и $A_{фi}$ – соответственно эталонное и фактическое значения i -го показателя качества масла.

В данном случае эталонным значением является первоначальное значение показателя товарного масла до начала эксплуатации его в двигателе. Фактическое значение принимали по результатам анализа и определения значения показателя в данный момент работы его в двигателе. На основании расчетов строят график изменения коэффициента качества масла.

По полученным коэффициентам рассчитывают обобщающий коэффициент качества масла:

$$\theta = \frac{\sum P_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (3.8)$$

где P_i – величина i -го коэффициента;

n_i – количество i -ых коэффициентов.

$$\theta = \frac{P_B \cdot n_B + P_{Щ} \cdot n_{Щ} + P_K \cdot n_K + P_{П} \cdot n_{П} + P_{Fe} \cdot n_{Fe} + P_{Ca} \cdot n_{Ca} + P_{Zn} \cdot n_{Zn}}{n_B + n_{Щ} + n_K + n_{П} + n_{Fe} + n_{Ca} + n_{Zn}}, \quad (3.9)$$

где P_B – коэффициент кинематической вязкости;

$P_{Щ}$ – коэффициент щелочного числа;

P_K – коэффициент кислотного числа;

$P_{П}$ – коэффициент нерастворимых примесей;

P_{Fe} – коэффициент содержания железа;

P_{Ca} – коэффициент содержания Ca;

P_{Zn} – коэффициент содержания Zn;

n_B – количество коэффициентов кинематической вязкости;

$n_{Щ}$ – количество коэффициентов щелочного числа;

n_K – количество коэффициентов кислотного числа;

n_{II} – количество коэффициентов нерастворимых примесей;

n_{Fe} – количество коэффициентов содержания железа;

n_{Ca} – количество коэффициентов содержания Ca;

n_{Zn} – количество коэффициентов содержания Zn.

По результатам расчетов строят график обобщающего коэффициента. По графику определяют предельное состояние моторного масла и производили его выбраковку.

3.6 Методика проведения экологической экспертизы

Проведение экологической экспертизы включает в себя выявление источников образования загрязнений. После выявления источников загрязнений проводится замер концентрации и расчет выбросов загрязняющих веществ в парах нефтепродуктов.

Экспертизу проводили в управлении Ростехнадзора по Ульяновской области федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и комитете по государственному контролю в сфере природопользования и охраны окружающей среды Ульяновской области.

3.7 Методика обработки результатов

Для подтверждения правильности выбранных показателей оценки качества масла использовали априорное ранжирование факторов. Исследователям, принадлежащим к различным научным школам, предлагали расположить факторы, действующие на объект, в порядке убывания величины вносимого ими вклада или влияния на критерий оптимизации. Таким образом ранжировали n потенциально возможных факторов, приписав им порядковые номера (ранги) 1, 2, 3, ... n .

Число опрашиваемых специалистов принимали возможно максимальным – это позволило объективно оценить долю факторов.

По результатам опроса вычисляли коэффициент конкордации W (согласия), определяющий степень согласованности мнений специалистов, по формуле [91]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3.10)$$

где S – сумма квадратов отклонений;

m – число опрашиваемых специалистов;

n – число факторов.

Сумма квадратов отклонений

$$S = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m a_{ij} - L)^2, \quad (3.11)$$

где a – ранг (порядковый номер при опросе i -го фактора у j -го специалиста;

L – среднее значение сумм рангов по каждому фактору,

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}{n}, \quad (3.12)$$

Значение коэффициента конкордации изменяется в интервале от 0 до 1, и чем больше его значение, тем больше согласованность мнений у специалистов.

Вычисление коэффициента конкордации удобнее проводить, составив матрицу результатов опроса в виде алгоритма (табл. 3.4).

Таблица 3.4 Матрица результатов опроса

Специалисты	Факторы				
	A_1	A_2	A_3	...	A_n
Первый	A_{11}	A_{21}	A_{31}		
Второй	A_{12}	A_{22}	A_{32}		
Третий	A_{13}	A_{23}	A_{33}		
....		..	.		
....		.	.		
m -й		.	.		

Любой результат измерения при наблюдении содержит ряд ошибок различного происхождения. Ошибки принято делить на систематические, случайные и грубые. Каждый параметр анализируемой пробы масла можно вычислить как среднее арифметическое из результатов двух – четырех параллельных определений.

Вязкость масла определяли не менее четырех раз. При этом принимали только те отсчеты, которые отличались от среднего арифметического не более, чем на $\pm 0,5$ %. Время истечения масла через вискозиметр замеряли по секундомеру. Предельная ошибка при этом складывается из несистематической инструментальной ошибки и ошибки вследствие несвоевременного включения и выключения секундомера. Предельная ошибка секундомера составляла по данным проверки $\pm 0,2$ %, или в абсолютном значении $\pm 0,2$ с. Общая предельная ошибка в измерении продолжительности опыта равна $\pm 0,4$ с. Относительная ошибка равна $\pm 0,4$ %.

При анализе проб на нерастворимые примеси все взвешивания выполняли на аналитических весах ВЛА – 2000 с точностью 0,0002 г. Содержание нерастворимого осадка определяли с погрешностью до 0,001 %. Расхождение между параллельными определениями не превышало 0,002 %.

Расход присадки по содержанию активных металлов присадки определяли с погрешностью до 0,01 %. Расхождение между параллельными определениями не превышало 0,02 %.

Щелочное и кислотное число масла определяли с погрешностью 0,01 мг. Расхождение между параллельными измерениями не превышало 0,05 мг. Величину рН измеряли на лабораторном ионметре. В каждом из диапазонов прибор дает допустимую основную погрешность (1 % от диапазона измерения), равную ± 1 %. В полном диапазоне измерений погрешность измерений равняется $\pm 2,5$ %, т.е. ошибки измерений при проверке по 5-ти стандартным буферным растворам не превышали 0,04 рН на всех диапазонах измерений в 4,0 единицы рН и 0,40 на диапазоне – 3...15 рН. Измерение ЭДС электрической схемы соответствовало допустимой основной погрешности соответственно для 0,04 рН $\pm 2,5$ мВ и для 0,40 рН ± 23 мВ.

Определение погрешностей остальных величин выполняли в соответствии с нормами, установленными Государственным стандартом. Действия с приближенными числами производили по правилам, изложенным в соответствующих разделах математики с применением метода наименьших квадратов [81, 82, 91].

Методом корреляционного анализа в данных исследованиях были найдены основные зависимости между показателями качества моторного масла и пробегом автомобилей.

Все расчеты корреляционного анализа произведены на ЭВМ по программе парной и множественной корреляции. Исходные данные - числа членов в выборке (число пар сопоставимых значений признаков) N , значения признаков – факторов, т.е. значения независимых переменных $x[N]$, а также значения корреляции с фактором признака или зависимые переменные $y[N]$.

После обработки выводили на печать результаты анализа, такие как F и G – среднеарифметическое по X и Y ; SX и SY – среднеквадратическое отклонение по X и Y ; R – коэффициент корреляции; $P1$ и $P2$ – коэффициенты изменчивости по X и Y ; $M1$ и $M2$ – ошибка средней по X и Y ; $M3$ – ошибка коэффициента парной корреляции; $R1$ – коэффициент регрессии; $M4$ – ошибка коэффициента регрессии; TM – достоверность средних и TR – достоверность коэффициента корреляции; степень влияния показателей качества масла на продолжительность работы масла.

При математической обработке результатов измерений определяли следующие статистические показатели.

Среднее арифметическое значение измеряемой величины

$$\eta_I = \frac{t_{\text{нд}} n_i}{N}, \quad (3.13)$$

где t_{cp} – среднее значение класса;

n_i – количество измерений в классе;

N – общее число измерений.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum n_i \cdot (t - t_{cp})^2}{N - 1}}. \quad (3.14)$$

Величина среднего квадратического отклонения определяет абсолютную амплитуду наиболее характерных колебаний измеряемой величины.

Доверительный интервал

$$n = t \pm 3\sigma. \quad (3.15)$$

Ошибка измерений

$$\Delta = \frac{3\sigma}{\bar{t}} \cdot 100\% , \quad (3.16)$$

где \bar{t} - среднее арифметическое значение измеряемой величины.

Математическое подтверждение сходимости результатов опытных исследований с результатами теоретических расчетов изменения выбранных показателей масла определяется по индексу корреляции $R_{y/x}$.

Обработку статистических данных исследований гидроциклона проводили с использованием программы Statistica 6.0.

Выводы

1. Разработана общая программа исследований, которая, наряду с лабораторными исследованиями эксплуатационных свойств восстановленных моторных масел на соответствие их требованиям госстандартов и технических условиям, включает исследования технологических режимов восстановления эксплуатационных свойств моторных масел, определение конструктивных параметров и технологических режимов работы гидроциклона.

2. Производственные исследования технологических режимов восстановления эксплуатационных свойств моторных масел проводили на производственной установке, разработанной в соответствии с предлагаемыми технологиям восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел.

3. Исследования содержания продуктов износа и активных металлов присадок в маслах определяли с использованием бездифракционного спектрального анализатора БАРС-3, позволяющего с достаточной точностью определить количественный и химический состав примесей в масле.

4. Сравнительные эксплуатационные исследования штатного масла М-10Г₂К и восстановленных отработанных моторных масел по предлагаемым технологиям проводили на двигателях автомобилей КамАЗ в условиях рядовой эксплуатации.

5. Для оценки качества моторного масла и определения продолжительности срока службы в двигателях предлагается использовать показатели, сгруппированные по основным свойствам: вязкостно-температурным, противоизносным, щелочному и кислотному числу, содержанию нерастворимых примесей по железу. Оценивать масло предлагается комплексно - по обобщающему коэффициенту качества.

6. Для экологической экспертизы по определению источников загрязнений и количества выброса загрязняющих веществ использовали существующую методику, позволяющую с достаточной точностью оценить экологическую безопасность разработанных технологий восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел с применением предлагаемого технического средства.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований технологических процессов восстановления эксплуатационных свойств моторного масла

4.1.1 Результаты исследований по установлению вида поверхностно-активных веществ

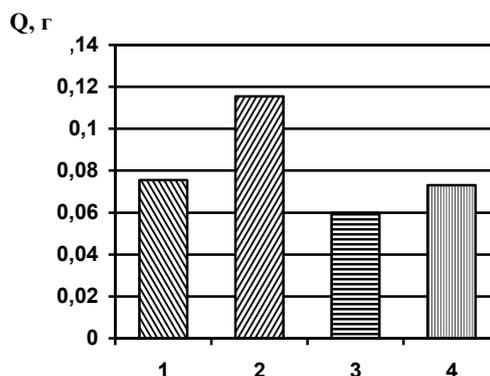
Масла, обработанные кислотами H_2SO_4 и HCl , после отстоя анализировали на содержание механических примесей, кинематическую вязкость и коррозионность. Результаты лабораторных исследований по установлению вида поверхностно-активных веществ представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Результаты анализа качества моторного масла после очистки ПАВ

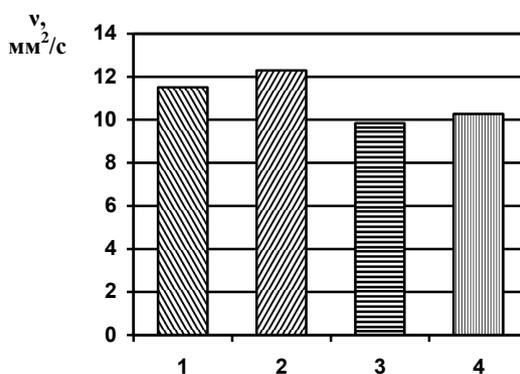
Показатели качества масла	Штатное масло М-10Г ₂ К	Отработанное масло	Масло после обработки ПАВ HCl	Масло после обработки ПАВ H ₂ SO ₄	Методы исследований
Содержание нерастворимых примесей, г. (%)	0,0755 (0,10)	0,1154 (0,15)	0,0598 (0,09)	0,0730 (0,10)	Центрифугирование
Кинематическая вязкость, мм ² /с	11,5	12,30	9,84	10,27	ГОСТ 33-2000
Кислотное число, мг КОН/г	-	0,2	0,8	1,8	ГОСТ 11362-96

Результаты анализов сравнивали с показателями штатного масла (рисунок 4.1). Анализы качества масла проводили в соответствии с ГОСТ.

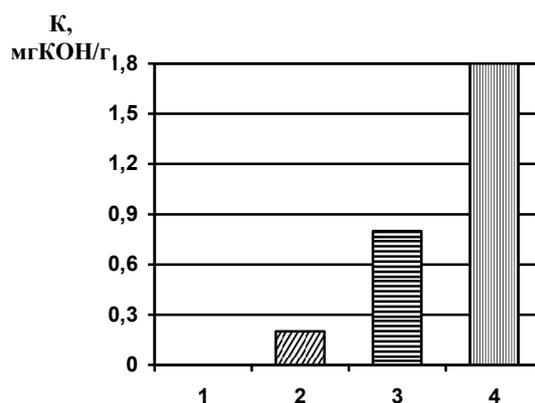
Результаты анализов показывают, что содержание нерастворимых примесей при обработке отработанного масла соляной кислотой уменьшилось в два раза – с 0,1154 г до 0,0598 г, т.е. с 0,15 % до 0,09 %, а при обработке серной кислотой содержание нерастворимых примесей уменьшилось в полтора раза - с 0,15 % до 0,10 %.



а)



б)



в)

Рисунок 4.1 – Результаты сравнительных анализов показателей масла при обработке поверхностно-активными веществами: а) содержание нерастворимых примесей; б) изменение кинематической вязкости; в) изменение кислотного числа; 1– масло М-10Г_{2К}, 2 – отработанное масло, 3 – отработанное масло, обработанное HCl, 4 – отработанное масло, обработанное H₂SO₄

Кинематическая вязкость при очистке HCl уменьшилась с 12,3 мм²/с до 9,84мм²/с, а при очистке кислотой H₂SO₄ - всего до 10,27 мм²/с.

Анализ на кислотность и кислотное число дал следующие результаты: кислотное число масла после очистки кислотой HCl составило 0,8 мг КОН/г, а после обработки кислотой H₂SO₄ - 1,8мг КОН/г, т. е. почти в 2,5 раза выше. Кислотное число отработанного масла составляет 0,2 мг КОН/г.

Как показали результаты исследования, эффективнее всего очистка отработанного моторного масла происходит при обработке его соляной кислотой, так как после очистки основные эксплуатационные показатели масла находятся в допустимых пределах.

4.1.2 Результаты исследований режимов деэмульгирования

Деэмульгирование отработанных масел проводили стандартным методом – нагревом масла и с использованием предлагаемого деэмульгатора. В процессе исследований выяснилось, что для обезвоживания методом нагрева водно-масляную эмульсию необходимо нагреть до температуры 150 °С (рисунок 4.2), а с использованием деэмульгатора - только до 103 °С.

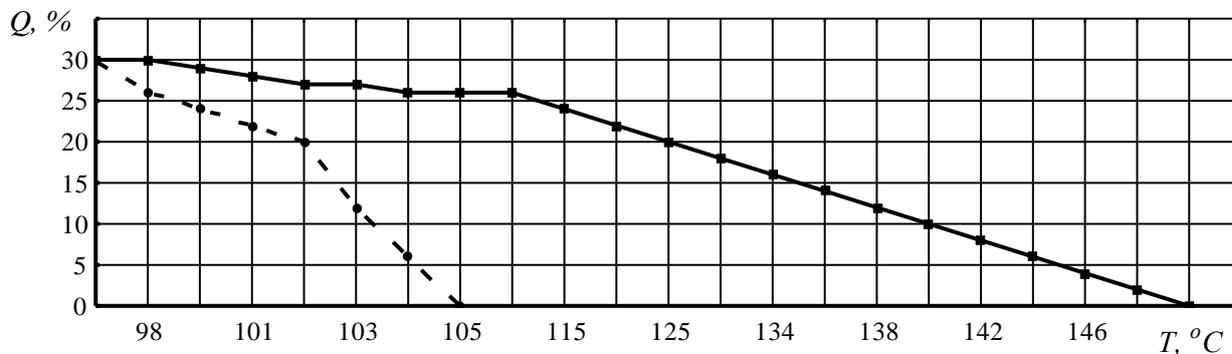


Рисунок 4.2 – Изменение содержания воды в масле Q от температуры нагрева T :

— - методом нагрева, - - - с использованием деэмульгатора

При этом использование деэмульгатора позволяет обезвоживать отработанное масло за 3 часа, в то время как обезвоживание того же объема водно-масляной эмульсии занимает 8 часов (рисунок 4.3).

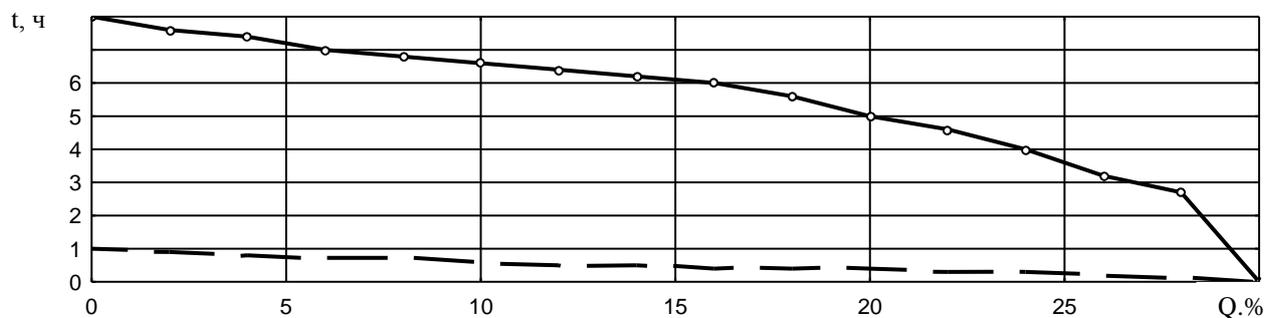


Рисунок 4.3 – Зависимость времени t обезвоживания от содержания воды Q в масле

— - методом нагрева, - - - - методом нагрева с использованием деэмульгатора

Таким образом, на основании проведенных исследований было определено, что использование деэмульгатора позволяет обезвоживать масло при температуре 105 °С. При этом не происходит окисление масла, что позволяет сохранить

его эксплуатационные свойства. Применение деэмульгатора позволяет снизить время обезвоживания с 8 до 1 ч.

4.1.3 Результаты исследований по определению режимов ввода присадок

Исследования режимов ввода вязкостной присадки ПМА-«В-2» в очищенное масло производили с определением кинематической вязкости восстанавливаемого масла при различных температурах (рисунок 4.4) и времени перемешивания ее с очищенным в гидроциклоне отработанным маслом (рисунок 4.5).

Результаты исследований показали, что оптимальным режимом является ввод вязкостной присадки ПМА-«В-2» в очищенное масло с температурой 60 ... 70 °С и перемешивании его с вязкостной присадкой в течении 2,5 ... 3 ч. При этом кинематическая вязкость очищенного масла поднялась с 8,3 мм²/с до 11,5 мм²/с, что соответствует предъявляемым требованиям.

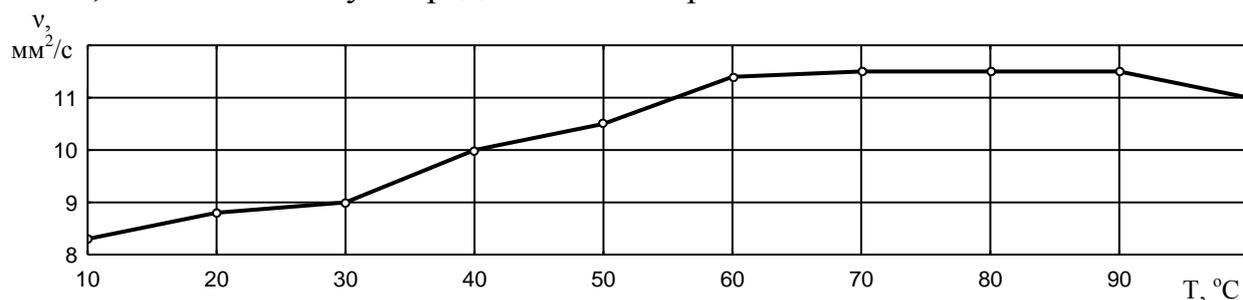


Рисунок 4.4 – Зависимость кинематической вязкости v восстановленного очищенного масла от температуры ввода присадки ПМА-«В-2»

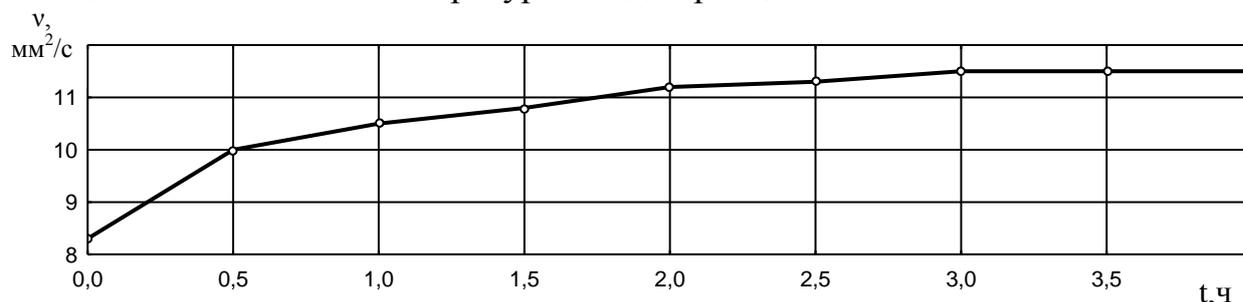


Рисунок 4.5 – Зависимость кинематической вязкости v восстановленного очищенного масла от времени перемешивания присадки ПМА-«В-2»

Исследования режимов ввода щелочной присадки Детерсол-140 в очищенное масло проводили с определением щелочного числа восстанавливаемого масла

при различных температурах ввода (рисунок 4.6) и времени перемешивания (рисунок 4.7).

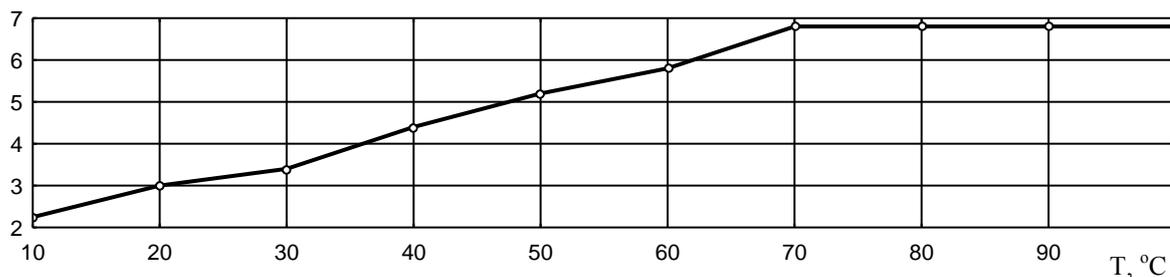


Рисунок 4.6 – Зависимость щелочного числа Щ восстановленного очищенного масла от температуры ввода присадки Детерсол-140

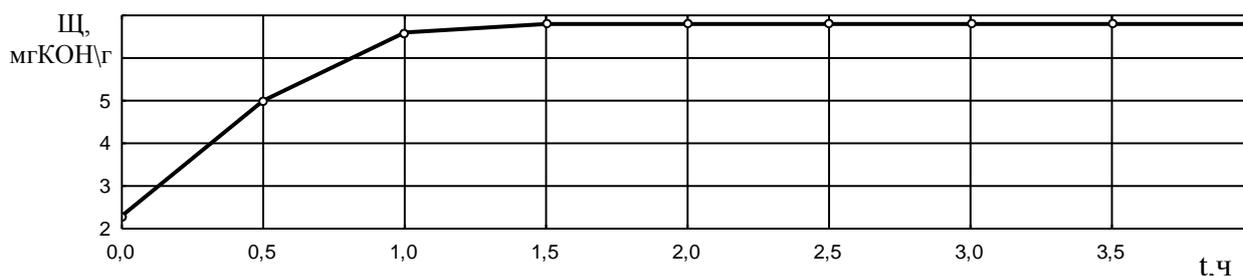


Рисунок 4.7 – Зависимость щелочного числа Щ восстановленного очищенного масла от времени перемешивания присадки Детерсол-140

Результаты исследований показали, что оптимальным режимом является ввод щелочной присадки Детерсол-140 в очищенное масло с температурой 70 ... 90 °С и перемешивании его с присадкой в течение 0,5 ... 2 ч.

Исследования режимов ввода базового масла М-14Г₂ЦС в очищенное масло производили с определением значений кинематической вязкости и щелочного числа восстанавливаемого масла при различных температурах ввода (рисунки 4.8, 4.9) и времени перемешивания базового масла с очищенным маслом (рисунки 4.10, 4.11).

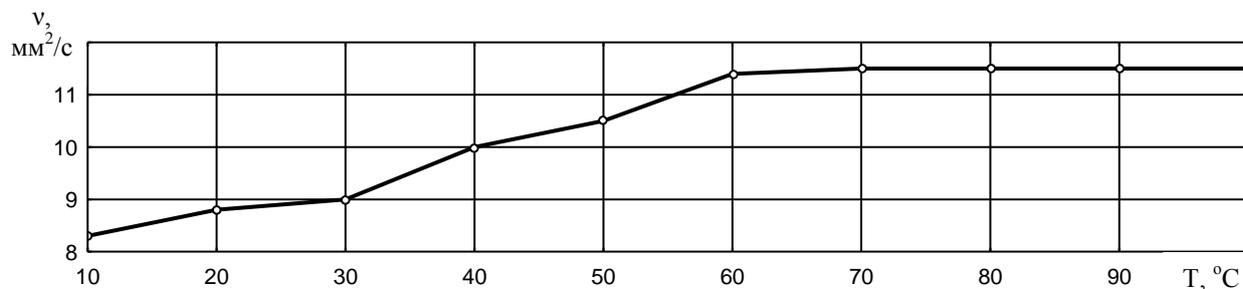


Рисунок 4.8 – Зависимость кинематической вязкости ν восстановленного очищенного масла от температуры ввода базового масла М-14Г₂ЦС

Щ,
мгКОН\г

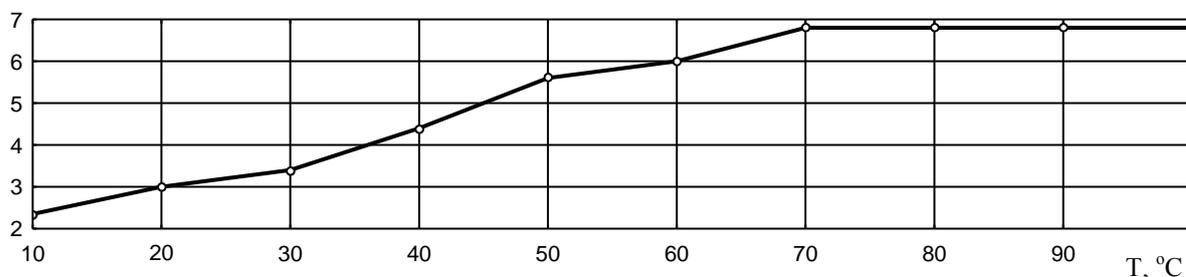


Рисунок 4.9 – Зависимость щелочного числа $Щ$ восстановленного очищенного масла от температуры ввода базового масла М-14Г₂ЦС

Результаты исследований показали, что для достижения значения кинематической вязкости восстанавливаемого масла, соответствующего требованиям ГОСТ 17479.1-85, - 11,5 мм²/с, базовое масло М-14Г₂ЦС необходимо вводить в очищенное масло при его температуре 75 ... 90 °С. Для восстановления щелочного числа очищенного моторного масла с 2,35 мгКОН/г до 6,8 мгКОН/г – базовое масло М-14Г₂ЦС также необходимо вводить при температуре 75 ... 90 °С. Таким образом, принимается режим ввода базового масла в очищенное, для восстановления кинематической вязкости и щелочного числа, в температурном интервале 75 ... 90 °С.

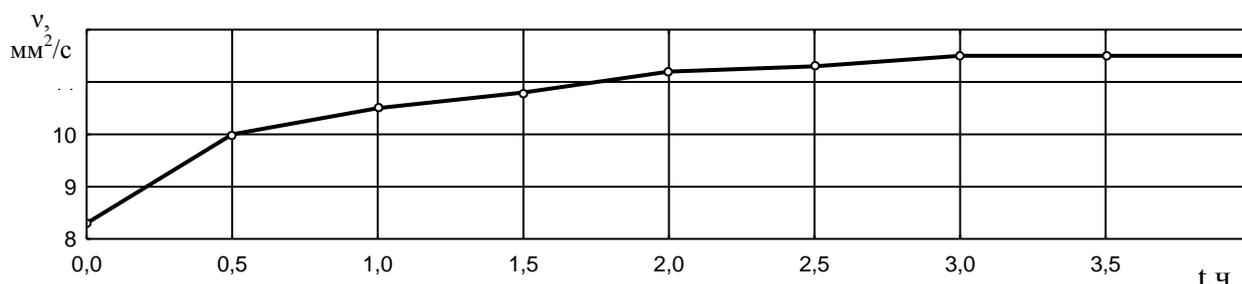


Рисунок 4.10 – Зависимость кинематической вязкости ν восстановленного очищенного масла от времени перемешивания базового масла М-14Г₂ЦС

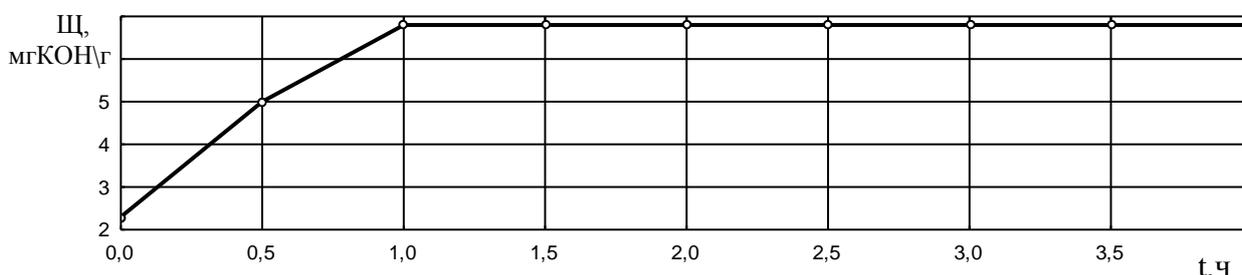


Рисунок 4.11 – Зависимость щелочного числа $Щ$ восстановленного очищенного масла от времени перемешивания базового масла М-14Г₂ЦС

Результаты исследований показали, что восстановление очищенного масла по кинематической вязкости и щелочному числу происходит при перемешивании

очищенного масла с базовым маслом М-14Г₂ЦС в течение 3 ч при температуре 75 ... 90 °С.

4.2 Результаты исследований гидроциклона

Исследования проводили на контрольном гидроциклоне, изготовленном по размерам, рассчитанным по типовой методике, и гидроциклоне, изготовленным с учетом результатов расчетов по предлагаемой методике.

Исследования проводили по определению влияния давления входного потока и глубине погружения диафрагмы в поток масла на степень очистки отработанного масла от нерастворимых примесей (приложение В).

На основании проведенных исследований было установлено, что наилучшая очистка масла происходит при давлении входного потока очищаемого масла 0,04 МПа (рисунок 4.12). При этом содержание нерастворимых примесей в чистом потоке масла с 0,1589 мг снизилось до 0,0911 мг (на 42,6 %), глубина погружения диафрагмы в поток масла составляла 66,8 мм.

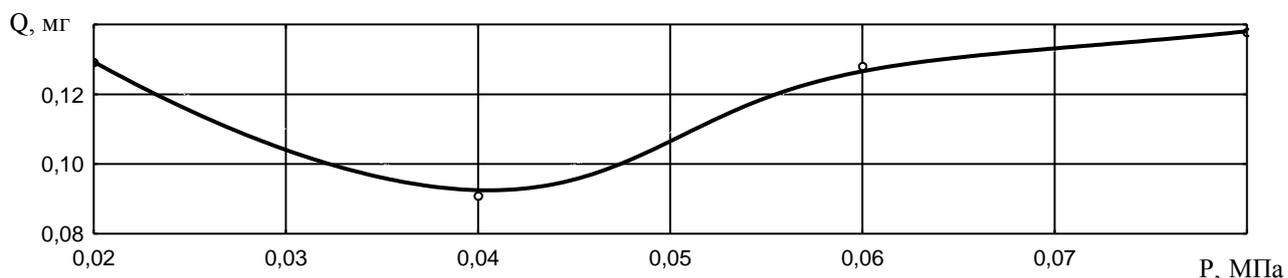


Рисунок 4.12 - Зависимость содержания нерастворимых примесей Q в масле от давления входного потока P

При увеличении глубины погружения диафрагмы до 86,8 мм (с одной насадкой) степень очистки несколько улучшилась и составила при давлении входного потока очищаемого масла 0,04 МПа - 0,0876 мг нерастворимых примесей (44,8 %), а при большем давлении эффективность очистки ухудшилась (рисунок 4.13).

Q , мг

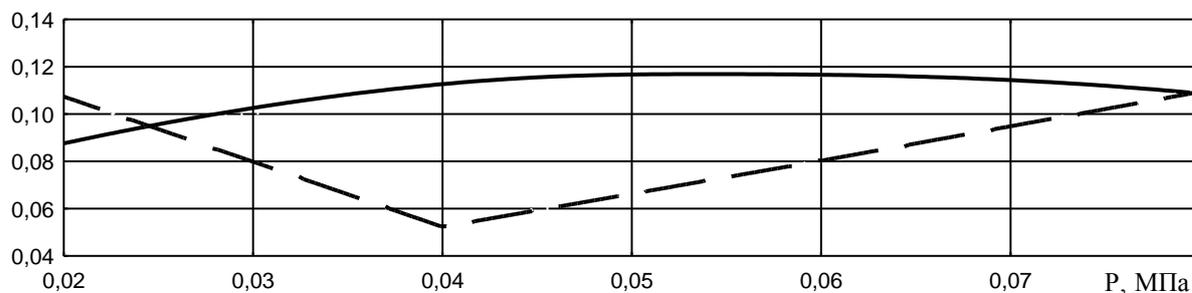


Рисунок 4.13 - Зависимость содержания нерастворимых примесей Q в масле от давления входного потока P при различной глубине погружения диафрагмы в поток масла

————— - с 1-й насадкой - - - - с 2-мя насадками

При увеличении глубины погружения диафрагмы в поток очищаемого масла до 96,8 мм (с двумя насадками) при давлении 0,04 МПа содержание нерастворимых примесей в чистом потоке составило 0,0523 мг, при содержании в очищаемом масле 0,1589 мг. При меньшем и больших значениях результаты оказались хуже (рисунок 4.13) и составили соответственно: 0,1074 и 0,1094 мг.

Таким образом, гидроциклон, изготовленный по типовым расчетам, дает наилучшую степень очистки при давлении 0,04 МПа, глубине погружения разделяющей диафрагмы в поток очищаемого масла 96,8 мм и диаметре выходного отверстия 20 мм. Таким образом, эффективность очистки отработанного масла зависит от давления входного потока масла и глубины погружения разделительной диафрагмы.

Для сравнения эффективности очистки предлагаемого гидроциклона с контрольным, исследования проводили аналогично.

Исследования показали, что наилучшая очистка отработанного масла происходит при давлении входного потока масла 0,04 МПа, при этом содержание нерастворимых примесей с 0,1589 снизилось до 0,0398 мг (75 %), глубина погружения диафрагмы в поток масла составляла - 66,8 мм (рисунок 4.14).

Q , мг

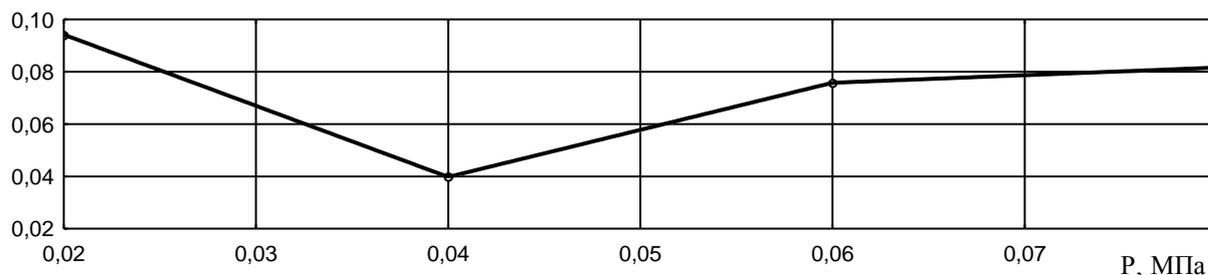


Рисунок 4.14 - Зависимость содержания нерастворимых примесей Q в масле от давления входного потока P

При увеличении глубины погружения диафрагмы до 105,8 мм (с одной насадкой) степень очистки улучшилась и составила при давлении 0,04 МПа - 0,0416 мг, а при большем давлении степень очистки ухудшилась (рисунок 4.15).

При увеличении глубины погружения до 136,8 мм (с двумя насадками) при давлении 0,04 МПа содержание нерастворимых примесей в чистом масле составило 0,0183 мг (88,5%), при содержании в очищаемом масле - 0,1589 мг (рисунок 4.15).

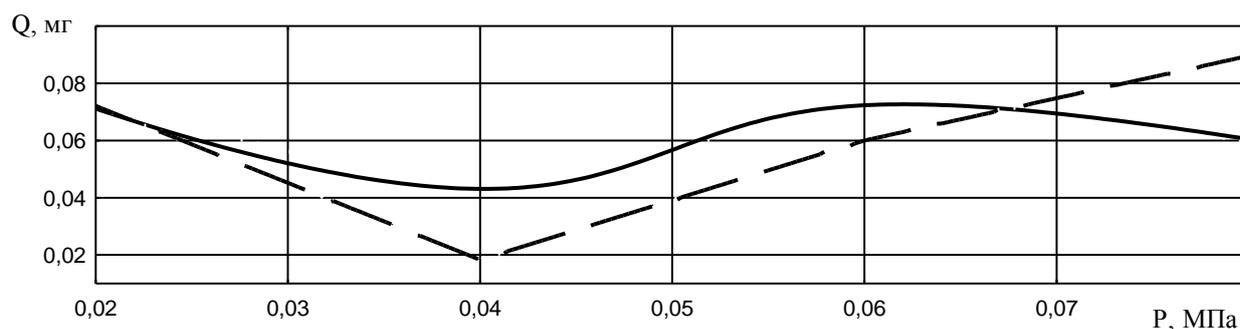


Рисунок 4.15 - Зависимость содержания нерастворимых примесей Q в масле от давления входного потока P при различной глубине погружения диафрагмы в поток масла

————— - с 1-й насадкой - - - - с 2-мя насадками

При меньшем и больших значениях давления входного потока результаты оказались хуже и составили соответственно 0,0721 мг и 0,0404 мг.

Необходимо отметить, что исследования проводили при температуре масла 100 ... 103 °С.

Таким образом, на основании проведенных исследований двух типов гидроциклонов изготовленных в первом случае - по типовой методике, а во втором – по уточненным расчетам через радиус поверхности нулевых осевых скоростей и режимов очистки отработанного масла, были получены следующие результаты.

Оптимальная степень очистки зависит от давления входного потока масла, подаваемого в гидроциклон, и глубины погружения диафрагмы в поток масла для его разделения. При этом определено, что наилучшая степень очистки достигается при давлении входного потока $P = 0,04$ МПа (рисунок 4.16), глубине погружения диафрагмы $H = 136,8$ мм и диаметре выходного устройства для удаления нерастворимых примесей 20 мм.

При меньшем или большем давлении входного потока и глубины погружения диафрагмы в поток масла наблюдается ухудшение степени очистки.

На основании результатов исследований получено уравнение регрессии:

$$Y=0,8964-3,0838X_1-0,1194X_2+18,8958X_1^2+0,1141X_1X_2+0,0042X_2 \quad (4.1)$$

где Y – содержание нерастворимых примесей в масле, мг;

X_1 – давление входного потока масла, МПа;

X_2 – глубина погружения диафрагмы в поток масла, мм.

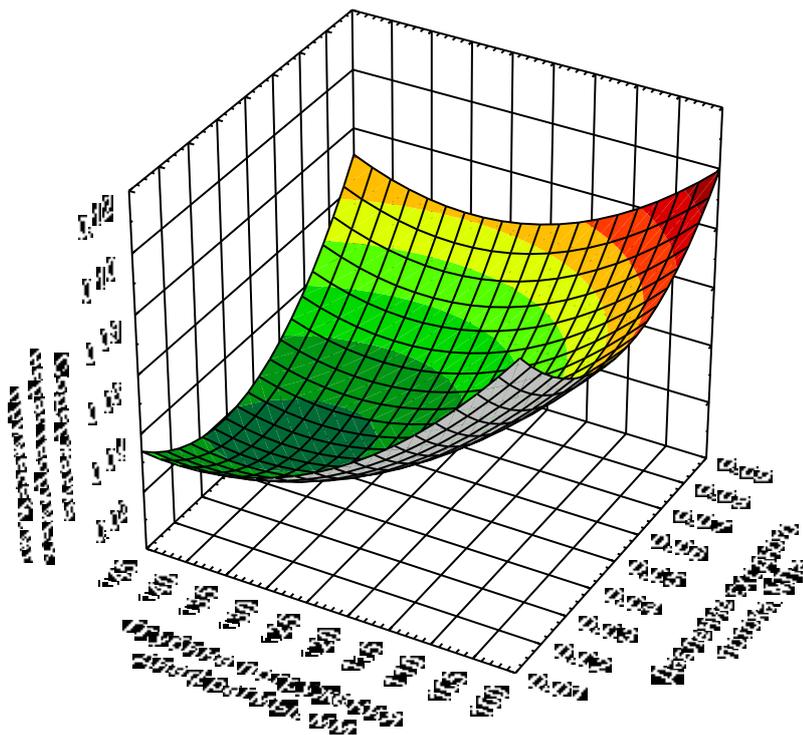


Рисунок 4.16 – Поверхность отклика качества очистки масла от давления входного потока и глубины погружения диафрагмы

Адекватность полученного уравнения регрессии оценивали по критерию Фишера. Расчетное значение критерия Фишера составило $F_p = 4,1$. Табличное значение F – критерия при 1 % уровне значимости равно 3,82.

Так как $F_p = 4,1 > F_m = 3,82$, гипотезу об адекватности описания уравнением (4.1) результатов эксперимента можно считать верной с 99 % вероятностью.

По полученным данным построено двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее качество очистки отработанного масла от глубины погружения диафрагмы и давления входного потока масла (рисунок 4.17).

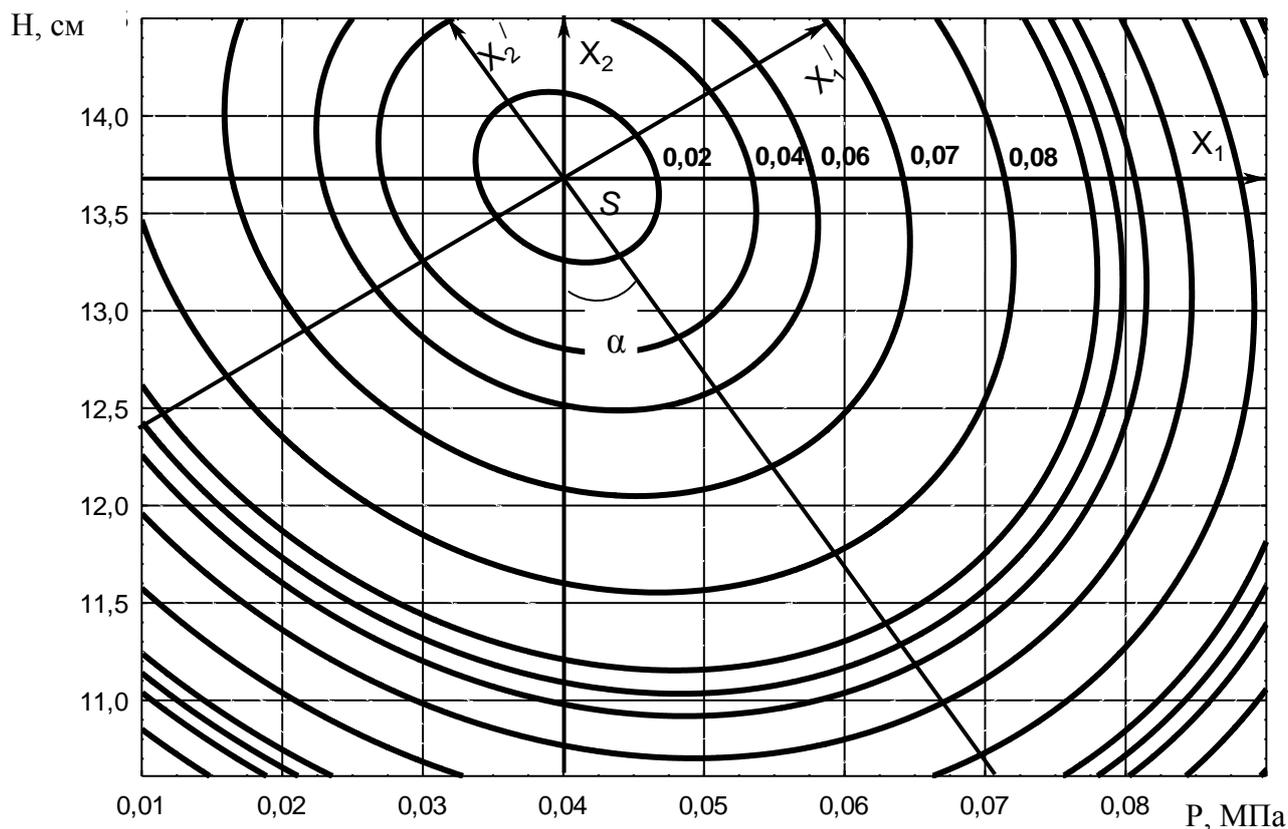


Рисунок 4.17 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующие качество очистки масла от глубины погружения диафрагмы и давления входного потока масла

После анализа рисунка 4.17 установлено, что область оптимума определяет глубина погружения диафрагмы в пределах 132...142 мм и давление входного потока - 0,033...0,043 МПа. Минимальное значение содержания нерастворимых примесей в очищенном масле в сечении области оптимума равно 0,00182 мг.

4.3 Результаты производственных исследований

Результаты производственных исследований восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел по предлагаемым технологиям с использованием гидроциклона представлены в таблице 4.2.

После ввода рассчитанного объёма базового масла М-14Г₂ЦС в очищенное масло и при перемешивании в течение 3 ч при температуре 70 °С определены кинематическая вязкость и щелочное число (таблица 4.2). Как видно из результатов, щелочное число оказалось ниже расчетного и составило 6,8 мг КОН/г против ожидаемых 6,98 мг КОН/г. Это объясняется нейтрализацией щелочной присадкой товарного масла остаточной кислотности очищенного масла. Кинематическая вязкость составила 11,52 мм²/с.

Таблица 4.2 Результаты анализа проб масел при производственных исследованиях

<i>Показатель</i>	Кинематическая вязкость, мм²/с	Содержание нерастворимых примесей, %	Щелочное число, мг КОН/г	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С
Отработанное масло	12,3	0,1589	2,5	-	112
Масло после очистки в гидроциклоне и обработки HCl	8,3	0,0183	2,35	0,2	200
Очищенное масло с М-14Г ₂ ЦС	11,52	0,0154	6,8	-	220
Очищенное масло с пакетом присадок	11,5	0,0228	6,1	-	224

Результаты исследований показателей качества восстановленного масла после ввода пакета присадок при температуре 75...80 °С и перемешивании в течение 3 ч представлены в таблице 4.2.

Данные проведенных лабораторных исследований подтвердили возможность восстановления эксплуатационных показателей отработанных моторных масел по предлагаемым технологиям с использованием гидроциклона (таблица 4.2). Содержание нерастворимых примесей в очищенном масле составило 0,0183 мг, в масле компаундированным с базовым маслом М-14Г₂ЦС – 0,0154 мг, в масле с пакетом присадок – 0,0228 мг. Щелочное число составило: в очищенном масле 2,35 мг КОН/г, в масле с добавлением М-14Г₂ЦС – 6,8 мг КОН/г, в масле, восстановленном пакетом присадок – 6,1 мг КОН/г. Температура вспышки, соответственно, составила – 200 °С у очищенного масла, 220 °С - у масла, восстановленного с М-14Г₂ЦС, и 224 °С – у масла, восстановленного пакетом присадок ПМА-«В-«2» и Детерсол-140. Полученные значения показателей соответствуют товарному маслу М-10Г₂к.

4.4 Результаты исследований противоизносных и противозадирных свойств восстановленных моторных масел

Трибологические исследования проводили в лаборатории смазочных материалов ИП МАШ РАН. Их результаты представлены в Приложениях Г, Д, Ж (рисунок 4.18).

Результаты исследований показали следующее (приложения Г). В паре трения сталь-сталь (испытания на ЧМТ) восстановленные масла по противоизносным свойствам находятся на одном уровне с штатным маслом М-10Г₂к. Диаметр пятна износа масла, восстановленного с М-14Г₂ЦС, составил 0,28 мм, масла восстановленного пакетом присадок – 0,31 мм, штатного М-10Г₂к - 0,30 мм (рисунок 4.18 а).

Предельное давление задира восстановленных масел составило: у масла, восстановленного с М-14Г₂ЦС – $P_{кр} = 29,9$ МПа, у масла, восстановленного пакетом присадок - $P_{кр} = 10,6$ МПа, что выше значения штатного масла М-10Г₂к - $P_{кр} = 10$ МПа (рисунок 4.18 б).

По результатам исследований на давление сваривания $P_{св}$ установлено, что у масла, восстановленного с базовым маслом М-14Г₂ЦС, оно составило 29,9

МПа, у масла, восстановленного пакетом присадок – 27...30 МПа (рисунок 4.18 в), что превышает значения давления сваривания штатного масла М-10Г₂к – 21,1 МПа.

По результатам испытаний на антизадирные свойства выявлено, что у масла, восстановленного базовым маслом М-14Г₂ЦС, индекс задира составил $I_3 = 55$, а у масла, восстановленного пакетом присадок – $I_3 = 48$, что превышает значение штатного масла М-10Г₂к - $I_3 = 46$ (рисунок 4.18 г).

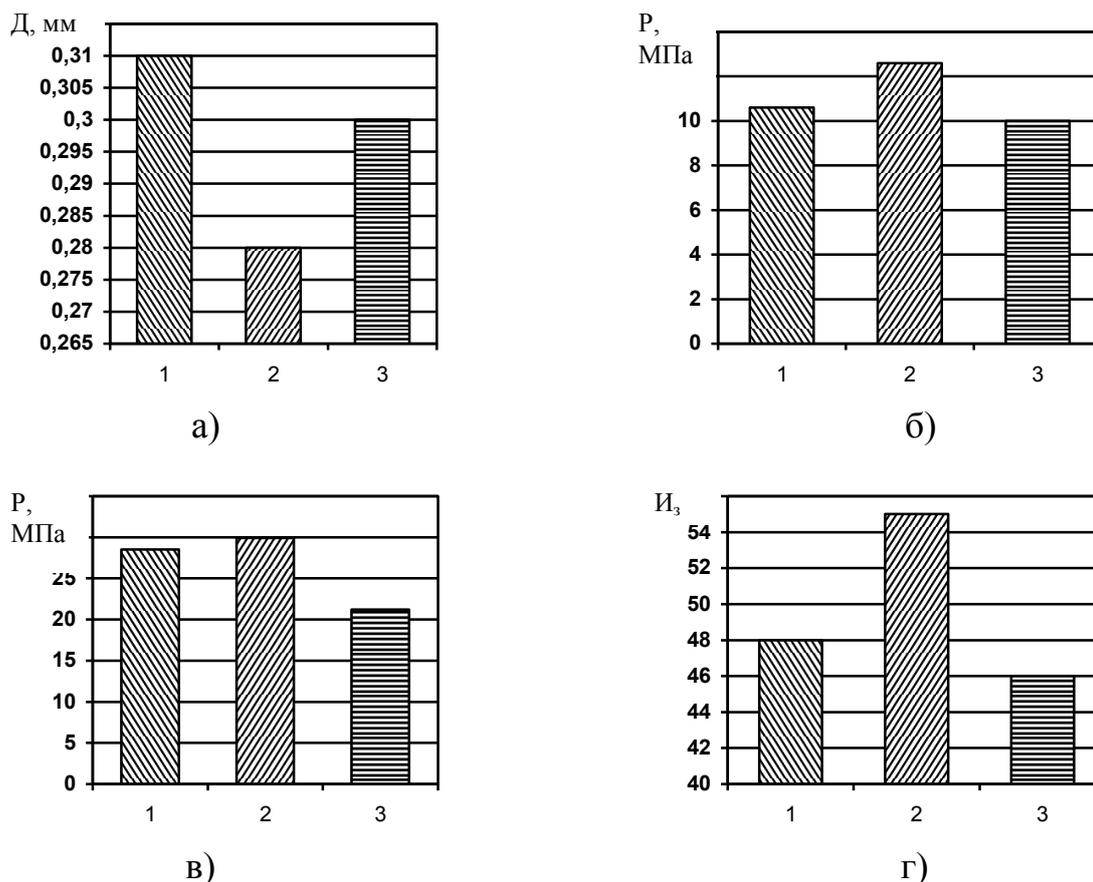


Рисунок 4.18 – Результаты противоизносных свойств исследуемых масел на ЧМТ: а) противоизносные свойства; б) давление задира; в) давление сваривания; г) индекс задира; 1 – масло, восстановленное пакетом присадок; 2 – масло, восстановленное М-14Г₂ЦС; 3 – штатное масло М-10Г₂к

Трибологические исследования на роликовой машине СМТ-1 восстановленных по предлагаемым технологиям масел с использованием гидроциклона представлены в приложении Д и рисунках 4.19 ... 4.23.

В паре трения сталь-бронза, при давлении в узле трения до 30 МПа, восстановленные масла показали одинаковые противоизносные и противозадирные свойства с маслом М-10Г₂к (приложение б). Износ восстановленных масел соста-

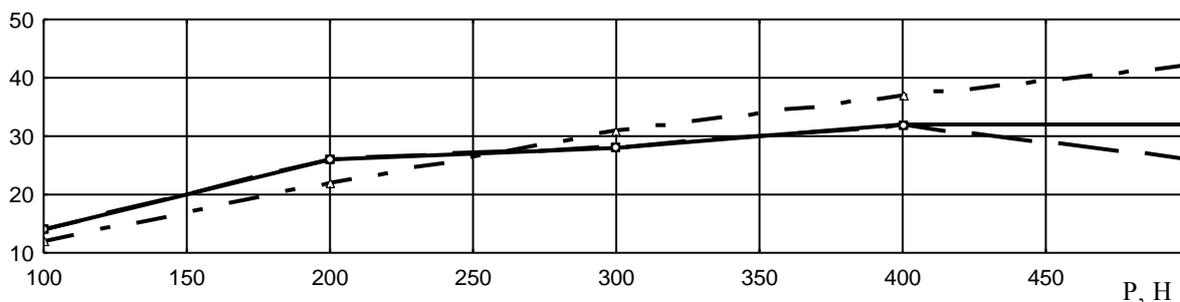


Рисунок 4.21 – Зависимость предельного давления задира P_{np} от давления в паре трения сталь-бронза

— масло с присадками, - - - масло с М-14Г₂ЦС, - · - · - · масло М-10Г₂К

У масла, восстановленного пакетом присадок, $P = 28$ МПа, у масла, восстановленного с М-14Г₂ЦС, $P = 28$ МПа, и $P = 31$ МПа – у штатного масла М-10Г₂К.

В паре трения сталь-чугун (приложение Д) износ восстановленных масел составил: $a_{и}=0,5$ мм – с пакетом присадок, $a_{и}=0,5$ мм – с маслом М-14Г₂ЦС и $a_{и}=0,64$ мм – штатного масла М-10Г₂К (рисунок 4.22).

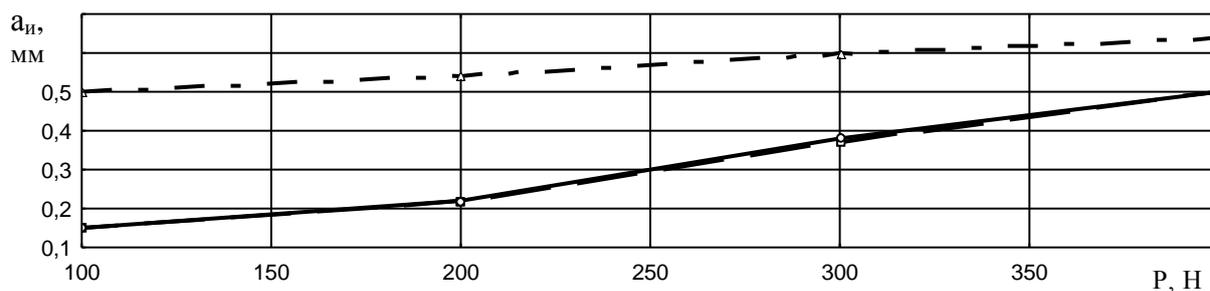


Рисунок 4.22 – Зависимость износа $a_{и}$ от давления в паре трения сталь-чугун

— масло с присадками, - - - масло с М-14Г₂ЦС, - · - · - · масло М-10Г₂К

Предельная нагрузка восстановленного моторного масла с помощью НС1 и очисткой в гидроциклоне с добавлением пакета присадок Детерсол-140 и ПМА – «В2» составила 80 МПа, с добавлением М-14Г₂ЦС – 87,6 МПа против 71,4 МПа у штатного масла М-10Г₂К (рисунок 4.23). Как видно из результатов, отработанные очищенные масла, восстановленные с добавлением базового масла М-14Г₂ЦС, показали более лучшие результаты по отношению к штатному маслу М-10Г₂К и отработанному маслу, восстановленному пакетом присадок.

P ,
МПа

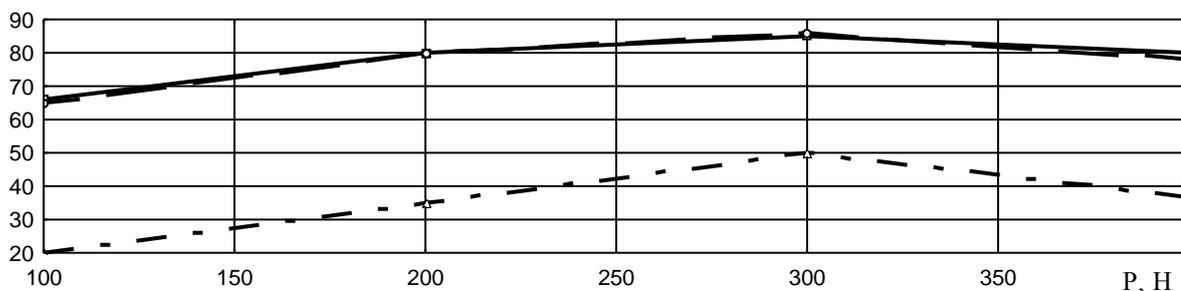


Рисунок 4.23 - Зависимость предельного давления задира P_z от давления в паре трения сталь-чугун

— масло с присадками, - - - масло с М-14Г₂ЦС, - · - · - масло М-10Г₂к

Таким образом, трибологические свойства отработанных масел, восстановленных по разработанным технологиям с использованием ПАВ и последующей очисткой в гидроциклоне при рабочих нагрузках в парах трения сталь-сталь, сталь-чугун и сталь-бронза находятся на уровне с штатным маслом М-10Г₂к и могут использоваться как дублирующие в системе смазки автомобилей КамАЗ.

Для определения полной взаимозаменяемости восстановленных отработанных моторных масел с товарными моторными маслами марки М-10Г₂к, проведены исследования в условиях реальной эксплуатации на двигателях автомобилей КамАЗ.

4.5 Результаты исследований по определению нерастворимых примесей и активных металлов присадок в масле

Так как пробы отбирали у всех исследуемых автомобилей через равные промежутки пробега, было принято решение определить средние значения количества нерастворимых примесей в масле у всех групп по номерам проб.

Данные результатов исследований по определению количество продуктов износа в пробах масел представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 Содержание нерастворимых примесей в масле

№ пробы	Среднее содержание железа в масле		Пробег, км
	мг	%	
1	0,00013	0,0018	2000
2	0,00032	0,0045	4000
3	0,00033	0,0047	6000

4	0,00037	0,0047	8000
5	0,00047	0,0067	10000
6	0,00051	0,0073	12000
7	0,00086	0,012	14000

Результаты исследований проб масел по определению количества импульсов по каналу Fe, соответствующих данному количеству продуктов износа, проведенных на приборе БАРС-3, представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 Количество импульсов по каналу Fe

№ фильтра	Количество импульсов		
	фильтра	осадка на фильтре	осадка по каналу Fe
1	350	360	10
2	357	369	12
3	332	345	13
4	338	359	21
5	332	372	40
6	326	371	45
7	328	415	87

В результате проведенных исследований установлено, что определенному количеству примесей соответствует определенное количество импульсов, которое тем выше, чем больше содержится Fe в масле.

По полученным данным построен график зависимости импульсов от содержания Fe в масле с линией тренда (рисунок 4.23).

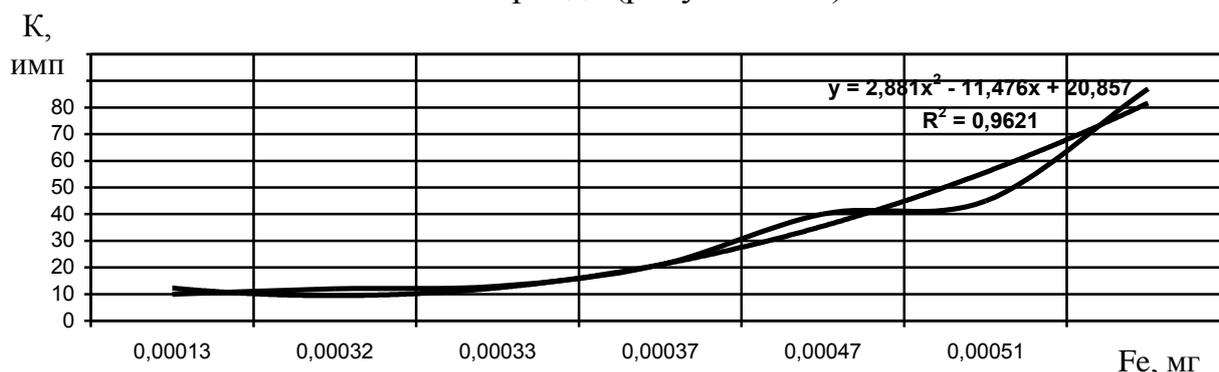


Рисунок 4.23 - Полиномиальная кривая зависимости импульсов $K_{имп}$ от содержания железа Fe

———— фактическое изменение импульсов

———— аппроксимированное изменение импульсов

На основании данных исследования проб масел по количеству импульсов и определения содержания продуктов износа по Fe построен график зависимости содержания железа от пробега автомобилей (рисунок 4.24).

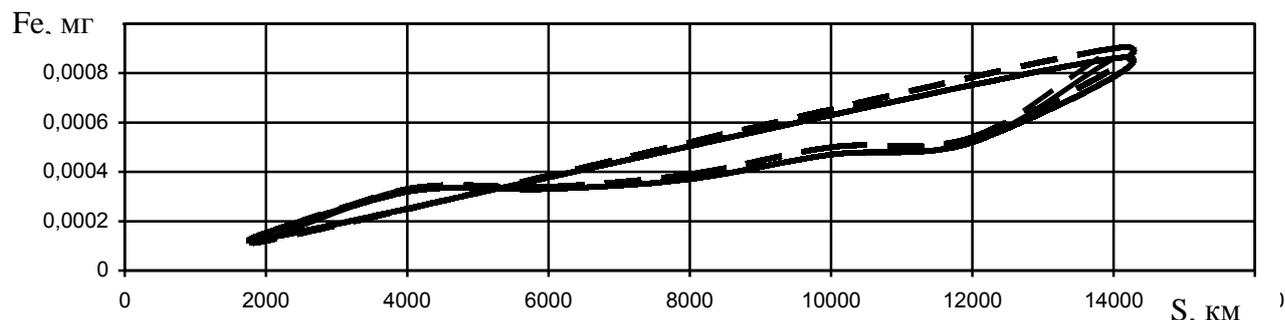


Рисунок 4.24 - Изменение содержания Fe от пробега автомобилей S

Таким образом, содержание железа в масле достигает предельного значения при пробеге 13 тыс. км (рисунок 4.24), что может являться основанием для определения пробега автомобиля до смены масла.

Результаты тарировки прибора БАРС-3 с использованием соли циклогексанмасляной кислоты кальциевой $C_{20}H_{34}CaO_4$ и цинковой $C_{20}H_{34}ZnO_4$, с последующим снятием импульсов по каналам Ca и Zn, представлены на рисунках 4.25, 4.26.

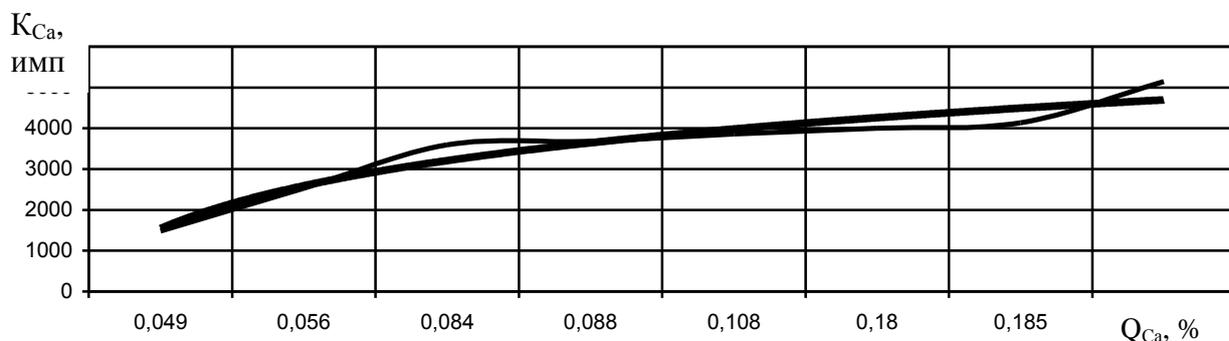


Рисунок 4.25 – Зависимость количества импульсов K_{Ca} от содержания Q_{Ca} в масле

Зависимость содержания металла Ca описывается уравнением:

$$Y = 1516,9 \ln x + 1542,3 \quad (4.2)$$

при величине коэффициента детерминации $D=0,9338$.

K_{Zn} ,
имп

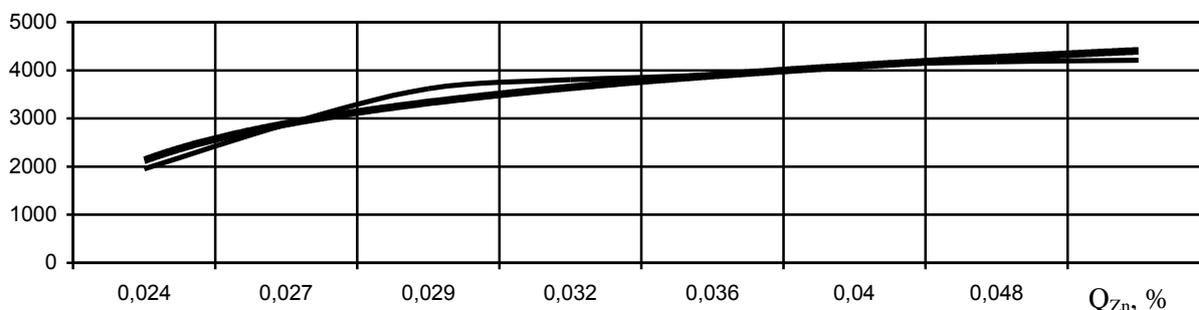


Рисунок 4.25 - Зависимость количества импульсов K_{Cz} от содержания Q_{Zn} в масле

Зависимость содержания металла Zn описывается уравнением:

$$Y = 1094 \ln x + 2129,9 \quad (4.3)$$

при величине коэффициента детерминации $D = 0,9577$.

4.6 Результаты сравнительных эксплуатационных исследований

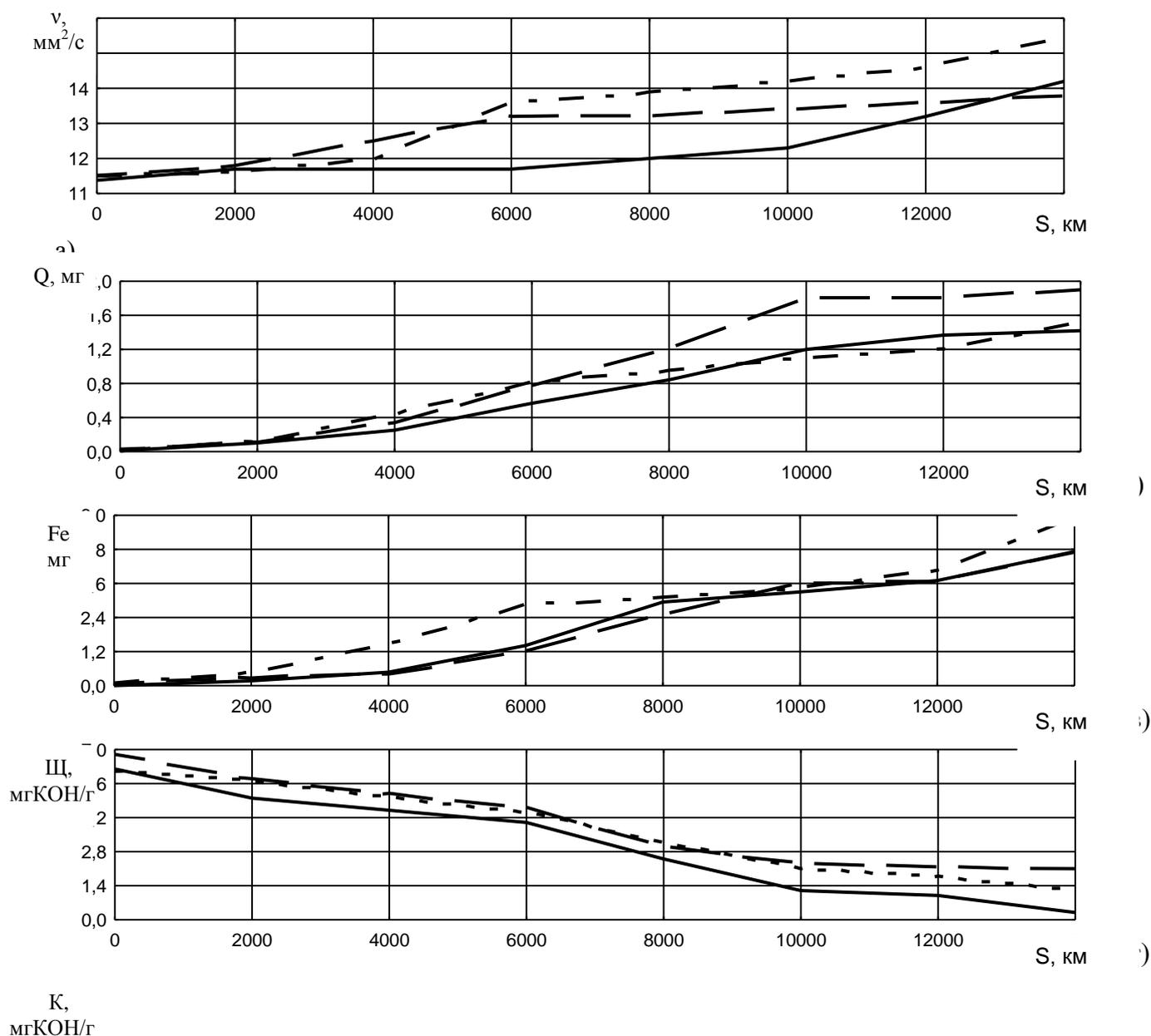
После подготовки двигателей и заливки в них исследуемого масла, автомобили пускали в эксплуатацию. Результаты анализов приведены в таблице 4.5.

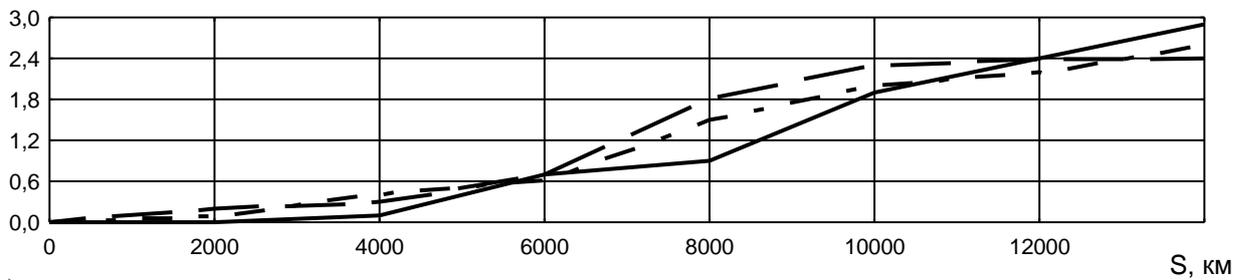
Таблица 4.5 Результаты эксплуатационных исследований моторных масел

Наименование масла	Пробег, км	Показатели							
		Кинематическая вязкость, мм ² /с		Содержание нерастворимых примесей, %		Щелочное число, мг КОН/г		Кислотное число, мг КОН/г	
		Знач.	Δ	Знач.	Δ	Знач.	Δ	Знач.	Δ
Штатное масло М-10Г ₂ к	0	11,5	0,04	0,010	0,001	6,2	0,07	-	0,06
	10000	12,3		0,5		1,2		2,5	
	14000	14,2		1,2		0,3		2,9	
Очищенное масло с М14Г ₂ ЦС	0	11,52	0,04	0,015	0,001	6,8	0,07	-	0,06
	10000	13,0		0,4		2,3		2,3	
	14000	13,2		1,8		2,1		2,4	
Очищенное масло с пакетом присадок	0	11,5	0,04	0,022	0,001	6,1	0,07	-	0,06
	10000	12,8		0,8		2,1		2,0	
	14000	14,7		1,45		1,2		2,6	

В результате исследований установлено (приложение Ж): средняя кинематическая вязкость у штатного масла М-10Г₂к за период исследований с 11,5 мм²/с к 10000 км пробега увеличилась до 12,3 мм²/с, а к 14000 км – до 14,2 мм²/с, у масла, восстановленного с М-14Г₂ЦС, с 11,52 мм²/с до 13,2 мм²/с, а у масла, восстановленного с пакетом присадок, соответственно, с 11,5 мм²/с до 14,7 мм²/с (рисунок 4.26 а).

Содержание нерастворимых примесей (приложение Л), соответственно, увеличилось с 0,0105 мг до 1,2 мг у масла М-10Г₂к, с 0,0154 мг до 1,8 мг - у масла, восстановленного М-14Г₂ЦС, и с 0,0228 мг до 1,1 мг - у масла, восстановленного пакетом присадок (рисунок 4.26 б).



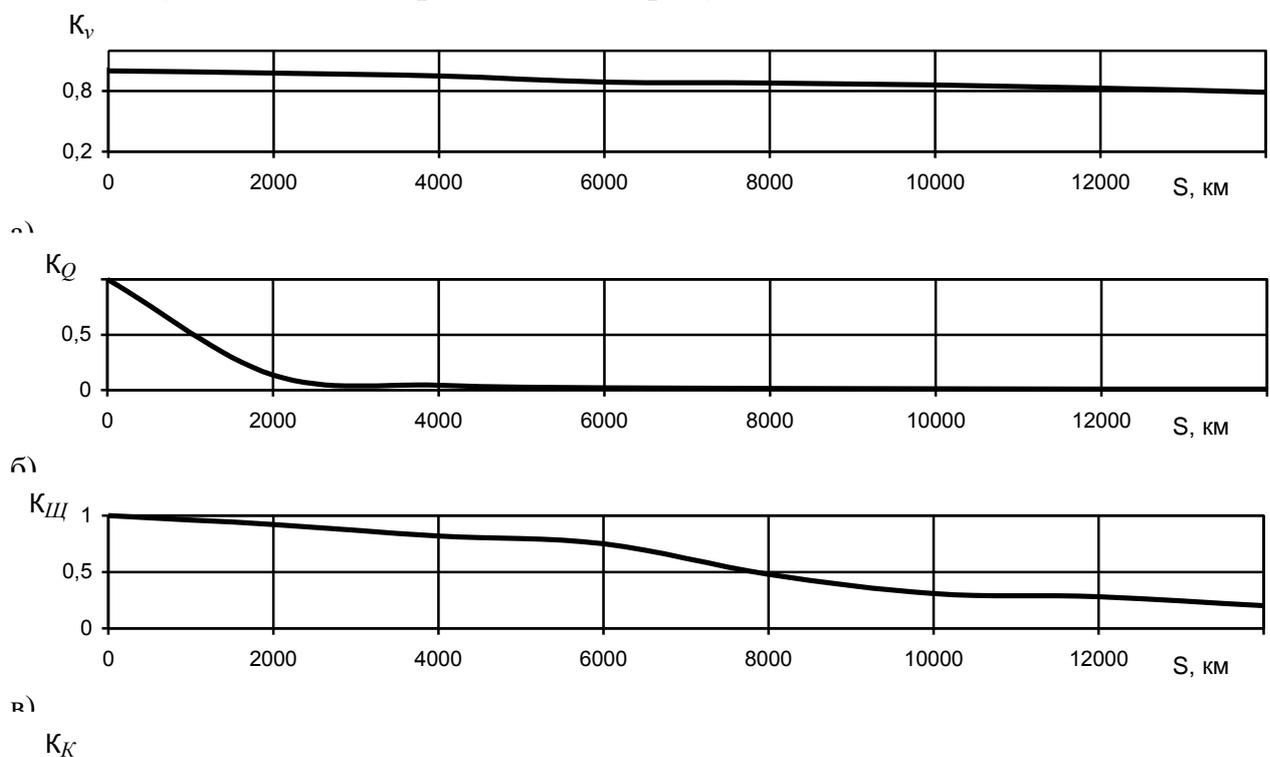


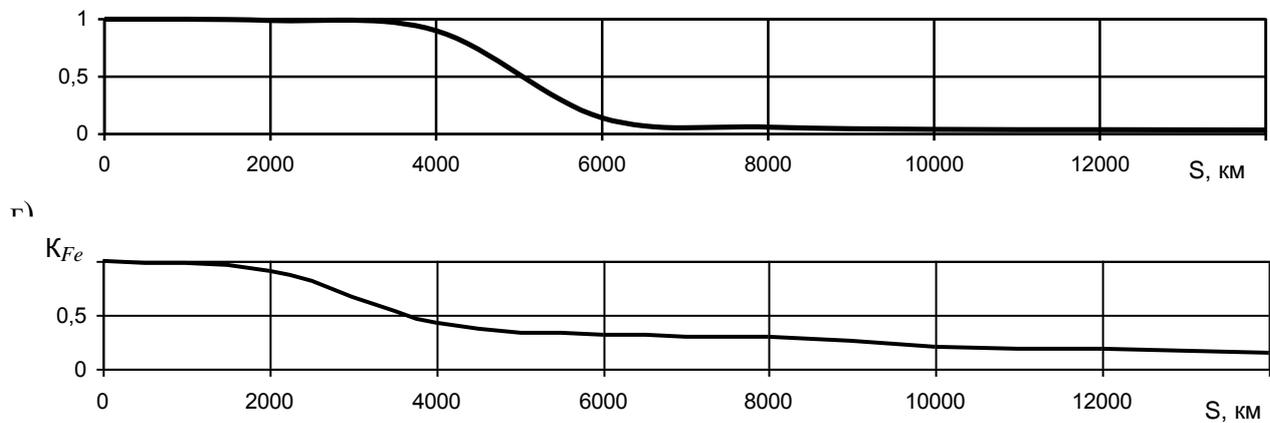
д)

Рисунок 4.26 – Зависимость основных показателей качества масла от пробега S автомобилей: а) кинематическая вязкость; б) содержание нерастворимых примесей; в) суммарное содержание железа; г) щелочное число; д) кислотное число

Щелочное число (приложение Л) у штатного масла М-10Г₂к снизилось через 14000 км пробега с 6,2 мг КОН/г до 0,3 мг КОН/г, у масла с М-14Г₂ЦС соответственно с 6,8 мг КОН/г до 2,1 мг КОН/г, у масла с пакетом присадок с 6,1 мг КОН/г до 1,2 мг КОН/г (рисунок 4.22 г), кислотное число (приложение М) увеличилось у масла М-10Г₂к до 2,9 мг КОН/г, у масла с М-14Г₂ЦС – до 2,4 мг КОН/г и у масла с пакетом присадок – до 2,6 мг КОН/г (рисунок 4.26 г).

На основании данных проведенных исследований основных показателей, расчетным путем, по разработанной методике, определены коэффициенты качества исследуемого масла (приложение О, рисунок 4.27).





д)

Рисунок 4.27 - Изменение коэффициентов качества масла в зависимости от пробега S автомобилей: а) кинематической вязкости, б) содержания нерастворимых примесей, в) щелочного числа, г) кислотного числа, д) содержания железа

Результаты исследований содержания активных металлов присадок Ca и Zn в пробах масел по содержанию импульсов (приложения С, Т, У), представлены на рисунке 4.28, изменение коэффициентов содержания металлов присадок (приложение У) – на рисунке 4.29.

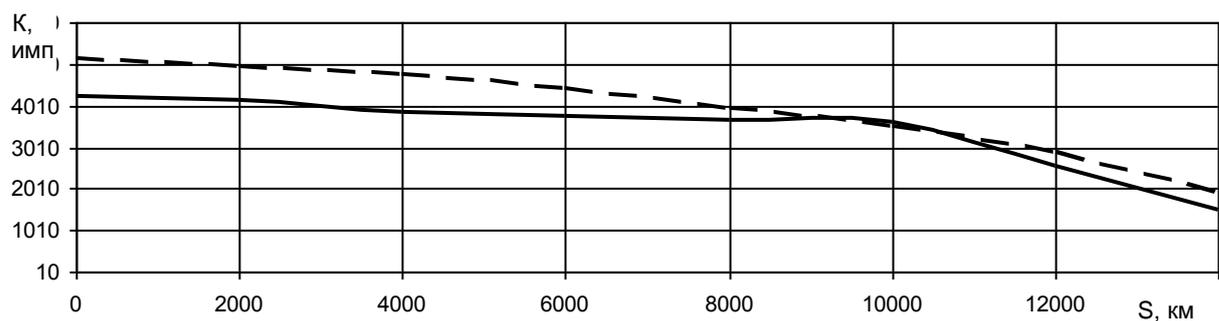


Рисунок 4.28 - Изменение содержания Ca и Zn в масле исследуемых автомобилей в зависимости от пробега S : — Ca, - - - Zn

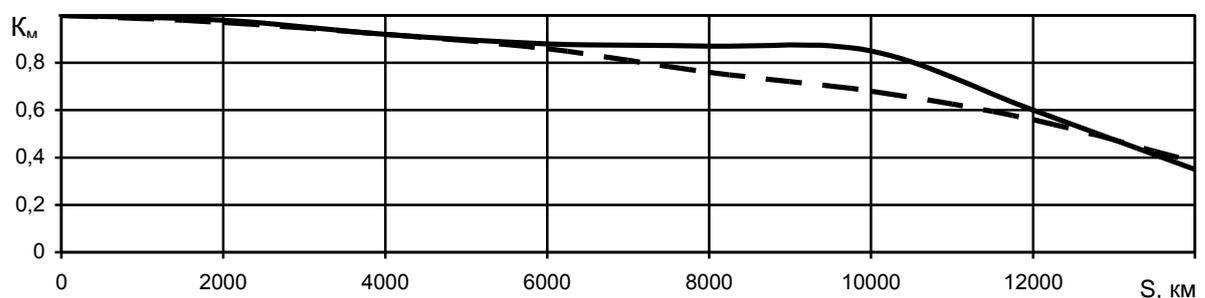


Рисунок 4.29 - Изменение коэффициентов содержания Ca и Zn в масле исследуемых автомобилей в зависимости от пробега S :

— Ca, - - - Zn

Изменение количественного содержания активных металлов присадок Ca и Zn в пробах масел в зависимости от пробега автомобилей представлены на рисунке 4.30.

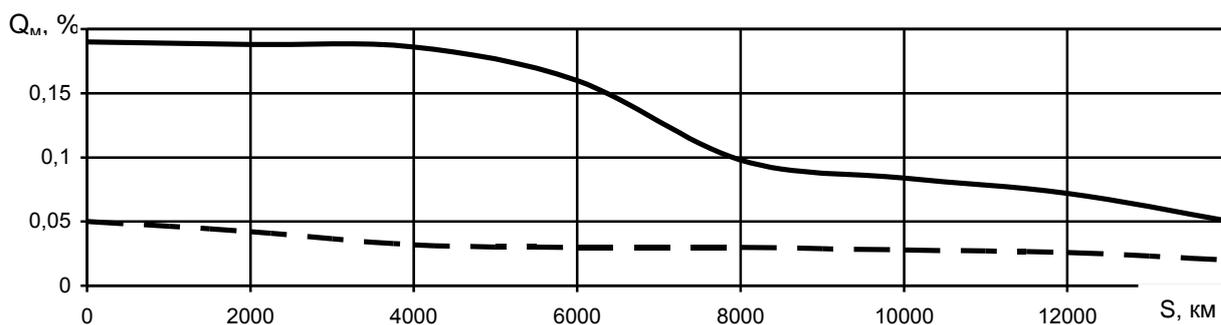


Рисунок 4.30 – Изменение содержания металлов присадок от пробега S автомобилей: ——— Ca, - - - Zn

По полученным данным коэффициентов рассчитан обобщающий коэффициент изменения качества масла в процессе его эксплуатации в двигателях автомобилей КамАЗ (рисунок 4.31).

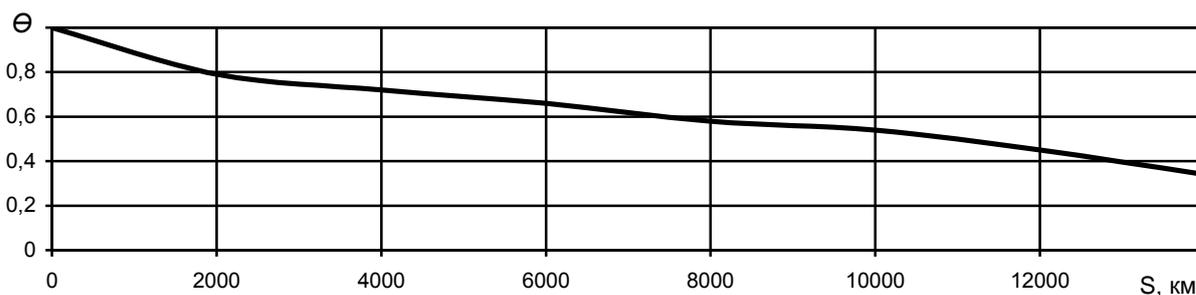


Рисунок 4.31 – Изменение обобщающего коэффициента Θ качества моторного масла в зависимости от пробега S автомобилей

Руководствуясь браковочными значениями основных показателей качества моторного масла М-10Г₂к, по которым принимается решение о замене его в двигателе автомобиля, получена зависимость обобщающего коэффициента качества масла от содержания продуктов износа и определен пробег, при котором масло подлежит замене на новое (рисунок 4.32).

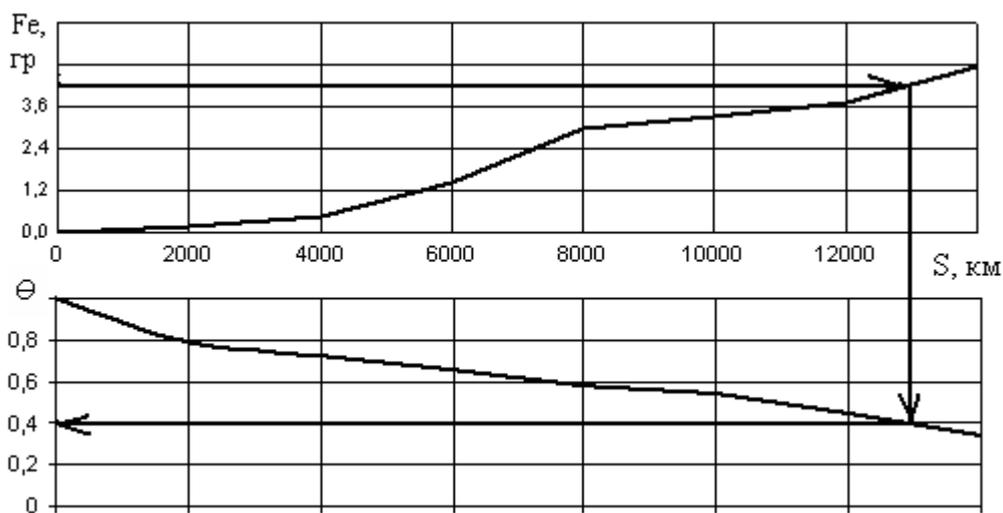


Рисунок 4.32 - Продолжительность работы моторных масел в двигателях автомобилей КамАЗ по содержанию продуктов износа Q в зависимости от пробега S

Согласно рекомендуемым данным смены работающие масла необходимо заменять в случаях, когда содержание нерастворимых примесей превысит 3 %, а доля продуктов износа в общем количестве примесей - 150 г/т. По результатам исследований наступление этого момента приходится на 13000 км пробега. Также, исходя из полученных данных, определено предельное содержание активных металлов присадки, при достижении которых масло подлежит замене, составившее, согласно обобщающему коэффициенту: для Ca - 0,05 %, для Zn - 0,02 %.

Таким образом, на основании проведенных лабораторных и эксплуатационных исследований можно заключить, что отработанные моторные масла, восстановленные по разработанным технологиям, не уступают по своим качествам товарному маслу М-10Г₂к и могут являться его полноценными заменителями. Периодичность смены моторных масел марки М-10Г₂к в двигателях автомобилей КамАЗ может быть увеличена до 13000 км пробега против регламентируемых 10000 км, что позволяет увеличить срок использования масла и снизить его расход.

4.7 Результаты экологической экспертизы

В результате проведенной экологической экспертизы цеха регенерации отработанных моторных масел с разработанной установкой с использованием гид-

роциклона и предлагаемым технологиям очистки и восстановления эксплуатационных свойств моторных масел было выявлено следующее. В процессе эксплуатации установки образуется четыре продукта загрязнения: шламы минеральных масел (образующиеся при эксплуатации установки) 5470000008004, песок, загрязненный маслами (при уборке случайных проливов) 3140230304033, обтирочный материал, загрязненный маслами (обслуживание и ремонт оборудования) 5490270101033, мусор (уборка помещений) 9120040001004.

На основании установления источников загрязнения атмосферы был произведен расчет и замер выбросов в парах нефтепродуктов по указанным объектам (таблица 4.6). В результате замеров установлены три основных загрязняющих вещества, выбрасываемые в атмосферу при работе предложенной установки восстановления масел и при хранении отработанных масел: сероводород, ароматические углеводороды и предельные углеводороды.

Таблица 4.6 Результаты замеров выбросов загрязняющих веществ

Наименование загрязняющих веществ	Выбросы			
	максимальные, г/с		годовые, т/год	
	нормативные	фактические	нормативные	фактические
Сероводород	0,00002	0,0000013	0,00126	0,00094
Ароматические	0,00001	0,0000006	0,000072	0,000043
Углеводороды предельные C ₁₂ – C ₁₉	0,00773	0,00026	0,05565	0,00191

По результатам замеров установлено, что при восстановлении отработанных моторных масел по предлагаемым технологиям выбросы предельных углеводородов в 30 раз ниже нормативных, ароматических углеводородов - в 1,7 раза, сероводорода – в 1,3 раза.

На основании проведенных замеров рассчитана категория опасности предприятия (КОП), данные приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 Расчет категории опасности

Код вещества	Наименование вещества	Класс опасности	a'	ПДК в воздухе рабочей зоны мг/м ³	Суммарный выброс (М')	М'/ПДК	КОП
0333	Сероводород	2	1,3	0,0080	0,0000046	0,00	0,00
2754	Углеводороды предельные C ₁₂ – C ₁₉	4	0,9	1,0000	0,0009542	0,00	0,00
ИТОГО							0,00

где a' - безразмерная константа, позволяющая отнести степень вредности вещества к вредности сернистого газа.

Так как КОП оказался меньше 10^3 , предприятие относится к 4-ой категории опасности по экологической классификации и проведение детального определения рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере не требуется.

Таким образом, разработанные технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла с использованием гидроциклона являются экологически безопасными.

Выводы

1. Для предложенных технологий определены оптимальные технологические режимы процесса восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел: температура нагрева масла 100 ... 103 °С, деэмульгирование в течение 1 ч, давление входного потока масла 0,04 МПа, отстой после обработки ПАВ – 2 ч, температура ввода присадок: Детерсол-140 - 70 ... 90 °С, ПМА «В-2» - 60 ... 70 °С, ввод масла М-14Г₂ЦС - 75 ... 90 °С, время компаундирования - 3 ч.

2. Установлены оптимальные конструктивные параметры гидроциклона (отношение диаметра к высоте 1 : 5...6, угол наклона входного патрубка - 5°, сечение входного патрубка – прямоугольное, угол конической части 30°, длина диафрагмы, равная 1/2 ... 2,2 длине конической части) и рациональные технологические режимы (давление входного потока масла 0,04 МПа при температуре

90...100 °С, которые обеспечивают степень очистки отработанных масел в пределах 88...92 %.

3. Восстановленные по предлагаемым технологиям масла обладают лучшими противоизносными и противозадирными свойствами (диаметр пятна износа восстановленных масел составляет 0,28 мм, предельная нагрузка 87,6 МПа), чем масло М-10Г₂к (соответственно 0,30 мм и 71,4 МПа).

4. Предложена система показателей оценки качества восстановленного масла, позволяющая объективно и точно оценить эксплуатационные свойства моторного масла и остаточный срок его службы. На изменение основных показателей масла и его противоизносные свойства наибольшее влияние оказывает содержание активных металлов присадок (соответственно 20,6 % по Zn и 34,5 % по Ca).

5. Производственные исследования штатных и восстановленных отработанных моторных масел в двигателях автомобилей КамАЗ показали, что восстановленные масла могут являться полноценным заменителем товарного масла М-10Г₂к. Результаты исследований подтвердили целесообразность увеличения периода смены масел в двигателях автомобилей КамАЗ с 10000 км до 13000 км пробега, обусловленную оценкой предельного состояния масла по содержанию продуктов износа 0,15 г/кг, (с остаточным содержанием в масле активных металлов присадок Ca – 0,05 %, Zn – 0,02 %).

6. В результате экологической экспертизы установлено, что при восстановлении отработанных моторных масел по предлагаемым технологиям с использованием гидроциклона количество выбросов загрязняющих веществ ниже нормативных: предельных углеводородов - в 30 раз, ароматических углеводородов - в 1,7 раза, сероводорода - в 1,3 раза.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

5.1 Общий подход к оценке экономической эффективности

Общий подход к оценке экономической эффективности от внедрения разработанных методов и технических средств повышения эффективного использования отработанных моторных масел основан на том, что внедрение предлагаемых разработок приведет к снижению затрат на использование моторного масла без снижения его качества, высокой рентабельности регенерации отработанных моторных масел, небольшому сроку окупаемости, а также будет способствовать решению экологических проблем.

Эффективность от продления срока службы и использования восстановленных моторных масел рассчитываем на примере среднестатистического автотранспортного предприятия с парком автомобилей КамАЗ в 120 единиц.

5.2 Расчет эффективности от продления срока службы моторного масла

Определим количество моторного масла, потребляемое предприятием при существующей периодичности смены масла.

Средний годовой пробег одного автомобиля составляет 72450 км. Таким образом, при существующей периодичности смены расход масла на один автомобиль, кг/год,

$$Q_3 = \frac{SV}{S_{см}}, \quad (5.1)$$

где S - пробег автомобиля, км/год;

$S_{см}$ - периодичность смены масла, км;

V - объем масла заливаемого в картер двигателя, кг.

$$Q_3 = \frac{72450 \cdot 27,5}{10000} = 199,2 \text{ кг.}$$

Средняя норма долива масел на угар и утечки, по данным автотранспортного предприятия, составляет 2,5 кг в межсменный период:

$$Q_d = \frac{Sq}{S_{см}}, \quad (5.2)$$

где q – количество доливаемого масла, кг.

$$Q_d = \frac{72450 \cdot 2,5}{10000} = 18,1 \text{ кг.}$$

Таким образом, масла на один автомобиль в год требуется:

$$Q_{II} = Q_3 + Q_d, \quad (5.3)$$

$$Q_{II} = 199,2 + 18,1 = 217,3 \text{ кг.}$$

Потребность в масле на весь парк автомашин в год составит:

$$Q_{Г} = Q_{II}n, \quad (5.4)$$

где n – количество автомобилей, ед.

$$Q_{Г} = 217,3 \cdot 120 = 26076 \text{ кг.}$$

При внедрении обоснованного срока смены масла через 13000 км пробега:

$$Q'_3 = \frac{SV}{S'_{см}}, \quad (5.5)$$

где $S'_{см}$ – рекомендуемая периодичность смены, км.

$$Q'_3 = \frac{72450 \cdot 27,5}{13000} = 153,3 \text{ кг.}$$

По результатам исследований норма долива масла на угар и утечки составила 1,2 кг на автомобиль в межсменный период.

$$Q'_d = \frac{Sg}{S'_{см}}, \quad (5.6)$$

где g – норма долива масла на угар и утечки, кг.

$$Q'_d = \frac{72450 \cdot 1,2}{13000} = 6,7 \text{ кг.}$$

С учетом долива, потребность в масле на один автомобиль в год:

$$Q'_{II} = 153,3 + 6,7 = 160 \text{ кг.}$$

Расход масла на весь парк машин:

$$Q'_A = 160 \cdot 120 = 19200 \text{ кг.}$$

Экономическая эффективность:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_C - \mathcal{E}_П, \quad (5.7)$$

где \mathcal{E}_C – затраты на моторное масло при существующей системе периодичности смены моторного масла, руб;

$\mathcal{E}_П$ – затраты на моторное масло при внедрении рекомендуемых сроков смены моторного масла, руб.

$$\mathcal{E}_C = Q_C C, \quad (5.8)$$

$$\mathcal{E}_П = Q'_C C, \quad (5.9)$$

где C – стоимость одной тонны моторного масла, руб.

$$\mathcal{E}_C = 26,076 \cdot 27000 = 704052 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_П = 19,200 \cdot 27000 = 518400 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E} = 704052 - 518400 = 185652 \text{ руб.}$$

Таким образом, при внедрении в автотранспортном предприятии предлагаемой периодичности смены моторного масла, годовой экономический эффект составит 185652 руб. или 6,876 т масла.

Количество образующихся отходов в виде отработанного моторного масла:

$$W_{омм} = Q - G, \quad (5.10)$$

где Q - потребляемое количество моторного масла парком машин, кг;

G - потери масла на угар и утечки на весь парк машин, кг.

При существующей системе смены масла:

$$W_{омм} = 26076 - 2172 = 23904 \text{ кг.}$$

При внедрении обоснованного срока смены масла через 13000 км пробега:

$$W'_{омм} = 19200 - 804 = 18396 \text{ кг.}$$

Таким образом, снижение количества образованных высокотоксичных отходов моторного масла при внедрении обоснованных сроков смены составит:

$$W = W_{омм} - W'_{омм}, \quad (5.11)$$

$$W = 23904 - 18396 = 5508 \text{ кг,}$$

или

$$W = \frac{5508 \cdot 100}{23904} = 23 \text{ \%}$$

5.3 Расчет эффективности при использовании восстановленного моторного масла

Годовую эффективность определим, исходя из результатов эксплуатационных исследований восстановленных отработанных масел.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_T - \mathcal{E}_B, \quad (5.12)$$

где \mathcal{E}_T – затраты при использовании штатного масла, руб.;

\mathcal{E}_B – затраты при использовании восстановленного масла, руб.

Себестоимость восстановленного масла:

$$\mathcal{E}_B = Z_{\text{ПО}} + H + M + A + C_{\text{ЭЛ}}, \quad (5.13)$$

где $Z_{\text{ПО}}$ – заработная плата рабочих при восстановлении масла, руб.;

H – налоговые отчисления, руб.;

M – затраты на материалы для восстановления масел, руб.;

A – амортизационные отчисления, руб.;

$C_{\text{ЭЛ}}$ – затраты на электроэнергию, руб.

Основная заработная плата:

$$Z_{\text{ПО}} = TCK, \quad (5.14)$$

где T – трудоемкость восстановления масла, чел.·ч;

C – тарифная ставка рабочих, руб.;

$K = 1,03$ – коэффициент, учитывающий размер доплат, руб.

$$Z_{\text{ПО}} = 81,84 \cdot 76,19 \cdot 1,03 = 6422,45 \text{ руб.}$$

Налоговые отчисления:

$$H = 0,26Z_{\text{ПО}}, \quad (5.15)$$

$$H = 6422,45 \cdot 0,26 = 1669,83 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$A = \frac{C_{\text{ОБ}}}{C_{\text{л}}}, \quad (5.16)$$

где $C_{\text{ОБ}}$ – стоимость оборудования для восстановления масла, руб.;

$C_{\text{л}}$ – срок эксплуатации, лет.

$$A = \frac{68200}{8} = 8525 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы для восстановления масла:

$$M = QC, \quad (5.17)$$

где Q – количество масла М-14Г₂ЦС, т;

C – стоимость одной тонны масла, руб.

$$M = 13,2 \times 27800 = 366960 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию:

$$C_{эл} = FK_{эл}, \quad (5.18)$$

где F – затрачиваемая электроэнергия, кВт;

$K_{эл}$ – стоимость электроэнергии, руб./кВт.

$$C_{эл} = 1056 \cdot 3,15 = 3326,4 \text{ руб.}$$

Тогда затраты при использовании восстановленного масла:

$$\mathcal{E}_B = 6422,45 + 1669,83 + 8525 + 366960 + 3326,4 = 386903,68 \text{ руб.}$$

Количество образующихся отходов с учетом потерь на угар, утечку, потери при транспортировке и сливо-наливных операциях составит:

$$W_{омм} = Q - G, \quad (5.19)$$

$$W_{омм} = 26076 - 1424,4 = 24651,6 \text{ кг.}$$

или

$$W_{омм} = \frac{24651,6 \cdot 100}{26076} = 94,5 \%$$

Годовой экономический эффект составит разницу между затратами при использовании штатного и восстановленного масла

$$\mathcal{E}_r = 704052 - 386903,68 = 317148,32 \text{ руб.}$$

Общий экономический эффект от внедрения рекомендуемых сроков смены и использования восстановленных моторных масел составит:

$$\mathcal{E} = 185652 + 317148,32 = 502800,32 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости разработанных мероприятий

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

$$C_{ок} = \frac{68200}{502800,32} = 0,14 \text{ года.}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Экономическое обоснование исследований

Наименование	Вариант		Разница -/+
	существующий	предлагаемый	
При увеличении продолжительности срока службы			
Расход масла, кг:			
на один автомобиль	217,3	160	- 57,3
на парк машин	26076	19200	- 6876
Затраты на масло, руб.:			
на один автомобиль	5867,1	4320	- 1547,1
на парк машин	704052	518400	- 185652
Годовой экономический эффект, руб.	-	185652	-
Образование отходов, т	23,904	18,396	- 5,508 (23 %)
При использовании восстановленного масла			
Стоимость 1 т масла, руб.	27000	14187	- 12813
Затраты на масло, руб.	704052	386903,68	- 317148,32
Годовой экономический эффект, руб.	-	317148,32	-
Общий экономический эффект, руб.	-	502800,32	-
Образование отходов, т	26,076	1,424	- 24,652 (94,5 %)
Срок окупаемости, лет	-	0,14	-

Таким образом, внедрение в масштабах одного предприятия разработанных мероприятий позволит снизить образование высокотоксичных отходов при увеличении продолжительности срока службы на 23 %, а при использовании восстановленных моторных масел на 94,5 %.

5.4 Рекомендации производству по использованию и восстановлению моторных масел

На основании результатов проведенных исследований было установлено, что разработанные технологии позволяют восстанавливать отработанные моторные масла, причем конечный продукт не уступает по эксплуатационным свойствам

вам штатному маслу М-10Г₂к. Согласно разработанному обобщающему коэффициенту качества срок службы штатных и восстановленных моторных масел в двигателях автомобилей КамАЗ может быть увеличен до 13000 км пробега.

При использовании разработанных технологий восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел предприятия АПК могут сократить затраты на приобретение свежих товарных масел в 1,5...2 раза, снизить образование нефтесодержащих отходов в 6...8 раз, обеспечить собственные потребности в моторных маслах требуемого качества при затратах в пределах 20...50 % от стоимости товарного масла.

Использование для оценки работающего в двигателях масла обобщающего показателя качества масла позволяет в любой момент оценить качество моторного масла и дать заключение о его ресурсе. Это позволит более рационально использовать его в двигателях, не допускать слива работоспособного масла или работу в двигателе непригодного к эксплуатации масла, а также увеличить межремонтный ресурс двигателей и получить экономию моторных масел до 15 % в год.

При этом экологическое давление на окружающую среду снижается на 18...30 % в зависимости от состояния отработанного масла, поступающего на регенерацию, так как разработанные технологические режимы не вызывают термического разложения масла и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В предлагаемых технологиях не используются коагулянты, утилизация которых связана со значительными трудностями.

Конструктивное исполнение разработанной установки предусматривает оперативную смену режимов технологического процесса, что позволяет восстанавливать не только отработанные моторные, но и индустриальные и трансмиссионные масла. Предлагаемые технологии имеют малые энерго- и трудозатраты, низкую себестоимость восстановления масел, являются безотходными и экологически безопасными. Предлагаемая установка с использованием в ней разработанных технологий восстановления эксплуатационных свойств масел в наибольшей степени удовлетворяет потребностям предприятий АПК, автотранспортных предприятий и организаций, занимающихся утилизацией нефтяных отходов, что подтверждено актами внедрений.

Выводы

Экономическая эффективность предлагаемых технологий и устройств для их осуществления складывается от снижения количества токсичных отходов (на 94 %), сокращения выбросов в атмосферу вредных веществ (сероводорода в 1,7 раза, предельных и ароматических углеводородов - в 30 раз от разрешенной ПДК) при восстановлении масла, и от сокращения потребности в моторных маслах. Общий экономический эффект составляет 502800,32 руб. при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений 0,14 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны экологически безопасные и безотходные технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел с использованием гидроциклона новой конструкции:

- вводом пакета присадок, включающая нагрев отработанного масла с деэмульгированием, очистку его в гидроциклоне, обработку поверхностно-активными веществами с последующим отстаем, и последовательный ввод в очищенное масло присадок Детерсол-140 и ПМА «В-2» при постоянном перемешивании.

- компаундированием с маслом М-14 Г₂ЦС, включающая нагрев отработанного масла с деэмульгированием, очистку его в гидроциклоне, обработку поверхностно-активными веществами с последующим отстаем, компаундирование отстоявшегося масла с маслом М-14 Г₂ЦС.

2. Установлена теоретическая зависимость качества очистки масла в гидроциклоне от давления входного потока и глубины погружения разделительной диафрагмы в поток масла, которая позволяет определить пространственно-геометрические координаты поверхности зоны разделения потока масла на фракции и отделения частиц. Предложены аналитические выражения для определения конструктивных параметров гидроциклона через радиус поверхности нулевой осевой скорости, являющейся поверхностью граничного зерна, что позволяет определить основные параметры гидроциклона для обеспечения требуемого качества очистки масла.

3. Обоснована конструкция гидроциклона для очистки отработанных масел от нерастворимых примесей и воды, который содержит корпус цилиндрической формы, коническую диафрагму, приспособления для подвода очищаемого и очищенного масла. Приспособление для подвода очищаемого масла выполнено в виде патрубка прямоугольного сечения, установленного тангенциально к корпусу в его верхней части с наклоном к горизонтальной плоскости. На корпусе установлена крышка цилиндрической формы. Диафрагма снабжена наружным выступом в виде кольца для ее крепления к корпусу и установлена под крышкой

вдоль оси корпуса. Приспособление для отвода очищенного масла установлено тангенциально к крышке. В нижней части корпуса установлен сливной патрубок.

4. Установлены оптимальные конструктивные параметры гидроциклона (отношение диаметра к высоте 1 : 5...6, угол наклона входного патрубка 5° , сечение входного патрубка – прямоугольное, угол конической части 30° , длина диафрагмы равна $1/2 \dots 2,2$ длине конической части) и рациональные технологические режимы (давление входного потока масла 0,04 МПа при температуре 90...100 °С), которые обеспечивают степень очистки отработанных масел в пределах 88 ... 92 %.

Определены оптимальные технологические режимы процесса восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел для разработанных технологий: температура нагрева масла 100...103 °С, деэмульгирование в течение 1 ч, давление входного потока масла 0,04 МПа, отстой после обработки ПАВ – 2 ч, температура ввода присадок: Детерсол-140 - 70...90 °С, ПМА «В-2» - 60...70 °С, температура ввода масла М-14Г₂ЦС - 75...90 °С, время компаундирования - 3 ч.

5. Установлено, что восстановленные по предлагаемым технологиям масла обладают лучшими противоизносными и противозадирными свойствами (диаметр пятна износа восстановленных масел составляет 0,28 мм, предельная нагрузка 87,6 МПа), чем масло М-10Г₂к (соответственно 0,30 мм и 71,4 МПа). На изменение основных показателей масла и его противоизносные свойства наибольшее влияние оказывает содержание активных металлов присадок (соответственно 20,6 % по Zn и 34,5 % по Ca).

Производственные исследования штатных и восстановленных отработанных моторных масел в двигателях автомобилей КамАЗ показали, что восстановленные масла могут являться полноценным заменителем товарного масла М-10Г₂к. Результаты исследований подтвердили целесообразность увеличения периода смены масел в двигателях автомобилей КамАЗ с 10000 км до 13000 км пробега, обусловленную оценкой предельного состояния масла по содержанию продуктов износа 0,15 г/кг, (с остаточным содержанием в масле активных металлов

присадок Са – 0,05 %, Zn – 0,02 %), что позволит сократить образование экологически опасных отходов на 23 %.

Экономическая эффективность предлагаемых технологий и устройств для их осуществления складывается от снижения количества токсичных отходов (на 94 %), сокращения выбросов в атмосферу вредных веществ (сероводорода в 1,3 раза, предельных и ароматических углеводородов - в 30 раз от разрешенной ПДК) при восстановлении масла. Общий экономический эффект составляет 502800,32 руб., срок окупаемости - 0,14 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адельшин, А.Б. Обезвоживание нефти с применением гидроциклонов / А.Б. Адельшин Н.В. Иванов // Нефтяное хозяйство. – 1976. - №8. - С. 45 - 47.
2. Автомобили КамАЗ. Техническое обслуживание и ремонт. М.: 1987 - 38 с.
3. Анисимов, И.Г., Бадыштова, К.М., Бнатов, С.А. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости // Ассортимент и применение. М.: Изд. центр Техинформ, 1999. - 596 с.
4. Акопов, М.Г. Применение гидроциклонов при обогащении углей / М.Г. Акопов, В.Н. Классен // М.: Госгортехиздат. - 1960. – 128 с.
5. Акопов, М.Г. Основы обогащения углей в гидроциклонах / М.Г. Акопов, В.Н. Классен // М.: Недра. - 1967. – 178 с.
6. Арабян, С.Г., Белянчиков, Г.П. Методы испытаний масел групп Б, В, Г на установке УИМ-6-НАТИ // Труды ВНИИ по переработке нефти, 1977.,- № 25, - С. 44 - 49.
7. Аронов, Д.М., Максимов, Е.М. Влияние эксплуатационных режимов работы автомобиля на изменение физико-химических свойств работавших масел. //В кн.: Эксплуатация – технические свойства и применение автомобильных топлив, смазочных материалов и спецжидкостей, 1986. –вып. 5. – С. 194 - 205.
8. Арциомов, О.М., Морозов, Г.А. Очистка масел. Л.: Машиностроение, 1972-190 с.
9. А.с. № 242486. Ю.Я. Подольский, И.Г. Суркан, А.А. Писарев и др. Прибор для испытания антифрикционных, противоизносных и противозадирных свойств смазочных материалов. Оpubл. в Б.И., 1975. - №3.
10. А.с. № 1043506А. И.В. Крагельский, Н.В. Гитис. Способ контроля смазочной способности смазочных материалов. Оpubл. в Б.И., 1975. - № 14.
11. А.с. № 268734. В.П. Баранник, Ю.В. Бондарчук. Способ определения термоокислительной стабильности масел. Оpubл. в Б.И., 1988. - № 4.
12. Барский, В.Г. О методе расчета производительности гидроциклона / В.Г. Барский // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия.- 1963. - № 6. – С. 51-63.

- 13.Барский, В.Г. Критерии оптимизации разделительных процессов / В.Г. Барский, И.Н. Плаксин – М.: Наука. – 1967. –118 с.
- 14.Безверхий, А.А. О закономерностях течения жидкости в гидроциклоне / А.А. Безверхий, С.М. Ходос // Кокс и химия.- 1973. - № 2. – С. 36 - 38.
- 15.Болдырев, Ю.Н. Труды Калининградского технологического института рыбной промышленности и хозяйства / К вопросу о непрерывной очистке неоднородных жидких сред на гидроциклонах. Вып. 18. – 1963. – С. 14 - 18.
- 16.Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Недра, 1982. – 350 с.
- 17.Бонет, М. Разделение двух жидкостей в гидроциклоне / М. Бонет.- М.: ВИНТИ, 1974. – 30 с.
- 18.Борзенков, В.А., Воробьёв, М.А., Кузнецов, Н.А., Никифоров, А.Н. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники. М.: Химия, 1988 – 288 с.
- 19.Бухтер, А.И., Холин, И.Н., Непогодьев, А.В. Ужесточение требований к качеству отработанных масел – сырья регенерации // Химия и технология топлив и масел. – 1986 - № 2.- С. 54 - 59.
- 20.Вернадский, В.И. Живое вещество. М., 1978 – 360 с.
- 21.Виленкин, А.В. Масла для шестеренчатых передач. М., 1987 - 72 с.
- 22.Виппер, А.Б. Зарубежные масла и присадки. М.: Химия, 1981- 187 с.
- 23.Вопросы трения и проблемы смазки. М., 1968 – 328 с.
- 24.Генкин, М.Д., Гринкевич, В.К. Динамические нагрузки в передачах с косозубыми колесами. М. 1961 - 56 с.
- 25.Грамолин, А.В. , Кузнецов, А.С. Топливо, масла, смазки, жидкости и материалы для эксплуатации и ремонта автомобилей. М.: Машиностроение, 1995 - 64 с.
- 26.Гаркунов, Д.Н. Триботехника: Пособие для конструктора. М.: Машиностроение, 1999 - 329 с.
- 27.Гаркунов, Д.Н. Триботехника. – М.: Издательство МСХА, 2001.- 404 с.
- 28.Государственные стандарты СССР. Нефтепродукты. Методы испытаний. М. 1977

- 29.ГОСТ 4.24. Система показателей качества продукции. Масла смазочные. Номенклатура показателей.
- 30.ГОСТ 17479.1-85. Обозначение нефтепродуктов. Масла моторные.
- 31.ГОСТ 33-2000. Нефтепродукты. Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости.
- 32.ГОСТ 4333-87. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в открытом тигле.
- 33.ГОСТ 11362-96. Присадки и масла с присадками. Определение кислотных и щелочных чисел методом потенциометрического титрования.
- 34.ГОСТ 13538-68. Присадки и масла с присадками. Метод определения присадок в маслах.
- 35.ГОСТ 20287-81. Нефтепродукты. Метод определения температуры застывания.
- 36.Григорьев, М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях/ М.А. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1970. – 270 с.
- 37.Григорьев, М.А. Обеспечение надежности двигателей / М.А. Григорьев, В.А. Долецкий. – М.: Изд. стандартов, 1978. – 324 с.
- 38.Григорьев, М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
- 39.Гутман, Б. М. Влияние разгрузочного отношения на количественные и качественные показатели работы гидроциклона при очистке нефти от минеральных примесей / Б.М. Гутман, А.М. Мустафьев // Нефть и газ. – 1966 - № 3- С. 25 - 31,
- 40.Гутман, Б. М. К вопросу о производительности элементарных гидроциклонов при очистке нефти от механических примесей / Б.М. Гутман, К.А. Ибатулов // Нефть и газ. – 1966.- № 3 - С. 31 - 37.
- 41.Гутман, Б. М. Расчет гидроциклонных установок для нефтедобывающей промышленности / Б.М. Гутман, В.П. Ершов, А.М. Мустафьев // Баку: Азернешр, 1983 - № 3 - 109 с.
- 43.Денисов, В.Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта. СПб., 2003. – 107 с.

44. Дриссен, М.Ж. Теория турбулентного потока в гидроциклоне // В кн.: Применение гидроциклонов на зарубежных обогатительных фабриках / М.Ж. Дриссен. – Тр. Института механообр. – 1961. – вып. 130. – С. 62 - 77.
45. Дьячков, А.К. Трения, износ и смазка в машинах М.: 1958 - 79 с.
46. Заславский, Ю.С., Заславский, Р.Н. Механизм действия противоизносных присадок к маслам. М., 1978 – 164 с.
47. Закупра, В.А., Михайлов, Ю.А., Клименко, П.Л. и др. Контроль качества алкилсалицилатных присадок типа Детерсол к маслам // Химия и технология топлив и масел. - 1986 -№ 6. – С. 36 – 42.
48. Зайцев, В.И. О критериях подобия процессов в гидроциклонах // Известия ВУЗов СССР // Нефть и газ. Баку, 1962 - № 10. – С. 112 – 118.
49. Измайлова, А.Н. Экспериментальное исследование работы гидроциклонов на тонкодисперсных суспензиях / А.Н. Измайлова // - Химическое и нефтяное машиностроение, 1976. - № 5. – С. 15 - 18.
50. Исследование смазочных материалов при трении. М.: Наука, 1981 - 144 с.
51. Исследование и разработка рекомендаций для проектирования установок по очистке эмульсии металлорежущих станков // Отчет по научно-исследовательской работе // Днепродзержинский индустриальный институт им. М.И.Арсеничева. Днепродзержинск, 1975 – 234 с.
52. Итинская, Н.И. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. М., 1969 – 112 с.
53. Итинская, Н.И. Кузнецов, Н.А. Автотракторные эксплуатационные материалы. М.: Агропромиздат, 1987 - 270 с.
54. Камерон, А. Теория смазки в инженерном деле. М.: Машгиз, 1962 - 294 с.
55. Карасик, И.И. Методы трибологических испытаний в национальных стандартах стран мира. М.: Центр Наука и техника, 1993 - 321 с.
56. Картошкин, А.П., Манджиев, Ш.Т. Дозированный ввод присадок в регенерируемые масла // Теория и практика повышения качества и рационального использования масел, смазочных материалов и технических жидкостей // Сборник трудов конференции. СПб.: Академия Прикладных Исследований, 2007. – С. 204 - 209.

- 57.Картошкин, А.П., Филимонов, В.А. и др. Результаты экспериментальных исследований маслянистости гидравлических и трансмиссионных масел (ГИТМ) при их регенерации // Теория и практика повышения качества и рационального использования масел, смазочных материалов и технических жидкостей // Сборник трудов конференции. СПб.: Академия Прикладных Исследований, 2007. – С. 209 - 217.
- 58.Картошкин, А.П. Экологическая опасность сброса отработанных смазочных масел // Известия СПб ГАУ / СПб ГАУ, - СПб, 2005. - № 2 – С. 82 - 85.
- 59.Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии/ А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1978. – 752 с.
- 60.Каталог продукции ЛУКОЙЛ. 2005 - 110 с.
- 61.Кирхберг, Г. Обогащение угля в гидроциклонах / Г. Кирхберг. – М., 1960- 61 с.
- 62.Коваленко, В.П. Повышение эффективности обезвоживания нефтепродуктов / В.П. Коваленко, Е.Н. Жулдыбин, Л.Е. Любимцев. – Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья., 1982. –№ 4 – С. 27 - 30.
- 63.Коваленко, В.П. Загрязнение и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – М.: Химия, 1978. – 270 с.
- 64.Коваленко, В.П. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. – М.: Химия, 1982. – 270 с.
- 65.Коваленко, В.П. Загрязнение и очистка нефтяных масел. М.: Химия. 1978 - 302 с.
- 66.Косой, Г.М. Расчет скорости движения жидкости в гидроциклоне по графоаналитическому методу // Жур. Обогащение руд., 1965 - № 2 – С. 20-24.
- 67.Котова, Г.Г., Уланова, М.Ф., Фиалко, М.М., Огурцова, С.М.. Срабатываемость присадок в моторных маслах // Химическая промышленность, 1986 – С. 84 - 88.
- 68.Климов, К.И. Кичкин, Г.И. Трансмиссионные масла. М., 1970 – 162 с.
- 69.Кринер, Г. Гидроциклоны // В кн.: Применение гидроциклонов при обогащении угля. – М.: Госгортехиздат, 1960 - С. 7 - 30.
70. Кича, Г.П. Новые стохастические модели процесса очистки горюче-смазочных материалов в ДВС // Двигателестроение -№ 11- 1989.-С. 48 - 56.

71. Кузнецов, А.А. Исследование влияния параметров конструкции и режимных факторов на показатели разделения суспензий в гидроциклонах. Дис. канд. техн. наук – М.: МИХМ. 1984, 1980.,- 184 с.
72. Кутепов, А.М., Терновский, Н.Г. Теория и практика гидроциклонирования // Химическая промышленность- № 8.- 1984 - С. 56 - 63.
73. Кутепов, А.М., Терновский, И.Г., Кузнецов, А.А. Гидродинамика гидроциклонов // Жур. Прикладной химии. 1980. – т. 53 - С. 2676 - 5681.
74. Кутепов, А.М., Терновский, И.Г. Определение расходных характеристик гидроциклонов, работающих в режиме осветления суспензий // Жур. Химическая промышленность, 1972. – №5 - С. 50 - 56.
75. Ле Хонг Тхань. Разработка показателей и технических средств для оценки и восстановления моторного масла. Дис. канд. техн. наук. Ульяновск, 1988.
76. Любарский, И.М. Повышение износоустойчивости тяжело нагруженных шестерен. Динамика структурных и фазовых превращений при тяжелых условиях трения. М., 1965 - 117 с.
77. Матвеевский, Р.М. Температурный метод оценки предельной смазочной способности машинных масел. АН СССР. 1956 - 143 с.
78. Матвеевский, Р.М. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки.- М., 1978 - 191 с.
79. Методы оценки противозадирных и противоизносных свойств смазочных материалов. М.: Наука, 1969 - 230 с.
80. Моторные масла для автотракторных двигателей // НПИКЦ. 2004. – 118 с.
81. Методики и инструкции по проведению анализов для теплотехнических лабораторий. М.: Транспорт, 1968 - 208 с.
82. Методические указания, методика выбора и оптимизация контролируемых параметров технологических процессов. РДМУ 109-77. М.: Издательство стандартов, 1978 - 64 с.
83. Мещанинов, С.М., Герсатов, В.Н. Новые масла и присадки для зубчатых передач. Л., 1964 - 39 с.

84. Модер, И.И., Дальстром, Д.А. Разделение в гидроциклоне мелкоизмельченных твердых материалов с близкими значениями удельных весов // Химия и химическая технология. М.: Изд. Иностранная литература, 1953 – 102 с.
85. Морозов, Г.А., Арциомов, О.Н. Очистка масел в дизелях. Л.: Машиностроение, 1971 - 190 с.
86. Мустафаев, А.М., Гутман, Б.М. Теория и расчет гидроциклона. МААРИФ. Баку, 1969 - 74 с.
87. Мустафьев, А.М. Теория и расчет гидроциклона. Баку.: РИФ, 1969. – 172 с.
88. Мустафьев, А.М., Гутман, Б.М., Караев, У.А. и др. Применение гидроциклонных установок в добыче нефти. М: ВНИИОЭНГ, 1979. – 75 с.
89. Мустафьев, А.М., Гутман, Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М.: Недра, 1981. – 260 с.
90. Муха, Т.М. Приводы машин. Справочник. Л.: 1975 – 162 с.
91. Найдено, В.В. применение математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах. – Горький.: Волго-вятское кн. изд., 1976 – 287 с.
92. Нефтепродукты. Методы испытаний. Часть 1 . 1987.
93. Непомнящий, Е.А., Павловский, В.В. Расчет поля скоростей в гидроциклоне на основе ламинарного аналога осредненного турбулентного течения. – теоретические основы химической технологии – 1979 – т. 18. № 5 – С. 787 - 790.
94. Новое в теории трения. Сборник статей. М., 1966 – 82 с.
95. Огнев, О.Г. Оценка адаптивных свойств технической оснащённости земледелия. –СПб.: СПбГАУ, 2005. – 175 с.
96. Огнев, О.Г. Критерии и методы оценки адаптивных свойств технической оснащённости земледелия к условиям функционирования. Дисс. д.т.н.. –СПб., 2005. – 401 с.
97. Остриков, В. В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств // Дис. канд. техн. наук. Саратов, 2000.
98. Папок, К.К. Смазочные масла. М.: Воениздат, 1962. - 255 с.

99. Папок, К.К. Химмотология топлив и смазочных масел. М.: Воениздат, 1980.- С. 192.
100. Пилов, П.И. Турбулентная модель гидроциклона // Жур. Обогащение полезных ископаемых – 1980. - № 26 – С. 9 - 15.
101. Папок, К.К. Рагозин, Н.А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. М.: Химия, 1975 - 392 с.
102. Порохов, В.С. Трибологические методы испытания масел и присадок. М.: Машиностроение, 1983.- 183 с.
103. Поваров, А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: Недра, 1978.- 232 с.
104. Поваров, А.И. Гидроциклоны. М.: Госгортехиздат, 1961.- 266 с.
105. Поваров, А.К. Гидроциклоны. М.: Госгортехиздат, 1961.- 256 с.
106. Полканов, И.П. Основы использования машин в сельском хозяйстве. Свердловск, 1973.- 129 с.
107. Полканов, И.П., Холманов, В.М. Применение моторных масел и смазочных материалов в сельском хозяйстве. Ульяновск, 1985. – 74 с.
108. Радчик, В.С. Смазка машин. Киев, 1973. – 120 с.
109. Режимы работы механизмов трансмиссии автомобиля и пути снижения их нагруженности. М.: Отделение научной и техн.– эконом. Информации, 1972.- 154 с.
110. Салова, Т.Ю., Громова, Н.Ю., Шкрабак, В.С., Курманов, Г.А. Основы экологии // Аудит и экспертиза техники и технологий. СПб., М., Краснодар, 2004. – 335 с.
111. Салова, Т.Ю. Экологический мониторинг окружающей среды при эксплуатации автотракторной техники. СПб., 1998. – 80 с.
112. Соколова, Я.И. Влияние различных способов сжигания топлива в газомазутных котлах на образование полициклических ароматических углеводородов // Узбекс. хим. журн. Ташкент, 1985. – С. 17 - 19.
113. Соколов, В.И. Центрифугирование. М.: Химия, 1976. – 407 с.
114. СТО ААИ 003-98. Масла моторные для автомобильных двигателей. Классификация. Обозначение и технические требования.

115. Смазочные материалы: антифрикционные и противоизносные свойства// Методы испытаний. М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
116. Теория смазочного действия и новые материалы. М., 1965 – 42 с.
117. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ // Под ред. Белого А.В. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон Пресс, 1993. – 164 с.
118. Трение, изнашивание и смазка // Справочник М. 1978.- 399 с.
119. Трение, смазка и износ деталей машин // Сб.статей. Киев.1961.- 118 с.
120. Трение и износ в машинах. М., 1954.- 204 с.
121. Трение, износ и смазочные материалы // Справочник 2т. М., 1985.- 162 с.
122. Трение и граничная смазка. М., 1953.- 96 с.
123. Технология и организация диагностирования тракторов с применением спектрального анализа масел. М.: ГОСНИТИ, 1979.- 95 с.
124. Топливо-смазочные материалы для строительных машин. Справочник. М.: Стройиздат, 1988 - 270 с.
125. Улучшение качества смазочных масел и присадок. М.: Химия, 1976. - 255 с.
126. Усов, П.В. Зубчатые передачи с цилиндрическими и коническими колесами с прямым и косым зубом. М., 1961. - 210 с.
127. Уханов, А. П. Использование нефтепродуктов, технических жидкостей и ремонтных материалов при эксплуатации мобильных машин. Самара: СГСХА, 2002. – 292 с.
128. Чичинадзе, А.В., Браун, Э.Д. Основы трибологии // 2-е изд., М.: Машиностроение, 2001.- 134 с.
129. Чередниченко, Г.И. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов. Л.: 1986.- 182 с.
130. Черножуков, Н.И., Крейн, С.Э., Лосиков, Б.В. Химия минеральных масел. М.: Гостоптехиздат, 1959.- 164 с.
131. Чулков, П. В., Чулков, И. П. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология. М.: Политехника, 1995.- 305 с.
132. Шашкин, П.И., Брай, И.В. Регенерация отработанных нефтяных масел. М.: Химия, 1970.- 304 с.

133. Шаронов, Г.П., Бербер, В.А., Хорошев, С.В. Оптимальные режимы центробежной очистки рабочих жидкостей // Жур. Техника в сельском хозяйстве, 1988. - № 4- С. 61 - 63.
134. Шипунова, Н.С. Методы расчета гидроциклонов. М.: ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1971. – 85 с.
135. Шестов, Р.Н. О воздушном столбе в гидроциклонах // Известия ВУЗов СССР // Пищевая технология, 1965.- № 2- С. 156 - 159.
136. Шестов, Р.Н. Гидроциклоны. Л.: Машиностроение, 1967.- 80 с.
137. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.
138. Шор, Г.И. Механизм действия и экспресс-оценка качества масел и присадок. ЦНИИТ, 1996. – 64 с.
139. Щербаков, В.И. К расчету тангенциальных скоростей в гидроциклонах.// Изв. ВУЗов // Строительство и архитектура, 1976. - № 6 – С. 118 - 128.
140. Шишков, И.Н., Белов, В.Б. Авиационные горюче-смазочные материалы и специальные жидкости. М.: Транспорт, 1979.- 247 с.
141. Эрих, В.Н., Расина, М.Г., Рудин, М.Г. Химия и технология нефти и газа. Л.: Химия, 1972.- 463 с.
142. Якуба, А.Р., Сажин, Б.С. и др. Оценка эффективности улавливания пыли циклонами и вихревыми аппаратами // Химическая промышленность, 1984.- № 7 - С. 431 - 433.
143. ASTM-Standard on Petroleum Products. Philadelphia, 1966. – 108 p.
144. Boner, C.J. Gear and transmission Lubricants. London:, Press Reliz, 2001. – 98 p.
145. Klamann, D. Lubricants and Related Products. Weinheim Deerfield Beach Florida, 1988.- 488 p.
146. Significance of Test for Petroleum ASTM. STP 7c. Philadelphia. 1977. – 216 p.
147. Hillard, J.C., G.S.Springer. Fuel Economiin Road Vehicles Powered by Spark Ignition Engines. Plenum Press New York and London, 1988. - 600 p.

Приложение А

Определение координаты нулевой поверхности

№ сечения	R	z	h	C	r	v_z
	Радиус гидроциклона, м	Координата частицы по высоте гидроциклона, м	Положение сечения по высоте гидроциклона, м	Зависимость производительности от высоты	Радиус сечения, м	Осевая скорость частицы, м/с
I	0,010	0,235	0,265	0,070	0,010	-0,6473
					0,009	-1,3450
					0,008	-1,6819
					0,007	-1,7551
					0,006	-1,6424
					0,005	-1,4147
					0,004	-1,1287
					0,003	-0,8254
					0,002	-0,5296
					0,001	-0,2534
II	0,015	0,185	0,215	0,047	0,015	-6,4570
					0,013	-1,4270
					0,011	-0,3139
					0,009	-0,3905
					0,007	0,2728
					0,005	0,2992
					0,003	0,3937
					0,001	0,1089
III	0,020	0,135	0,165	0,035	0,020	-5,8887
					0,017	-2,6971
					0,014	-0,0634
					0,011	0,6868
					0,008	0,7259
					0,005	0,5158
					0,002	0,6139
IV	0,025	0,085	0,115	0,028	0,025	-28,1770
					0,022	-16,0496
					0,019	-4,4073
					0,016	-2,6003
					0,013	2,1980
					0,010	1,8020
					0,007	1,2636
					0,004	0,6603
					0,001	0,1492

Приложение Б

Значения основных геометрических параметров гидроциклона по исследуемым сечениям при высоте гидроциклона $H+H_1 = 0,03$ м, радиусе гидроциклона $R = 0,012$ м, радиусе воздушного столба $r_0 = 0,007$ м, углу конусности $\alpha = 5^\circ 2'$

h	z	β	r	C	R
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,046
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,044
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,042
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,040
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,038
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,036
0,010	0,040	100°	0,046	0,001	0,034
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,036
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,034
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,032
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,030
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,028
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,026
0,070	0,130	110°	0,036	0,020	0,024
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,024
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,023
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,022
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,021
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,020
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,019
0,180	0,240	120°	0,024	0,030	0,018

Приложение В

Зависимость степени очистки масла от давления входного потока и длины погружения разделительной диафрагмы в поток масла

Длина диафрагмы, мм	Давление входного потока, МПа			
	0,02	0,04	0,06	0,08
Гидроциклон №1				
50	0,1294	0,0512	0,1360	0,1238
Гидроциклон №2				
86,8	0,0876	0,1128	0,1165	0,1087
96,8	0,1074	0,0523	0,0803	0,1094
Гидроциклон №3				
105,8	0,0712	0,0416	0,0738	0,0604
136,8	0,0721	0,0183	0,0404	0,0896
142,8	0,0863	0,0528	0,0654	0,0739

Приложение Г

Результаты исследований восстановленных масел и штатного масла М-10Г₂к на четырехшариковой машине трения (противоизносных свойств, давление сваривания $P_{св}$, давление задира $P_{кр}$). Время опыта 1ч при нагрузке в трибоузле $P = 198 \text{ Н}$

Наименование показателей	Наименование масла		
	Восстановленное масло НС1	Восстановленное масло с М-14Г ₂ ЦС	Штатное М-10Г ₂ к
Диаметр пятна износа Д, мм	0,31	0,28	0,30
$P_{кр}$, МПа	10,6	12,6	10
$P_{св}$, МПа	27-30	29,9	21,1
I_3 , усл.ед.	48	55	46

Приложение Д

Результаты исследований противоизносных и противозадирных свойств восстановленных масел и штатного масла М-10Г₂к на машине трения СМТ-1 в парах трения сталь-бронза, сталь-чугун

Показатели	Нагрузка, Н	Тип масла		
		Масло, восстановленное НСІ	Масло, восстановленное М-14Г ₂ ЦС	Штатное масло М-10Г ₂ к
1	2	3	4	5
Сталь-бронза				
Износ $a_{и}$, мм	100	0,73	0,78	0,75
Коэффициент трения		0,154	0,125	0,075
Давление Р, МПа		14	14	12
Износ $a_{и}$, мм	200	0,87	0,86	0,85
Коэффициент трения		0,095	0,083	0,075
Давление Р, МПа		26	26	22
Износ $a_{и}$, мм	300	1,02	1,00	1,02
Коэффициент трения		0,102	0,095	0,075
Давление Р, МПа		28	28	31
Износ $a_{и}$, мм	400	1,27	1,25	1,07
Коэффициент трения		0,125	0,090	0,053
Давление Р, МПа		32	32	37
Износ $a_{и}$, мм	500	1,54	1,96	1,15
Коэффициент трения		0,144	0,128	0,050
Давление Р, МПа		32	26	42
Износ $a_{и}$, мм.	600	-	-	1,62
Коэффициент трения		-	-	0,071
Давление Р, МПа		-	-	38
Р пред., МПа		32,7	32	53,3
Сталь-чугун				
Износ $a_{и}$, мм	100	0,15	0,15	0,5
Коэффициент трения		0,25	0,25	-
Давление Р, МПа		66	65	20

Продолжение приложения Д

1	2	3	4	5
Износ $a_{и}$, мм	200	0,22	0,22	0,54
Коэффициент трения		0,17	0,17	-
Давление Р, МПа		80	80	35
Износ $a_{и}$, мм	300	0,37	0,38	0,60
Коэффициент трения		0,14	0,13	-
Давление Р, МПа		85	86	50
Износ $a_{и}$, мм	400	0,5	0,5	0,64
Коэффициент трения		0,15	0,14	-
Давление Р, МПа		80	78	60
Р пред., МПа		80	87,6	71,4

Приложение Ж

Изменение кинематической вязкости масла исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, мм²/с

Масло	группа авто-мобилей	Пробег, км														
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ к	1	11,38	11,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,7	12,9	13,1	14,1
	2	11,38	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	12,0	12,1	12,1	12,4	12,9	13,4	13,9	14,5
	3	11,38	11,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,8	12,0	12,1	12,3	12,8	13,3	13,8	14,0
	ср. знач.	11,38	11,6	11,7	11,7	1,7	11,7	11,7	11,9	12,0	12,1	12,3	12,8	13,2	13,6	14,2
Масло, восстановленное М-14Г ₂ ЦС	1	11,52	11,68	11,78	11,98	12,2	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,4	13,4	13,6
	2	11,52	11,72	11,82	12,1	12,5	13,1	13,2	13,2	13,2	13,2	13,4	13,5	13,5	13,5	13,8
	3	11,52	11,7	11,8	12,0	12,7	13,0	13,3	13,3	13,3	13,4	13,5	13,7	13,7	13,7	13,9
	ср. знач.	11,52	11,7	11,8	12,0	12,5	13,0	13,2	13,2	13,2	13,3	13,4	13,6	13,6	13,6	13,8
Масло, восстановленное пакетом присадок	1	11,5	11,5	11,6	11,9	12,0	12,7	13,5	13,5	13,6	13,8	14,0	14,8	14,8	14,0	15,2
	2	11,5	11,5	11,5	11,6	11,9	12,4	13,4	13,7	13,9	14,0	14,1	14,3	14,5	14,8	15,4
	3	11,5	11,5	11,6	12,1	12,2	13,2	13,9	13,9	14,1	14,3	14,5	14,5	14,6	14,9	15,8
	ср. знач.	11,5	11,5	11,6	11,9	12,0	12,8	13,6	13,7	13,9	14,0	14,2	14,5	14,6	14,6	15,5

Приложение К

Изменение содержания нерастворимых примесей в маслах исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, мг

Масло	группа автомобилей	Пробег, км														
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ К	1	0,0105	0,0248	0,0516	0,0948	0,1429	0,2262	0,4232	0,6154	0,8804	0,9163	1,1048	1,1187	1,2843	1,3848	1,4099
	2	0,0105	0,0398	0,0939	0,1243	0,3085	0,5848	0,6333	0,7012	0,7523	0,9068	1,2713	1,3169	1,3518	1,3605	1,3718
	3	0,0105	0,0380	0,1605	0,3341	0,3052	0,5834	0,6463	0,8218	0,8969	1,0101	1,2263	1,2976	1,4703	1,4655	1,4783
	ср. знач.	0,0105	0,0342	0,1020	0,1844	0,2522	0,4648	0,5676	0,7128	0,8432	0,9444	1,2008	1,2444	1,3688	1,4036	1,4200
Масло, восстановленное М-14Г ₂ ЦС	1	0,0154	0,0612	0,0804	0,0946	0,1226	0,3988	0,6659	0,8782	0,9731	1,1225	1,9807	1,9985	1,9992	1,9998	2,0004
	2	0,0154	0,0429	0,1125	0,2112	0,4077	0,6144	0,8113	0,9952	1,2692	1,4059	1,6042	1,6094	1,6101	1,6523	1,6885
	3	0,0154	0,0507	0,1383	0,2996	0,4909	0,5666	0,8640	0,9592	1,3583	1,7856	1,8163	1,8215	1,8231	1,8775	2,0129
	ср. знач.	0,0154	0,0516	0,1104	0,2018	0,3400	0,5266	0,7804	0,9442	1,2002	1,4380	1,8004	1,8098	1,8108	1,8432	1,9006
Масло, восстановленное пакетом присадок	1	0,0288	0,0618	0,1323	0,1625	0,4345	0,6152	0,8479	0,9152	0,9308	0,9656	1,0232	1,1121	1,2141	1,3158	1,7792
	2	0,0288	0,0859	0,1225	0,2871	0,3197	0,5993	0,6182	0,8391	0,8422	1,0311	1,1557	1,1582	1,2123	1,2544	1,3098
	3	0,0288	0,0968	0,1088	0,5848	0,6144	0,7601	0,9585	0,9814	1,0908	1,1329	1,1403	1,1938	1,1985	1,3586	1,4812
	ср. знач.	0,0288	0,0815	0,1212	0,3448	0,4562	0,6582	0,8082	0,9119	0,9546	1,0432	1,1064	1,1547	1,2083	1,3096	1,5234

Приложение Л

Изменение щелочного числа масла исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, мгКОН/г

Масло	группа авто-мобилей	Пробег, км														
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ К	1	6,2	6,0	5,4	5,1	4,9	4,6	4,2	3,6	2,9	2,1	1,8	1,8	1,8	1,6	0,4
	2	6,2	5,1	4,7	4,6	4,4	4,0	4,0	3,2	2,6	2,0	1,2	1,2	0,6	0,4	0,2
	3	6,2	5,1	4,9	4,7	4,2	4,0	3,8	2,8	2,0	1,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3
	ср. знач.	6,2	5,4	5,0	4,8	4,5	4,2	4,0	3,2	2,5	1,8	1,2	1,2	1,0	0,9	0,3
Масло, восстановленное М-14Г ₂ ЦС	1	6,8	5,9	5,7	5,2	5,0	4,7	4,5	4,2	3,4	2,9	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
	2	6,8	6,2	6,0	5,7	5,5	5,2	5,0	4,8	3,6	3,6	3,0	3,0	2,9	2,9	2,6
	3	6,8	6,2	5,7	5,3	5,1	4,5	4,3	3,3	2,0	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7
	ср. знач.	6,8	6,1	5,8	5,4	5,2	4,8	4,6	4,1	3,0	2,8	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1
Масло, восстановленное пакетом присадок	1	6,1	5,8	5,6	5,3	5,0	4,6	4,2	3,9	3,4	2,8	2,6	2,4	1,8	1,4	1,2
	2	6,1	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	5,0	4,3	3,8	3,5	1,9	1,8	1,8	1,8	1,1
	3	6,1	5,8	5,8	5,2	4,8	4,2	4,0	3,2	2,4	2,1	1,8	1,8	1,8	1,6	1,3
	ср. знач.	6,1	5,8	5,7	5,3	5,0	4,6	4,4	3,8	3,2	2,8	2,1	2,0	1,8	1,6	1,2

Приложение М

Изменение кислотного числа масла исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, мгКОН/г

Масло	группа авто-мобилей	Пробег, км								
		0	1000	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ к	1	0	0	0	0,1	0,7	0,9	1,9	2,4	2,4
	2	0	0	0,1	0,1	0,8	1,8	2,4	2,6	2,8
	3	0	0	0,1	0,4	0,9	2,1	3,2	3,4	3,5
	ср. знач.	0	0	0,1	0,2	0,8	1,6	2,5	2,8	2,9
Масло, восста-новленное М-14Г ₂ ЦС	1	0	0	0,1	0,3	0,6	1,8	2,3	2,5	2,5
	2	0	0	0,2	0,3	0,8	1,9	2,5	2,6	2,6
	3	0	0	0,2	0,3	0,6	1,7	2,1	2,1	2,1
	ср. знач.	0	0	0,2	0,3	0,7	1,8	2,3	2,4	2,4
Масло, восста-новленное пакетом приса-док	1	0	0	0	0,3	0,4	1,3	2,3	2,5	2,8
	2	0	0	0,1	0,5	0,8	1,8	1,9	2,1	2,5
	3	0	0	0,1	0,4	0,6	1,4	1,8	2,0	2,5
	ср. знач.	0	0	0,1	0,4	0,6	1,5	2,0	2,2	2,6

Приложение Н

Суммарное содержание железа в маслах исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, мг

Масло	группа автомо- билей	Пробег, км													
		0	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ к	1	0,0035	0,1726	0,2712	0,4244	0,7785	0,9989	1,7321	2,6154	2,8002	2,9890	3,1023	3,2397	3,8010	5,0149
	2	0,0035	0,1727	0,3416	0,5098	0,9963	1,6254	2,1108	3,0312	3,1057	3,3381	3,7420	3,8663	4,0128	4,2290
	3	0,0035	0,1731	0,2464	0,5019	0,8736	1,6288	2,1940	3,2013	3,4448	3,5759	3,8642	4,0012	4,1568	4,9254
	ср. знач.	0,0035	0,1728	0,2864	0,4787	0,8828	1,4177	2,0123	2,9493	3,1169	3,3010	3,5695	3,7024	3,9902	4,7231
Масло, вос- ста- новленное М-14Г ₂ ЦС	1	0,0515	0,2712	0,2941	0,4009	0,6362	1,1928	1,4828	1,9711	2,8751	3,7043	3,7134	3,7812	3,7918	4,4009
	2	0,0515	0,2819	0,3129	0,4202	0,6389	1,3447	1,9671	2,8828	3,0016	3,7887	3,8001	3,8433	3,8810	4,6369
	3	0,0515	0,2548	0,2978	0,4110	0,6422	1,1546	2,0656	2,7355	2,9118	3,4129	3,4137	3,4674	3,7641	5,0661
	ср. знач.	0,0515	0,2693	0,3016	0,4107	0,6391	1,2307	1,8385	2,5298	2,9295	3,6353	3,6424	3,6973	3,8123	4,7013
Масло, вос- ста- новленное пакетом присадок	1	0,0964	0,4814	0,5262	1,5001	1,6038	2,9202	3,0123	3,1221	3,2018	3,4118	3,7707	3,9153	4,2623	5,8650
	2	0,0964	0,4237	0,5127	1,4716	1,5929	2,8848	2,9429	3,2184	3,3373	3,4484	3,6418	4,2404	4,6117	6,1136
	3	0,0964	0,4245	0,5025	1,3948	1,6270	2,7162	2,7721	3,0138	3,1314	3,4229	3,6488	4,0459	4,5828	5,9023
	ср. знач.	0,0964	0,4432	0,5138	1,4555	1,6079	2,8404	2,9091	3,1181	3,2235	3,4277	3,6871	4,0672	4,4856	5,9603

Приложение О

Изменение коэффициентов качества показателей масла исследуемых автомобилей в зависимости от пробега

Масло	Коэффициент	Пробег, км							
		0	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ к	вязкости	1	0,98	0,98	0,98	0,96	0,93	0,87	0,80
	сод. примесей	1	0,43	0,34	0,26	0,17	0,12	0,11	0,11
	щелочности	1	0,83	0,75	0,66	0,42	0,20	0,17	0,05
	кислотности	1	1	1	0,125	0,062	0,040	0,035	0,034
	сод. железа	1	0,91	0,30	0,29	0,26	0,20	0,18	0,01
Масло, восста- новленное М-14Г ₂ ЦС	вязкости	1	0,98	0,92	0,87	0,87	0,85	0,85	0,83
	сод. примесей	1	0,83	0,044	0,019	0,012	0,008	0,008	0,007
	щелочности	1	0,97	0,87	0,86	0,50	0,38	0,37	0,35
	кислотности	1	1	0,5	0,142	0,055	0,040	0,040	0,040
	сод. железа	1	0,71	0,30	0,30	0,30	0,22	0,19	0,14
Масло, восста- новленное пакетом приса- док	вязкости	1	0,99	0,96	0,89	0,83	0,80	0,78	0,74
	сод. примесей	1	0,42	0,32	0,18	0,015	0,014	0,012	0,009
	щелочности	1	0,95	0,83	0,73	0,53	0,35	0,30	0,20
	кислотности	1	1	1	0,16	0,066	0,05	0,045	0,038
	сод. железа	1	0,89	0,66	0,36	0,30	0,21	0,19	0,11
Обобщающий коэффициент		1	0,86	0,65	0,46	0,36	0,29	0,28	0,23

Приложение П

Изменение показателей качества масла испытываемых автомобилей в эксплуатационных условиях

Показатель		Пробег, км								Индекс корреляции
		0	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	
Кинематическая вязкость, мм ² /с	расчетная	11,5	11,8	12,0	12,2	12,8	13,6	14,0	14,6	0,934
	ср. эксп.	11,5	11,7	12,0	12,8	13,0	13,3	13,8	14,5	
Содержание нерастворимых примесей, %	расчетная	0,0105	0,1518	0,2848	0,4404	0,7814	1,1205	1,4231	1,5065	0,982
	ср. эксп.	0,0105	0,1020	0,2522	0,5670	0,8432	1,2008	1,3688	1,4200	
Щелочное число, мгКОН/1 гр	расчетная	6,2	5,8	5,2	4,2	3,0	1,8	0,6	0,2	0,844
	ср. эксп.	6,4	5,5	4,9	4,3	2,9	1,9	1,7	1,2	
Кислотное число, мгКОН/1 гр	расчетная	0	0,15	0,34	0,62	1,86	2,64	2,80	3,00	0,854
	ср. эксп.	0	0,13	0,30	0,70	1,63	2,23	2,46	2,63	
Содержание железа, гр	расчетная	0,003	0,31	0,36	1,52	2,12	3,84	4,44	4,82	0,981
	ср. эксп.	0,05	0,29	0,78	1,83	2,86	3,58	4,02	5,12	
Содержание Са, импульсов	расчетная	4213	4102	3918	3612	3585	3576	2814	1218	0,958
	ср. эксп.	4213	4133	3862	3735	3678	3595	2531	1477	
Содержание Zn, импульсов	расчетная	5144	4898	4686	4404	4003	3828	3018	2012	0,942
	ср. эксп.	5144	4972	4740	4425	3931	3505	2877	1951	

Приложение Р

Изменение содержания Са в масле исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, %

Масло	группа ав- томобилей	Пробег, км								
		0	1000	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ к	1	0	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,10	0,04
	2	0	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,11	0,03
	3	0	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,11	0,02
	ср. знач.	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,11	0,03
Масло, восста- новленное М-14Г ₂ ЦС	1	0	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,12	0,07
	2	0	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,12	0,09
	3	0	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,12	0,08
	ср. знач.	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,12	0,08
Масло, восста- новленное пакетом приса- док	1	0	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,11	0,07
	2	0	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,11	0,06
	3	0	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,11	0,05
	ср. знач.	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,11	0,06

Приложение С

Изменение содержания Zn в масле исследуемых автомобилей в зависимости от пробега, %

Масло	группа авто- мобилей	Пробег, км								
		0	1000	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000
Штатное масло М-10Г ₂ к	1	0,050	0,050	0,049	0,048	0,046	0,045	0,040	0,038	0,022
	2	0,050	0,046	0,044	0,044	0,044	0,039	0,038	0,032	0,020
	3	0,050	0,050	0,050	0,049	0,048	0,042	0,036	0,032	0,021
	ср. знач.	0,050	0,049	0,048	0,047	0,046	0,042	0,038	0,034	0,021
Масло, восста- новленное М-14Г ₂ ЦС	1	0,050	0,050	0,050	0,049	0,042	0,038	0,032	0,028	0,028
	2	0,050	0,050	0,047	0,044	0,043	0,035	0,032	0,026	0,026
	3	0,050	0,050	0,048	0,042	0,041	0,035	0,032	0,024	0,024
	ср. знач.	0,050	0,050	0,048	0,045	0,042	0,036	0,032	0,026	0,026
Масло, восста- новленное пакетом приса- док	1	0,050	0,050	0,050	0,045	0,045	0,038	0,033	0,026	0,012
	2	0,050	0,046	0,046	0,045	0,040	0,033	0,030	0,018	0,011
	3	0,050	0,050	0,047	0,045	0,041	0,034	0,030	0,016	0,010
	ср. знач.	0,050	0,049	0,048	0,045	0,042	0,035	0,031	0,020	0,011

Приложение Т

Изменение содержания активных металлов присадок Ca и Zn в исследуемых маслах по количеству импульсов от пробега автомобилей

Содержание Ca в пробах масла

Пробег, км	Количество импульсов по № автомобилей									Сред- нее значе- ние
	с товарным маслом М-10Г ₂ К			с восстановленным маслом с М-14Г ₂ ЦС			с восстановленным маслом с пакетом присадок			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	5144	5144	5144	5144	5144	5144	5144	5144	5144	5144
2000	5012	5018	4885	5080	4869	5048	4714	5112	5013	4972
4000	4868	4892	4870	5031	4769	4215	4551	5068	4396	4740
6000	4705	4720	4268	4198	4732	4068	4213	4917	4008	4425
8000	4678	4203	4101	4003	4215	3112	4009	3645	3417	3931
10000	4240	3815	3713	3500	4001	2644	3456	3108	3073	3505
12000	4040	3575	3056	2905	2734	2109	2058	2805	2615	2877
14000	2443	1118	1004	2314	2225	1515	1236	1416	1289	1951

Содержание Zn в пробах масла

Пробег, км	Количество импульсов по № автомобилей									Сред- нее значе- ние
	с товарным маслом М-10Г ₂ К			с восстановленным маслом с М-14Г ₂ ЦС			с восстановленным маслом с пакетом присадок			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	4213	4213	4213	4213	4213	4213	4213	4213	4213	4213
2000	4006	4119	4095	4100	4206	4182	4198	4004	4080	4133
4000	3923	3908	3876	3889	3901	3868	3812	3800	3789	3862
6000	3796	3850	3740	3780	3762	3708	3715	3612	3654	3735
8000	3795	3820	3709	3711	3689	3652	3664	3554	3506	3678
10000	3709	3731	3632	3615	3601	3589	3573	3498	3405	3595
12000	2680	2532	2118	2558	2505	2846	2917	2008	2615	2531
14000	716	519	943	1843	1619	2113	1618	1318	1619	1477

Приложение У

Изменение коэффициента содержания Zn в исследуемых маслах по количеству импульсов от пробега автомобилей

Пробег, км.	Количество импульсов по № автомобилей									Сред- нее значе- ние
	с товарным маслом М-10Г ₂ к			с восстановленным маслом с М-14Г ₂ ЦС			С восстановленным маслом с пакетом присадок			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2000	0,97	0,97	0,94	0,98	0,95	0,98	0,92	0,99	0,97	0,97
4000	0,94	0,95	0,92	0,97	0,93	0,82	0,88	0,98	0,85	0,92
6000	0,91	0,91	0,82	0,82	0,92	0,80	0,82	0,95	0,78	0,86
8000	0,90	0,81	0,79	0,78	0,82	0,60	0,78	0,71	0,66	0,76
10000	0,82	0,74	0,72	0,68	0,78	0,51	0,67	0,60	0,60	0,68
12000	0,78	0,69	0,59	0,56	0,53	0,40	0,40	0,50	0,50	0,56
14000	0,47	0,21	0,19	0,55	0,43	0,30	0,24	0,27	0,25	0,38

Изменение коэффициента содержания Са в исследуемых маслах по количеству импульсов от пробега автомобилей

Пробег, км.	Количество импульсов по № автомобилей									Сред- нее значе- ние
	с товарным маслом М-10Г ₂ к			с восстановленным маслом с М-14Г ₂ ЦС			С восстановленным маслом с пакетом присадок			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2000	0,95	0,97	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,95	0,96	0,98
4000	0,93	0,92	0,92	0,92	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,92
6000	0,93	0,91	0,88	0,89	0,89	0,88	0,88	0,85	0,87	0,88
8000	0,90	0,90	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,84	0,83	0,87
10000	0,88	0,88	0,86	0,85	0,86	0,85	0,85	0,83	0,80	0,85
12000	0,63	0,60	0,50	0,60	0,60	0,68	0,70	0,48	0,62	0,60
14000	0,40	0,36	0,46	0,43	0,38	0,50	0,38	0,31	0,38	0,35

Приложение Ф

Установка очистки масел пункта утилизации нефтяных отходов

ООО «Симойл»



Установка нагрева и очистки отработанного масла гидроцикло-

НОМ



Приложение X

Резервуар для восстановленных моторных масел с системой отбора проб масел на анализ



СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	3
1	СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА.....	6
1.1	Актуальность обеспечения экологической устойчивости производства на современном этапе.....	6
1.2	Моторное масло как составная часть системы средств технической оснащённости АПК.....	12
1.3	Особенности изменения состояния моторного масла.....	14
1.4	Использование отработанных моторных масел и их влияние на экологию.....	17
1.5	Анализ методов и технических средств восстановления свойств отработанных моторных масел.....	19
1.6	Анализ показателей для оценки качества моторных масел.....	25
1.7	Анализ методов оценки качества моторных масел.....	29
	Выводы.....	31
2	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА.....	32
2.1	Обоснование технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанных масел.....	32
2.1.1	Обоснование технологии восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла вводом присадок.....	34
2.1.2	Обоснование технологии компаундирования.....	37
2.2	Разработка технических средств для восстановления отработанного моторного масла.....	39
2.2.1	Обоснование выбора установки для восстановления свойств отработанного моторного масла.....	39
2.2.2	Устройство и принцип работы гидроциклона.....	42

2.2.3	Определение основных конструктивно-технологических параметров гидроциклона.....	44
2.2.3.1	Силы и скорости, действующие на частицу в гидроциклоне.....	45
2.2.3.2	Определение конструктивных параметров гидроциклона.....	52
	Выводы.....	64
3	МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	66
3.1	Программа экспериментальных исследований.....	66
3.2	Методика лабораторных исследований.....	66
3.2.1	Методика исследований технологических процессов восстановления эксплуатационных свойств моторных масел.....	66
3.2.2	Методика исследования гидроциклона.....	70
3.2.3	Лабораторный анализ проб.....	72
3.3	Методика производственных исследований.....	78
3.4	Методика сравнительных эксплуатационных исследований.....	81
3.5	Методика расчета обобщающего коэффициента.....	85
3.6	Методика проведения экологической экспертизы.....	87
3.7	Методика обработки результатов.....	88
	Выводы.....	92
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	94
4.1	Результаты исследований технологических процессов восстановления эксплуатационных свойств моторного масла.....	94
4.1.1	Результаты исследований по установлению вида поверхностно-активных веществ.....	94
4.1.2	Результаты исследований режимов деэмульгирования.....	96
4.1.3	Результаты исследований по определению режимов ввода присадок.....	97
4.2	Результаты исследований гидроциклона.....	100
4.3	Результаты производственных исследований.....	105
4.4	Результаты исследований противоизносных и противозадирных свойств восстановленных моторных масел.....	107

4.5	Результаты исследований по определению нерастворимых примесей и активных металлов присадок в масле.....	111
4.6	Результаты сравнительных эксплуатационных исследований	114
4.7	Результаты экологической экспертизы.....	119
	Выводы.....	121
5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	123
5.1	Общий подход к оценке экономической эффективности.....	123
5.2	Расчет эффективности от продления срока службы моторного масла.....	123
5.3	Расчет эффективности при использовании восстановленного моторного масла.....	126
5.4	Рекомендации производству по использованию и восстановлению моторных масел.....	129
	Выводы.....	130
	ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	131
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	145

Глущенко Андрей Анатольевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНА**

(научное издание)

План 2011

Научный редактор: В.М. Холманов

Сдано в набор
Подписано в печать
Формат 60x84/16
Бумага офсетная
Печать RJSO
Усл. изд. л.
Тираж 300
Заказ №

Издательство Ульяновской ГСХА
432063, Ульяновск, б. Новый Венец, 1