

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т. А. Кулагина  
подпись

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Эффективное использование смазочных материалов в железнодорожном  
хозяйстве»

Научный консультант \_\_\_\_\_ д-р техн.наук, профессор Т.А. Кулагина

подпись, дата

Руководитель \_\_\_\_\_ ст.преподаватель Е.Н. Зайцева

подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ Ю.Р. Савельева

подпись, дата

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ ст.преподаватель Е.Н. Зайцева

подпись, дата

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т. А. Кулагина

подпись

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы

Студенту: Савельевой Юлии Руслановне  
Группа ФЭ15-10Б Направление (специальность) 20.03.01 «Техносферная  
безопасность»

Тема выпускной квалификационной работы: «Эффективное использова-  
ние смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве»

Утверждена приказом по университету: № 18983/с от 17 декабря 2018 г.

Руководитель ВКР: Е.Н. Зайцева, ст.преподаватель

Исходные данные для ВКР: технологическая инструкция, нормативная,  
справочная и другая литература.

Перечень разделов ВКР: общие сведения в смазочных материалах, нефтя-  
ные масла, физико-химические свойства нефтяных масел, пластичные смазки,

жизненный цикл смазочных материалов, теоретические аспекты механизма старения смазочных материалов, современные методы экспресс-контроля смазочных материалов, надежность элементов подвижного состава и пути, смазочные материалы, применяемые для системы «колесо-рельс», анализ систем рельсосмазывания, рельсосмазыватель старого образца «Помазок», масляные «фитиля», гребнесмазыватель АГС-8, графитовые стержни, существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов.

Перечень графического и иллюстрационного материала с указанием основных чертежей, плакатов:

Лист 1: Виды и классификация смазочных материалов.

Лист 2: Надежность элементов подвижного состава и пути.

Лист 3: Анализ систем рельсосмазывания.

Лист 4: Анализ систем рельсосмазывания.

Лист 5: Регенерация отработанных смазочных материалов.

Руководитель

\_\_\_\_\_

Е.Н. Зайцева

подпись

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

Ю.Р. Савельева

подпись

«      » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК выполнения ВКР**

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходной литературы и документации	11.05.2019 – 19.06.2019
Постановка основной задачи, освоение расчетных методик	20.06.2019 – 25.06.2019
Выполнение расчетов, оформление результатов, составление выводов	26.06.2019 – 28.06.2019
Работа над нормативно-правовой базой, оформление расчетно-пояснительной записи	29.06.2019 – 02.07.2019
Графическое оформление чертежей	03.07.2019 – 06.07.2019
Оформление прочей документации	07.07.2019 – 10.07.2019

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель

\_\_\_\_\_

Е.Н. Зайцева

подпись

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

Ю.Р. Савельева

подпись

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа по теме «Эффективное использование смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве» содержит 72 страницы, включает 4 таблицы, 23 рисунка, 17 литературных источников и 5 листов графического материала.

**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ХОЗЯЙСТВО, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ, НЕФТЯНЫЕ МАСЛА, ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ПРИСАДКИ, СТАРЕНИЕ, КОЛЕСО, РЕЛЬС, ЛУБРИКАЦИЯ, РЕЛЬСОСМАЗЫВАНИЕ, РЕГЕНЕРАЦИЯ, СБОР, УТИЛИЗАЦИЯ.**

Объект исследования: железнодорожное хозяйство.

Целью работы является оценка эффективного использования смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве.

В ходе выполнения бакалаврской работы были изучены основные сведения о смазочных материалах, их физико-химических свойствах, рассмотрен жизненный цикл смазочных материалов от допуска их к производству до теоретических аспектов механизма старения смазки, проанализирована система смазывания трибоконтакта «колесо-рельс», описаны существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов, сделан вывод об эффективности использования смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве.

## **АННОТАЦИЯ**

Бакалаврская работа на тему: «Эффективное использование смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве» ВКР выполнена на 72 страницах, включает 4 таблицы, 23 рисунка, 5 графических материалов и 17 литературных источника.

Целью работы является оценка эффективного использования смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве.

Во введении раскрывается актуальность бакалаврской работы по выбранному направлению, ставится проблема, цель и задачи.

В первой главе представлены общие сведения о смазочных материалах, рассмотрена информация о нефтяных маслах, их физико-химических свойствах, раскрывается понятие пластичных смазок.

Во второй главе рассматривается жизненный цикл смазочных материалов от допуска их к производству до теоретических аспектов механизма старения смазки.

В третьей главе производилась оценка надежности элементов подвижного состава и пути на основе анализа системы смазывания трибоконтакта «колесо-рельс».

В четвертой главе описаны существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>8</b>
<b>1 Общие сведения о смазочных материалах .....</b>	<b>10</b>
1.1 Нефтяные масла .....	12
1.2 Физико-химические свойства нефтяных масел.....	22
1.3 Пластичные смазки .....	25
<b>2 Жизненный цикл смазочных материалов .....</b>	<b>42</b>
2.1 Порядок допуска смазочных материалов к производству и применению...42	
2.2 Теоритические аспекты механизма старения смазочных материалов.....44	
2.3 Современные методы экспресс-контроля смазочных материалов .....	48
<b>3 Надежность элементов подвижного состава и пути.....</b>	<b>58</b>
3.1 Смазочные материалы, применяемые для системы «колесо-рельс» .....	61
3.2 Анализ систем рельсосмазывания.....	64
3.2.1 Рельсосмазыватель старого образца «Помазок» .....	64
3.2.2 Масляные «фитиля».....	67
3.2.3 Гребнесмазыватель АГС-8 .....	67
3.2.4 Графитовые стержни .....	70
<b>4 Существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов .....</b>	<b>74</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>79</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>80</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основной транспортной системой России является железнодорожный транспорт. Перевозки, осуществляемые данным видом транспорта, в настоящее время занимают лидирующие позиции.

Железнодорожный транспорт обеспечивает стабильную деятельность промышленных предприятий, ежегодно перевозится около 3,5 миллиардов тонн грузов, как в пределах Российской Федерации, так и за ее границами. Более 100 миллионов человек ежесуточно используют ж/д транспорт, как способ передвижения. К железнодорожному хозяйству предъявляются высокие требования, так как от надежной и безопасной работы транспорта зависит вся деятельность и жизнь населения страны. Одним из факторов, способствующих этому является применение качественных смазочных материалов, контроль за режимом лубрикации, их рациональное использование и утилизация.

Данные эксплуатации на предприятиях железнодорожного хозяйства показывают, что основной причиной выхода из строя машин и механизмов является изнашивание подвижных соединений, которое в 80% случаев происходит вследствие несвоевременного или некачественного смазывания. Из этого следует, что смазочные материалы необходимы для снижения износа, вызванного трением. Железнодорожное хозяйство ежегодно потребляет сотни тысяч различных смазочных материалов. Контроль за такими показателями, как тщательный сбор отработанных материалов, их правильное хранение, регенерация или передача на утилизацию оказывает значительное влияние на эффективность использования смазочных материалов.

Цель бакалаврской работы заключается в оценке эффективности использования смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве.

Задачи:

- 1) ознакомиться с общими сведениями о смазочных материалах;

- 2) изучить жизненный цикл смазочных материалов от порядка допуска их к производству до замены в связи со старением;
- 3) оценить надежность элементов подвижного состава и пути на основе анализа систем рельсосмазывания;
- 4) описать существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов;
- 5) сделать вывод об эффективности использования смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве.

## **1 Общие сведения о смазочных материалах**

Развитие железнодорожного транспорта характеризуется совершенствованием технического уровня всех транспортных средств, значительным повышением мощности электрических и дизельных локомотивов, возрастанием скоростей движения поездов, увеличением нагрузок от колесной пары на рельсы и длительности работы узлов трения без полной замены смазки. Локомотивные и вагонные депо, локомотивно- и вагоноремонтные заводы и предприятия по изготовлению запасных частей постоянно снабжаются более совершенным технологическим оборудованием. Долговечная и безопасная эксплуатация подвижного состава, машин и механизмов в большой степени зависит от типа смазки и режима лубрикации.

Железнодорожный транспорт ежегодно потребляет сотни тысяч тонн различных смазочных материалов. При этом постоянно улучшается качество масел и смазок, синтезируются новые более эффективные присадки, обновляется и совершенствуется ассортимент смазочных материалов и рабочих жидкостей.

Необходимое техническое состояние оборудования можно обеспечить путем рациональной организации технического обслуживания и ремонта, а также смазывания оборудования. Данные эксплуатации на предприятиях железнодорожного хозяйства показывают, что основной причиной выхода из строя машин и механизмов является изнашивание подвижных соединений, которое в 80% случаев происходит вследствие несвоевременного или некачественного смазывания [1].

Затраты на восстановление машин и оборудования, а также транспортных средств составляют около 40 миллиардов рублей в год, около 6 миллионов работников заняты ремонтом и изготовлением запасных частей. Не стоит забывать об ограниченности топливно-энергетических ресурсов и современной экологической обстановке. Отработанные нефтепродукты необходимо использовать шире.

Работа в таких направлениях, как организация и совершенствование служб смазочного хозяйства на предприятии, внедрение системы регламентированного технического обслуживания, внедрение новых перспективных смазочных материалов – металлокомпактных (в состав которых входят металлы содержащие присадки), твердых, магнитных и самосмазывающихся, унификация сокращения расхода и номенклатуры применяемых смазочных материалов, механизация и автоматизация смазочных работ, широкое использование средств очистки и экспресс-методов контроля эксплуатационных свойств смазочных материалов, сбор и повторное использование отработанных масел, обучение специалистов, работающих со смазочными материалами может помочь решить перечисленные проблемы.

Смазочные материалы применяются для уменьшения трения, возникающего между трещимися парами машин и механизмов, снижения износа трещимися деталей и предохранения их от заедания, так как без этого нельзя повысить надежность и долговечность узлов трения любых механизмов [2]. Чем лучше подобрано масло для каждого конкретного типа двигателя и других трещимися деталей, тем меньше износ, и больше срок их службы. Масло хорошо охлаждает детали, защищает от коррозии, во многих случаях, являясь уплотняющей средой, препятствует прорыву сжимаемой рабочей смеси и продуктов сгорания из цилиндра в картер двигателя.

Основными функциями смазочных материалов:

- обеспечение чистоты и минимального износа узлов в процессе эксплуатации изделия в широком интервале температур;
- предотвращение коррозии и загрязнения поверхностей трения деталей в процессе эксплуатации;
- отвод теплоты узлов трения и удаление из зоны трения продуктов износа.

В настоящее время промышленностью выпускаются масла на синтетической и синтетически-нефтяной основе. Наиболее распространенными являются нефтяные масла.

## **1.1 Нефтяные масла**

Основными смазочными материалами, вырабатываемыми нефтехимической промышленностью, являются минеральные масла и смазки, получаемые из нефтяного сырья. Нефть – маслянистая жидкость органического происхождения, которая состоит в основном из двух элементов – углерода (84 – 87 %) и водорода (12 – 14%). В химии это называется углеводородами. Кроме этого в нефти содержится 0,1 – 1,4% кислорода, 0,5 – 5 % серы и других элементов. Нефть по своему составу является сложной жидкостью.

Область применения и назначение нефтяных масел очень широки. Помимо основной функции они служат рабочими жидкостями в гидравлических передачах, создают электрическую изоляцию в трансформаторах, конденсаторах и масляных выключателях, снижают вибрацию и шум. Нефтяные масла являются основами при изготовлении пластичных сма佐ок, сма佐очно-охлаждающих технологических сред, сырьем для производства присадок [4].

Отличительной особенностью отечественного производства нефтяных масел является многообразие сырьевых источников – нефти, которая отличается по физико-химическим свойствам. Нефть разных месторождений и даже одного месторождения из различных скважин отличается друг от друга. Именно состав нефти определяет схему ее переработки и качество получаемых нефтепродуктов, в том числе и масел. Масла одной марки, полученные из нефти разных месторождений, различаются по углеводородному составу, что оказывает большое влияние как на эксплуатационные свойства самих масел, так и на свойства продуктов, получаемых на их основе.

Обычно при эксплуатации масло выполняет одну или две каких-либо функций в зависимости от его назначения. Поэтому в промышленностирабатывают масла, имеющие определённое назначение и обеспечивающие в этой области наибольший эффект.

Для правильного выбора масел существует их классификация по разным принципам.

*По способу получения.* При современном техническом уровне развития из нефти получают множество самых разнообразных продуктов: спирт, жирные кислоты, каучук ацетон, бензол, глицерин, взрывчатые вещества, краски, лекарства, духи, моющие средства, парафин, нафталин и многое другое. Однако 95 – 97% добываемой нефти перерабатывают для получения различных видов топлив и смазочных материалов. Первичная переработка нефти основана на разделении (разгонке) нефти на фракции. При этом способе переработки не происходит изменение структуры углеводородов, а только из общей смеси выделяются отдельные группы – фракции. Разделение на фракции основано на том, что углеводороды, входящие в состав нефти имеют различную температуру кипения.

При разгонке и атмосферном давлении из нефти отгоняются бензиновые, лигроиновые, керосиновые и газойлевые фракции; остаток от перегонки называется мазутом, который служит сырьем для получения масел. Мазут после подогрева перегоняется в трубчатых вакуумных установках. При этом пары мазута в ректификационной колонне также разделяются на фракции, но только с той разницей, что здесь колонна работает под вакуумом, а не под атмосферным давлением. При нагревании мазута и конденсации паров в колонне в начале получают веретенный дистиллят, затем машинный, автоловый и цилиндровый. После перегонки мазута в остатке получается тяжелый масляный концентрат – гудрон и полугудрон. Они являются полуфабрикатами для получения остаточных масел. Полученные при вакуумной перегонке масляные дистилляты – это еще не масла, а лишь полупродукты, которые содержат, кроме углеводородов, различные асфальтосмолистые вещества, нафтеновые кислоты и прочие вредные примеси, ухудшающие качество масла.

Следовательно, масла по способу получения подразделяются на:

- дистиллятные, полученные очисткой масляных фракций вакуумной перегонки мазута;
- остаточные, полученные из гудрона;
- компаундированные, полученные смешением различным масел;

- загущенные масла, приготовленные из базовых масел введением полимерных присадок.

*По способу очистки.* В зависимости от используемых реагентов масла могут быть кислотно-щелочной, кислотно-контактной, селективной, адсорбционной очисток и масла гидрогенизационных процессов (гидроочистки, гидрокрекинга и гидроизомерации).

При сернокислотной очистке масло обрабатывают серной кислотой, при этом асфальтосмолистые и другие вредные вещества, вступая в химическую реакцию с серной кислотой, образуют смолистую густую массу, называемую кислым гудроном, которая осаждается на дно мешалки, а затем удаляется.

Селективная очистка масел заключается в обработке масла специальными растворителями (пропаном, фенолом, форфуролом), которые обладают свойством извлекать вредные примеси, не уничтожая ценных составных частей масла.

После очистки, в результате которой удаляются вредные примеси, готовым маслам придают нужные эксплуатационные свойства.

*По назначению.* Выделяют несколько групп масел в зависимости от их функционального назначения – смазочные, консервационные, электроизоляционные, гидравлические, технологические, вакуумные, медицинские и парфюмерные (белые).

Некоторые из этих групп делятся еще на подгруппы по более узким областям применения. Для каждой группы или подгруппы в зависимости от назначения и условий применения имеются свои характерные показатели качества. Так, для электроизоляционных масел важнейшими эксплуатационными свойствами являются газостойкость и диэлектрические потери, которые не играют роли при эксплуатации моторных масел. Для них одним из основных показателей являются моющие свойства. Для гидравлических масел, контактирующих с резиновыми уплотнениями, очень важна хорошая совместимость с ними, то есть они не должны вызывать растворения или набухания резин. Наибольший объем по про-

изводству среди масел занимают смазочные, которые в свою очередь на моторные, индустриальные и приборные. В каждой группе или подгруппе имеется множество марок масел, которые определяются показателями качества, способами получения, наличием присадок и так далее.

Качество базовых масел имеет огромное значение. Именно они определяют такие важные характеристики товарных масел, как испаряемость, высокотемпературные свойства, подвижность при низкой температуре и так далее.

Базовые масла классифицируют:

- по физико-химическим свойствам;
- сырьевой природе масла (масла парафинового и нафтенового основания);
- способу производства.

Для придания базовым маслам определенных эксплуатационных свойств их легируют (разбавляют) присадками, которые подразделяют на следующие основные типы:

- антиокислительные, повышающие антиокислительную устойчивость масел;
- антакоррозионные, защищающие металлические поверхности от коррозионного воздействия кислородо- и серосодержащих продуктов, и влаги;
- моюще-диспергирующие, способствующие снижению отложений продуктов окисления на металлических поверхностях;
- улучшающие смазочные свойства (противоизносные, антифрикционные);
- депрессорные, понижающие температуру застывания масел;
- вязкостные или загущающие, улучшающие вязкостно-температурные свойства масел;
- антиенные, предотвращающие вспенивание масел.

По областям применения масла делятся на: моторные – для авиационных, газотрубинных, карбюраторных и дизельных двигателей; специальные – турбинные, компрессорные, цилиндровые и изоляционные; трансмиссионные, в том числе для гидропередач, гидродинамических и гидрообъемных приводов; машинные; различного назначения.

*Моторные масла.* В группе смазочных масел они занимают наибольший объем, до 60%. Это единственныe отечественные масла, для которых разработана и с 1974 года введена гостированная классификация. Этой классификацией является ГОСТ 17479 – 72. Она включает масла, применяемые в различных двигателях внутреннего сгорания – автомобильных, сельскохозяйственных и строительных машин, речных судов, авиационных. Классификация аналогична зарубежной API и SAE. Она делит масла по их вязкости с учетом условий применения.

Моторные масла применяют для смазки поршневых двигателей внутреннего сгорания. По способу получения они могут быть дистиллятными, остаточными, компаундированными и загущенными. Чаще всего эти масла селективной очистки, большинство содержит присадки. Для приготовления моторных масел используют базовые масла селективной очистки (от М-6 до М-20), высокоиндексные масла из сернистой нефти (АСВ-6, АСВ-10). Моторные масла содержат целый комплекс присадок – моющие-диспергирующие, антиокислительные, де-прессорные.

Масло должно обеспечивать надежную смазку всех узлов трения и агрегатов двигателя при температурах от -50 °C до 150 °C и даже выше.

*Индустримальные масла.* Это большая группа масел, которые предназначены для смазывания машин и механизмов различного промышленного оборудования. Их производство составляет до 30% от общего объема выпускаемых масел. В настоящее время в нашей стране нет какой-либо технически обоснованной и общепринятой классификации индустриальных масел. В настоящее время их делят по областям применения – масла общего и специального назначения,

независимо от исходного сырья и методов получения. До этого индустриальные масла делили по вязкости, по исходному сырью и по способу очистки.

*Индустриальные масла общего назначения.* Они служат для смазывания разнообразных пар трения различных высокоскоростных и тяжелонагруженных механизмов, работающих при средних температурах (металлорежущие, деревообрабатывающие, цилиндры, редукторы, прессы и так далее). Вязкость масел изменяется в широком диапазоне (от 3,4 до 190 мм<sup>2</sup>/с при 50 °C), они могут содержать присадки, их можно получить из сернистой или малосернистой нефти.

Эти масла подразделяются на несколько групп в соответствии с областью их применения. Это масла общего назначения *без присадок*. К ним не предъявляется особых эксплуатационных требований, они обеспечиваются естественной минеральной природой масел и могут быть дистиллятными, остаточными или их смесью. Принята единая маркировка масел, например, И-20А или И-50А.

Отдельную группу составляют масла, полученные *щелочной очисткой*. В нашей стране выпускаются две марки выщелоченных масел с вязкостью при 50 °C 20 и 45 мм<sup>2</sup>/с.

Особенностью эксплуатации индустриальных масел в современных узлах является ужесточение условий по рабочим температурам (ранее 40 – 60 °C, теперь до 100 °C), повышение удельных нагрузок, стойкость к окислению в течение нескольких тысяч часов работы. Масла без присадок эти условия не выдерживают.

В связи с этим в последнее время освоено производство достаточно большого ассортимента индустриальных легированных масел с улучшенными эксплуатационными свойствами. В них в основном используют присадки антиокислительные – ионол и фенилнафтиламин, противокоррозионные – сульфонаты кальция, противоизносные – серу, хлор и фосфорсодержащие.

В ассортименте легированных масел имеются масла узкоспециализированного назначения. Маркировка масел принята по буквенным индексам, обозначающим область их применения (ИГП – индустриальное гидравлическое, ИРП – индустриальное редукторное, ИЦП – индустриальное для цепей и т.д.).

К индустриальным также относят масла для прокатных станков, оборудованных циркуляционными системами смазки.

*Масла специального назначения.* Они включают также несколько групп. Цилиндровые масла предназначены для смазывания горячих частей паровых машин. Масла должны хорошо распыляться, не образовывать нагара, то есть быть стойкими к окислению. Этот показатель зависит от химического состава масел – природы исходного сырья и способа его переработки. Цилиндровые масла делят на две группы:

- для машин, работающих насыщенным паром;
- для машин, работающих перегретым паром.

Масла первой группы работают в относительно легких условиях – давление до 1,6 Мпа и температура до 200°C. Важными эксплуатационными свойствами здесь являются несмываемость масел конденсатом. Таким свойством обладают неочищенные остаточные масла, однако они имеют склонность к образованию эмульсий, что может вызвать деформацию стенок котлов. Поэтому здесь используют легкие дистиллятные масла, полученные кислотной или щелочной очисткой.

К маслам второй группы предъявляются более высокие требования, что связано с жесткими условиями эксплуатации – контакт с перегретым паром при 350 – 400°C. Они должны обладать высокой температурой вспышки (выше 300°C) и повышенной вязкостью. Тяжелые цилиндровые масла марки 38 и 52 получают из нефти, ставшей в настоящее время уникальной – легкая балаханская и эмбновская.

Вакуумные масла применяют в качестве рабочих жидкостей вакуумных насосов. Эти масла отличаются узким фракционным составом, высокой степенью очистки, так как их получают разгонкой товарных масел.

Индустримальные масла специального назначения включают также нефтяные и синтетические масла с присадками, предназначенные для использования в узких областях или специфических условия. Масла для смазывания цепей подвесных конвейеров (ИЦП), для смазки масляным туманом (ИМТ-200).

Ассортимент индустриальных масел не ограничивается перечисленными марками, так как в качестве индустриальных могут использоваться также масла, отнесенные по основному назначению к моторным и другим группам.

*Трансмиссионные масла.* Эти масла предназначены для смазывания зубчатых передач различных типов (цилиндрических, конических, червячных). На их долю приходится около 5% от общего объема производства масел. Работа масла в узлах трансмиссий имеет свою специфику. Условия трения здесь более напряженные, чем в других механизмах, так как преобладает граничный режим трения. Масло должно обеспечивать длительную работу в интервале температур от -50 до 150°C и выполнять целый ряд других функций, часто противоречивых.

В нашей стране выпускают около 15 марок трансмиссионных масел, которые условно можно разделить на три группы:

- без присадок или с химически малоактивными, противозадирными и противоизносными присадками (ЭФО, ДФ-11);
- с противозадирными и противоизносными присадками средней активности (ЛЗ/23к, ЛЗ-6/9, СТП);
- с высокоактивными противоизносными присадками (хлорэф-40).

В зависимости от климатических условий различают зимние и летние, арктические и всесезонные трансмиссионные масла. Большую часть трансмиссионных масел готовят смешением экстрактов от фенольной очистки деасфальтизаторов или остаточных масел с дистиллятными маслами. Деасфальтизация – процесс удаления высокомолекулярных смолисто-асфальтеновых веществ из остаточных продуктов нефтепереработки. К трансмиссионным относится также нигрол – неочищенный остаток прямой перегонки нефти, который содержит много смол, асфальтенов (наиболее высокомолекулярные компоненты нефти) и других продуктов, склонных к окислению.

В настоящее время в целях унификации трансмиссионных масел для жаркого и умеренного климата выпускается единое всесезонное масло. Для его при-

готовления используют смеси экстрактов фенольной очистки с индустриальными маслами или высококачественные базовые масла ТС-14,5 и ТБ-20 (смеси дистиллятных и остаточных масел селективной очистки).

Особую подгруппу представляют осевые масла. Это большей частью неочищенные вязкие продукты, получаемые прямой перегонкой нефти. Эти масла предназначены для смазывания осей колесных пар железнодорожных вагонов и тепловозов и некоторых узлов подвижного состава железнодорожного транспорта. Осевые масла выпускают трех марок: Л – летние, З – зимние и С – для особо холодных районов. Зимнее и северное масла для улучшения их вязкостно-температурных свойств содержат маловязкий компонент-разбавитель – зимнее соляровое масло. В марку «С» добавляют дизельное зимнее топливо. В результате этого масла имеют хорошую подвижность при низких температурах.

*Турбинные масла.* Самостоятельная группа масел со специфическими требованиями. Их назначение – смазка и охлаждение паровых, газовых и гидротурбин. Смена масла в таких агрегатах является трудоемкой и дорогостоящей. Поэтому эти масла должны обеспечить длительную работу агрегата. Масла не должны стареть, то есть должны обладать хорошей стабильностью к окислению, не образовывать осадков и стойких эмульсий с водой, предупреждать износ. Масла не должны насыщаться воздухом и пениться при циркуляции, так как это нарушает смазку и вызывает старение масел. Перечисленные качества достигаются при использовании масел из высококачественной нефти – сернистых парафинистых и малосернистых парафинистых или беспарафинистых, полученных глубокой и тщательной кислотно-контактной или селективной очисткой и введением композиций присадок, улучшающих химическую стабильность, деэмульгируемость, противоизносные и антикоррозионные свойства. Огромное значение имеет качество базовых масел. Турбинные масла иногда используют как индустриальные, но не рекомендуется использование индустриальных масел в качестве турбинных.

*Компрессорные масла.* Эти масла предназначены для смазки цилиндров и клапанов компрессоров. Особенностью их работы является контакт с различными высокотемпературными средами и хладагентами. Холодильный агент (хладагент) — рабочее вещество (может являться жидкостью, газом и даже быть в твердом агрегатном состоянии) холодильной машины, которое при кипении (испарении, плавлении или даже сублимации) отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передаёт её охлаждающей среде за счёт конденсации или иному фазовому переходу. Поэтому к маслам предъявляются жесткие требования по термической и химической стабильности, нагарообразованию и эмульгируемости (способность масла к образованию стабильной эмульсии с водой). Компрессорные масла получают из высококачественной сернистой и малосернистой нефти достаточно глубокой кислотно-земельной или селективной очисткой. Компрессорные масла могут быть с присадками и без. Масла без присадок предназначены для эксплуатации в обычных условиях (без агрессивных сред и давлений сжатия до 4 Мпа. Ценными базовыми маслами для них являются высоковязкие, низкозастывающие масла — остаточные или компаундированные высокоочищенные продукты (марки К-12, К-19, К-28). Компрессорные масла для тяжелых условий работы получают глубокой селективной очисткой и добавлением присадок — антиокислительных, анткоррозионных и противоизносных.

*Приборные масла.* Они предназначены для смазки приборов и аппаратов. Условно их делят на три подгруппы: общего назначения, специального назначения и часовые.

Приборные масла отличаются высокой степенью очистки и хорошими низкотемпературными свойствами. Большинство из этих масел содержат присадки — антиокислительные, противоизносные и другие. Из масел общего назначение наибольший выпуск имеет МВП — масло сернокислотной очистки, вырабатываемое из низкозастывающей нефти. До 70% его используется в производстве пластичных смазок. Масла специального назначения производят на синтетической основе.

Часовые масла – высокоочищенные масла из малосернистой нефти. Часовые масла содержат присадки.

На железнодорожном транспорте широко применяют приборные масла марки МВП (ГОСТ 1805 – 76) для смазки контрольно-измерительных приборов, работающих при температурах от 110 до -60°C, для амортизаторов локомотивов и моторвагонного подвижного состава, шарниров токоприемников электровозов, стеклоочистителей. Оно также используется как технологическое сырье при производстве пластичных приборных смазок [5].

В качестве заменителя для амортизаторов моторвагонного подвижного состава разрешено применять «мягчитель» (ОСТ 38 0193 – 75), который изготавливают из маловязкой нефти сернокислотной очистки с депрессором АзНИИ.

Масло телеграфное (ГОСТ 7916 – 80) применяют для телеграфных аппаратов Бодо, Морзе и другие. Изготавливают это масло из смеси турбинного масла 22 с 5% горчичного масла .

Для контрольно-кассовых машин применяют глубоко очищенное нефтяное масло с присадкой по ТУ 38-101-635-76.

## **1.2 Физико-химические свойства нефтяных масел**

О качестве масел как при производстве, так и в условиях эксплуатации можно судить по показателям их физико-химических свойств, таких как плотность, вязкость, молекулярная масса, температура застывания и вспышки, испаряемость, диэлектрические и оптические свойства.

Эксплуатационные свойства, такие, как стабильность к окислению, смазочная способность, вязкостно-температурные, защитные и коррозионные определяются физико-химическими свойствами. В зависимости от назначения и условий применения масел требования к этим свойствам могут быть разными.

Плотность непосредственно не определяет эксплуатационных свойств масел, она дает некоторое представление о химическом составе сырья, из которого

получено масло, и о степени его очистки. При равной вязкости масла из парафинистой нефти имеют наименьшую плотность, масла из ароматической нефти – наибольшую. С увеличением степени очистки масел, то есть по мере удаления из них смолистых веществ и полициклических аренов, их плотность уменьшается. Общим для масляных фракций из любой нефти является увеличение плотности с ростом температуры кипения.

Вязкость – важнейший показатель физико-химических и эксплуатационных свойств масел. Она определяет надежность режима смазки в условиях гидродинамического (жидкостного) трения и существенно влияет на охлаждающую способность масел, их утечку через уплотнения и пусковые свойства. Вязкость масел зависит главным образом от их углеводородного состава, она возрастает с увеличением молекулярной массы углеводородов, составляющих масла, их цикличности и степени разветвленности. Общим для масел из любой нефти является рост вязкости масляных фракций с температурой кипения и увеличением содержания в них аренов или смолисто-асфальтеновых веществ.

По уровню вязкости нефтяные масла изменяются в широких пределах, от 4 – 6  $\text{мм}^2/\text{с}$  при 50 °C до 60 – 70  $\text{мм}^2/\text{с}$  при 100°C.

Значимость показателя вязкости при подборе масел настолько велика, что ее абсолютное значение положено в основу классификации моторных масел и маркировку масел других типов.

В условиях применения масел температурный режим может значительно колебаться, а в зависимости от этого изменяться и их вязкость. При высоких температурах масла разжижаются, а при охлаждении загустевают или вообще теряют подвижность. В первом случае уменьшается несущая способность тонкого слоя масла, разделяющего трущиеся поверхности, во втором уменьшается или вообще прекращается подача масла к узлам трения. Поэтому при оценке качества масел большое значение придают зависимости его вязкости от температуры. Для ее численной характеристики используется система индексов вязкости (ИВ) – это отношение вязкости данного масла к вязкости эталонного при определенной температуре. Эта система позволяет сравнивать разные масла между собой.

В настоящее время имеется несколько систем индексов вязкости, наибольшее распространение в мировой практике получила система Дина и Девиса. В нашей стране индекс вязкости масел определяется по таблицам комитета стандартов, мер и измерительных приборов.

Несмотря на широкое распространение характеристики масел по индексу вязкости практическая и теоритическая ценности ограничены. Это связано с зависимостью вязкости от температуры в довольно узком диапазоне: индекс вязкости Дина и Девиса в интервале от 37,8°C до 98,9°C, в отечественных стандартах от 50 до 100°C. Этот температурный интервал не может характеризовать состояние и поведение масел за его пределами. Особенно это относится к области отрицательных температур, когда может оказаться, что масла с высокими индексами вязкости теряют подвижность в результате образования коллоидной системы из сольватированных маслом кристаллов парафина, а масла с низким индексом вязкости могут ее сохранить. В то же время при высоких температурах независимо от значение ИВ масла мало различаются по вязкости. В этих условиях эксплуатации определяющую роль играет, очевидно, не вязкость, а смазывающая способность масла, так как смазка может осуществляться мономолекулярным слоем. Поэтому индекс вязкости скорее всего является показателем степени очистки масел и не может с достаточной достоверностью характеризовать его вязкостно-температурные свойства. Индекс вязкости так же, как и вязкость масел, зависит от их углеводородного состава.

Температурой вспышки называется минимальная температура, при которой пары исследуемого масла образуют с воздухом смесь, способную взгораться при внесении в нее пламени. Температура вспышки находится обычно на нижнем пределе взрываемости масел. Этот показатель весьма важен для определения наличия в маслах примеси легких фракций. С точки зрения эксплуатационных свойств температура вспышки лимитирует верхний предел работоспособности масел и используется для классификации производств, в которых применяют масла в качестве сырьевых компонентов (производство пластичных смазок,

присадок), по степени пожароопасности. Температура вспышки находится в тесной зависимости от других термических характеристик масел, таких, как температура кипения, давление паров и испаряемость.

Температура застывания не является физической характеристикой масел, так как у них нет определенной температурной точки перехода из жидкого состояния в твердое. Подвижность нефтяных масел изменяется с температурой и уменьшается при ее понижении. Температура застывания – такая температура, при которой масло достигает условно заданного предела подвижности.

Застывание нефтяных масел может быть вызвано двумя причинами – выделением при охлаждении одной из его составных частей, чаще всего парафинов или церезинов (структурное застывание) или резким увеличением вязкости содержащихся в маслах смолисто-асфальтеновых веществ и высокоциклических аренов (вязкостное застывание). Наличие двух форм застывания свидетельствует о тесной связи температуры застывания с углеводородным составом нефтяных масел [4].

Молекулярная масса является важнейшей физико-химической характеристикой масел. Это скорее качественная, чем количественная характеристика масел.

### **1.3 Пластичные смазки**

Пластичные смазки занимают промежуточное положение между твердыми смазочными материалами и маслами. В простейшем случае смазки можно рассматривать как двухкомпонентные системы, состоящие из масла (дисперсионной среды) и загустителя (дисперсионной фазы). В качестве дисперсионной среды, 75 – 95% объема смазки, используют различные смазочные жидкости. Более 95% смазок готовят на нефтяных маслах. В отдельных случаях при эксплуатации различных машин и механизмов в экстремальных условиях для смазывания их узлов трения используют смазки, приготовленные на полисилоксанах, сложных эфирах, полигликолях, синтетических углеродных маслах и других

смазочных жидкостях. Дисперсной фазой могут являться соли высших жирных кислот (мыла), твердые углеводороды и другие органические и неорганические продукты. Дисперсная фаза образует в смазках трехмерный структурный каркас, в ячейках которого удерживается масло. Поэтому при небольших нагрузках смазки ведут себя как твердые тела, а при критических, превышающих прочность структурного каркаса, они текут подобно маслам. После снятия нагрузки смазки опять приобретают свойства твердого тела. Благодаря этому применение смазок позволяет упростить конструкцию узла трения.

Дисперсионная среда и дисперсная фаза определяют основные реологические и эксплуатационные свойства смазок. Кроме этих двух компонентов в смазках всегда присутствует третий. В качестве его в составе смазок может находиться вещество, без которого либо структурированная система не может существовать, либо присутствует в ней как технологический компонент. Таким веществом, например, в солидолах является воды – стабилизатор их структуры, а в смазках на природных жирах – глицерин или высокомолекулярные спирты, образующиеся в результате расщепления глицеридов или высокомолекулярных эфиров (восков) при их омылении в процессе приготовления смазок. В мыльных смазках практически всегда присутствуют свободные кислоты и щелочи. Для регулирования процессов структурообразования, а чаще с целью улучшения эксплуатационных характеристик смазок в их состав вводят присадки различного функционального действия и твердые добавки – наполнители. Вследствие этого пластичные смазки следует рассматривать как сложные многокомпонентные системы.

К основным преимуществам смазок по сравнению с маслами можно отнести:

- способность удерживаться на наклонных и вертикальных поверхностях, не вытекать и не выдавливаться из узлов трения под действием значительных нагрузок;
- лучшие смазочные свойства (противоизносные, противозадирные);
- способность лучше защищать металлические поверхности от коррозии;

- способность обеспечивать лучшую герметизацию узлов трения и предохранять их от загрязнения;
- значительно меньшая, чем у масел зависимость их вязкости от температуры, что позволяет применять их при работе узлов трения в широком интервале температур от -60 до 200°C;
- более эффективная работа в жестких условиях эксплуатации (при одновременном воздействии высоких температур, давлений, ударных нагрузок, при переменном режиме скоростей и тому подобное);
- экономичность за счет большого ресурса работоспособности и меньшего расхода.

Обычно пластичные смазки принято классифицировать по природе загустителя, так как именно этим в наибольшей степени определяются их свойства и возможные области применения. По применяемым загустителям смазки делят на четыре основные группы:

- мыльные;
- углеводородные;
- неорганические;
- органические.

Наиболее распространены мыльные смазки, загущенные кальциевыми, литиевыми, натриевыми, алюминиевыми и другими мылами высших жирных кислот. На их долю приходится около 80% объема выпуска всех смазок. Мыльные смазки бывают обычные и комплексные. Температура применения обычных мыльных смазок ниже комплексных. Обычные кальциевые применяют до 60 – 80°C, комплексные кальциевые – до 140 – 200°C, обычные литиевые – до 120 – 130°C, комплексные литиевые – до 150 – 170°C, обычные алюминиевые – до 60 – 70°C, а комплексные алюминиевые – до 160 – 180°C. На долю углеводородных смазок, загущенных парафинами или церезинами, приходится 10 – 12%. Они работоспособны до 50 – 60°C и применяются в основном для консервации машин, механизмов и металлических изделий.

В большинстве случаев смазки используют для уменьшения трения и износа труящихся деталей, то есть в качестве антифрикционных смазочных материалов. Только 14% смазок расходуется для консервации и 2% для герметизации.

В разработанной и введенной в действие классификации, которая приведена в таблице 1, в качестве основного классификационного признака принято разделение смазок по областям применения. [6]

Таблица 1 – Классификация пластичных смазок по ГОСТ 23258 – 78

Основное назначение	Подгруппа	Применение
Антифрикционные		
Снижение износа и трения скольжения сопряженных деталей	Общего назначения для обычных температур	Узлы трения с рабочей температурой до 70°C
	Общего назначения для повышенных температур	Узлы трения с рабочей температурой до 110°C
	Многоцелевые	Узлы трения с рабочей температурой от -30 до 130°C в условиях повышенной влажности среды В достаточно мощных механизмах обеспечивают работоспособность до -40°C и ниже
	Термостойкие	Узлы трения с рабочей температурой 150°C и выше
	Морозостойкие	Узлы трения с рабочей температурой -40°C и ниже
	Противозадирные и противоизносные	Подшипники качения при контактных напряжениях 250 кПа и подшипники скольжения при удельных нагрузках выше 15 кПа. Содержат противозадирные и противоизносные присадки или твердые добавки
	Химически стойкие	Узлы трения, имеющие контакт с агрессивными средами
	Приборные	Узлы трения приборов и точных механизмов

Продолжение таблицы 1

	Редукторные (трансмиссионные)	Зубчатые и винтовые передачи всех видов
	Приработочные пасты	Сопряженные поверхности, с целью облегчения сборки, предотвращения задиров и ускорения приработки
	Узкоспециализированные (отраслевые)	Узлы трения, смазки для которых должны удовлетворять дополнительным требованиям, не предусмотренным в вышеперечисленных подгруппах (прокачиваемость, искрогашение)
	Брикетные	Узлы и поверхности скольжения с устройствами для использования смазок в виде брикетов
Консервационные		
Предотвращение коррозии металлических изделий и механизмов при хранении, транспортировании и эксплуатации		Металлические изделия и механизмы всех видов, за исключением стальных канатов и случаев, требующих использования консервационных масел или твердых покрытий
Канатные		
Предотвращение износа и коррозии стальных канатов		Стальные канаты и тросы, органические сердечники стальных канатов
Уплотнительные		

## Окончание таблицы 1

Герметизация зазоров, облегчение сборки и разборки арматуры, сальниковых устройств, резьбовых, разъемных и подвижных соединений, в том числе вакуумных систем	Арматурные	Запорная арматура и сальниковые устройства
	Резьбовые	Резьбовые соединения
	Вакуумные	Подвижные и разъемные соединения и уплотнения вакуумных систем

Общий объем производства и потребления пластичных смазок за последние годы стабилизировался, несмотря на значительное увеличение выпуска транспортной и сельскохозяйственной техники, различных машин и механизмов. Стабилизация и возможное снижение объемов производства и потребления смазок достигнуты благодаря увеличению выработки новых прогрессивных видов смазок, рациональным выбором тары, улучшением конструкций узлов трения современных машин и механизмов, а также сокращением удельных норм расходования смазок.

В соответствии с современными представлениями существует классификация пластичных смазок по типу загустителя, приведенная в таблице 2.

Таблица 2 – Общая характеристика смазок по типу загустителя

Тип загустителя	Концентрация загустителя, %	Водостойкость	Защитные свойства	Температурный диапазон применения, °C	Характеристика
Мыльные смазки					
Гидратированные кальциевые мыла (солидолы)	12 – 18	Хорошая	Хорошие	От -30 до 80	Дешевые крупнотонажные смазки общего назначения
Комплексные кальциевые мыла	7 – 12	Средняя	Средние	От -50 до 200	Многоцелевые, низко- и высокотемпературные
Литиевые мыла стеариновой, олеиновой, рицинолевой и других кислот	8 – 20	Хорошая	Средние	От -60 до 120	Низко- и высокотемпературные, авиационные
Натриевые и натриево-кальциевые мыла	15 – 30	Низкая	Низкие	От -40 до 110	Дешевые смазки для повышенных температур
Литиевые мыла оксистеариновой кислоты	6 – 12	Хорошая	Средние	От -50 до 140	Многоцелевые, высокотемпературные

## Продолжение таблицы 2

Комплексные натриевые мыла	15 – 25	Низкая	Низкие	До 200	Высокотемпературные, приборные, многоцелевые
Бариевые и комплексные бариевые мыла	20 – 30	Хорошая	Хорошие	>>150	Многоцелевые
Алюминиевые и комплексные алюминиевые мыла	6 – 10			>>220	Многоцелевые
Углеводородные органические и неорганические смазки					
Твердые углеводороды	15 – 30	Очень хорошая	Очень хорошие	От -30 до 60	Консервационные, оптические
Силикагель	6 – 10	Хорошая	Средние и низкие	От -50 до 250	Многоцелевые
Дисульфид молибдена или графит	50 – 90		Средние и низкие	До 300	Для тихоходных подшипников и резьбовых соединений
Пигменты	20 – 50		Средние	Больше 300	Высокотемпературные

Подшипники качения – наиболее распространенный узел трения, в котором применяются пластичные смазки. Многообразие типов подшипников, а также условий их эксплуатации привело к созданию большого ассортимента смазок.

Обеспечение безопасности движения подвижного состава предъявляет высокие требования к надежности и долговечности подшипников. Как правило,

узлы трения с небольшой частотой вращения заполняют смазкой полнее, чем быстроходные узлы, так как излишнее количество смазки удаляется из зон с высокими скоростями взаимного перемещения поверхностей трения вследствие резкого падения значений эффективной вязкости смазки. В наиболее ответственных случаях количество смазки в узле трения определяется опытным путем. Установлено, что оптимальное количество смазки в буксовых узлах подвижного состава составляет около одной трети свободного объема буксы [1].

Подбор и применение смазок значительно зависят от условий эксплуатации. Предварительный подбор смазки для конкретного узла трения можно произвести исходя из знаний следующих факторов:

- свойства и особенности пластичных смазок;
- конструктивные особенности узлов трения (тип, размер, характер движения трущихся деталей, герметизация);
- характеристики материалов, с которыми смазка находится в контакте;
- условия работы (температура, скорость, нагрузка, наличие вибрации, радиации).

Основные физико-химические свойства смазок приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные физико-химические свойства смазок

Наименование показателя	Характеристический параметр	Способ вычисления	Марка прибора	Методы испытаний по ГОСТ	Примечание
Предел прочности на сдвиг, Па	$\tau$	$\text{Н}/\text{м}^2$	K-2, СК	7143 – 73	–
Предел прочности на разрыв, Па	$\sigma$	$\text{Н}/\text{м}^2$	Тиксометр	7143 – 73 19295 – 73	– –
Механическая стабильность, %	$K_b$ $K_p$	$\frac{\sigma_b - \sigma_p}{\sigma_h} \cdot 100$	То же	19295 – 73 19295 – 73	$\sigma_h$ – у неразрешенной смазки; $\sigma_p$ – у разрушенной смазки; $\sigma_b$ – у смазки после разрушения и восстановления
Вязкость, Па	$\eta$	$\frac{\tau}{\Delta}$	АКВ	7163 – 63	Д – градиент скорости сдвига, $\text{с}^{-1}$

Продолжение таблицы 3

Коллоидная стабильность, %	X	$\frac{M_1 - M_2}{M} \cdot 100$	KCA	7142 – 74	M – масса испытуемой смазки; $M_1$ – масса смазки с фильтром до испытаний; $M_2$ – масса смазки с фильтром после испытаний
Химическая стабильность, мг КОН/г	X	$X = K_1 - K_2$	Нет	5734 – 76	$K_1$ – содержание кислот после окисления; $K_2$ – до окисления
Термоупрочнение %	$\tau$	$\frac{\tau^1 - \tau^2}{\tau^1} \cdot 100$	СК	7143 – 73	$\tau^1$ – до термообработки; $\tau^2$ – после термообработки

Окончание таблицы 3

Испаряе- мость, %	X	$\frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100$	Термо- стат	9566 – 74	$M_1$ – масса смазки до испыта- ний; $M_2$ – масса по- сле испы- таний
Противоиз- носные и про- тивозадирные свойства	$P_k$ – критиче- ская нагрузка, Па $P_c$ – нагрузка сваривания, Па $I_3$ – индекс за- дира $D_H$ – показатель износа	$\frac{\sum Q}{n}$	Четы- рехша- риковая машина трения ЧМТ-2	9490 – 75	$\sum Q$ – сумма условной нагрузки до свари- вания; n – число испыта- ний
Коррозионное действие на металлы	Визуально	–	Нет	9,080 – 77	–

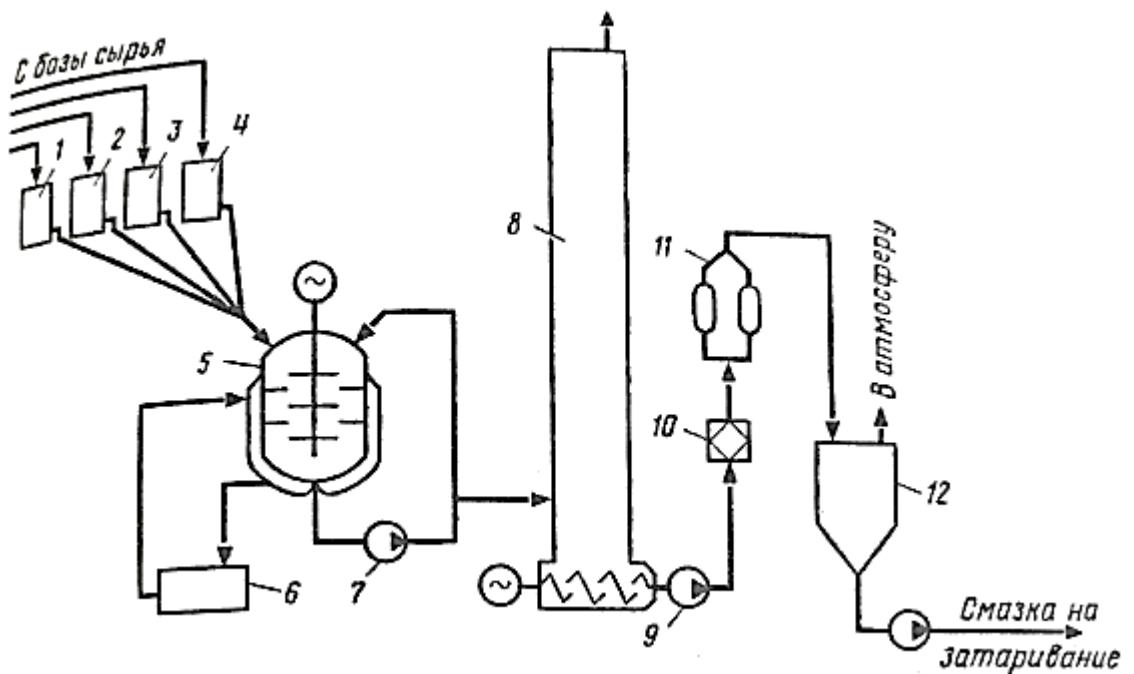
Однако окончательное решение о выборе смазки можно принять только по результатам эксплуатационных испытаний смазки в реальных узлах трения. Рациональный подбор и применение пластичных смазок позволяет увеличить долговечность работы машин и механизмов, сократить расходы на их техническое обслуживание и получить значительный экономический и технический эффект.

Особенность применения смазок для зубчатых передач тягового привода локомотивов и электроподвижного состава (ЭПС) заключается в способности

предотвращать задир зубьев и обеспечивать безыносный режим трения в широком интервале температур. Отсутствие должной герметичности этого узла трения предъявляет особые требования к вязкости смазочного материала.

Сейчас на железнодорожный транспорт поступает два сорта осенне-зимней смазки – летний и зимний. Применение для тягового привода летнего сорта смазки СТП не оправдало себя по причине ее высокой вязкости. Зимний сорт смазки СТП, применяемый круглогодично, практически не оправдывает себя.

Известны два основных вида процесса изготовления смазок – периодический и непрерывный. Процесс изготовления разнотипных смазок, например, кальциевых (солидолов) и литиевых, существенно отличается друг от друга, однако в общих чертах весь технологический цикл получения мыльных смазок периодическим способом выглядит следующим образом: подготовка сырья – дозировка – приготовление мыла или мыльного концентрата, диспергирование мыла в масле – удаление избытка влаги – расплавление – охлаждение – отделочные операции [6]. Принципиальная схема процесса производства литиевых смазок показана на рисунке 1.

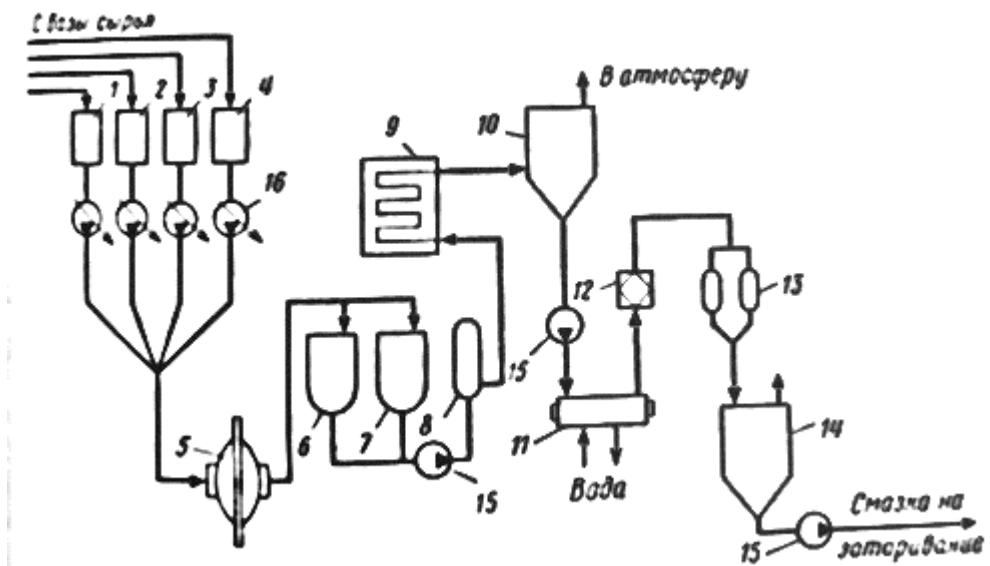


1-4 – аппаратура для дозировки сырья; 5 – контактор; 6 – теплоноситель; 7 – насос циркуляции и перекачки расплава смазки; 8 – колонна для охлаждения смазки; 9 – насос подачи смазки на гомогенизацию; 10 – гомогенизатор; 11 – фильтр; 12 – деаэратор.

Рисунок 1 – Принципиальная схема получения мыльных смазок полунепрерывным методом

Непрерывные процессы производства мыльных смазок основаны на постоянном взаимодействии омыляемых компонентов, что обеспечивается регламентируемой подачей компонентов смазки дозирующими насосами. Технологический процесс изготовления мыльных смазок выглядит следующим образом: сырье и компоненты – дозирующие насосы – смеситель или реактор-нагрев мыльно-масляной смеси с выпаркой влаги и расплавом, охлаждение в холодильниках – гомогенизация – расфасовка.

Схема наиболее современной технологической установки для получения литиевых смазок непрерывным способом показана на рисунке 2.



1-4 – питающие емкости сырья и компонентов; 5 – аппарат вихревого слоя (реактор); 6-7 – промежуточные емкости мыльно-водомасляной смеси; 8 – демпфер; 9 – нагреватель; 10 – испаритель; 11 – холодильник-вотатор; 12 – гомогенизатор; 13 – фильтр; 14 – деаэратор; 15 – насос; 16 – дозирующие насосы

Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема получения литиевых смазок непрерывным методом

На железнодорожном транспорте используется более тридцати наименований антифрикционных смазочных материалов. Кроме пластичных смазок в железнодорожном хозяйстве используются полужидкие, жидкые, твердые и пастообразные продукты.

Преимуществом консервационных или защитных смазок является легкость их нанесения на защищаемые поверхности, а также легкость их удаления с этих поверхностей. Существуют рабочие консервационные смазки, которые могут выполнять функцию защитного и антифрикционного материалов. В ряде случаев смазки оказываются более эффективным средством, чем лакокрасочные покрытия при защите деталей и механизмов машин от воздействия воды, пара, воздуха.

К недостатку пластичных смазок как консервационного материала относится их малая механическая прочность.

Защитные свойства мыльных смазок в большей степени зависят от типа загустителя. Как правило, консервационные смазки наносят на хорошо очищенные, обезжиренные поверхности. Наносить смазку толстым слоем не рекомендуется, так как большие объемы сползают с вертикальных поверхностей, что ослабляет защитную способность и приводит к ее перерасходу. Срок защиты деталей от коррозии зависит также и от способа упаковки изделия.

Рекомендации по подбору консервационных смазок с учетом климатических факторов и условий хранения даны в ГОСТ 9.014 – 78. По истечении срока защиты не рекомендуется производить переконсервацию, так как реконсервация изделий является трудоемкой и дорогостоящей операцией. Достаточно реконсервировать несколько деталей и тщательно их осмотреть. При отсутствии признаков коррозии можно продолжать хранение законсервированных изделий.

Реконсервация наружных деталей, запасных частей, инструмента, машин, станков, узлов в сборе производится путем механического удаления с помощью ветоши. В ряде случаев применяются доступные растворители, после чего детали необходимо тщательно протереть и высушить. Изделия высокой точности – подшипники качения после удаления с них консервационной смазки подлежат тщательной промывке в горячей воде, сушке с последующим смазыванием поверхностей легким минеральным маслом [3].

## **2 Жизненный цикл смазочных материалов**

### **2.1 Порядок допуска смазочных материалов к производству и применению**

В таблице 4 приведены основные требования к жидким смазочным материалам.

**Таблица 4 – Основные требования к жидким смазочным материалам**

№ п/п	Требования к смазочным мате- риалам	Масла			
		моторные	трансмис- сионные	гидравли- ческие	индустри- альные
1	Высокие моющие и дисперги- рующе-стабилизирующие свой- ства	+	-	-	-
2	Высокая термоокислительная стабильность	+	+	+	+
3	Высокая температурная ста- бильность	+	+	+	-
4	Достаточные противоизносные свойства	+	+	+	+
5	Отсутствие коррозионного воз- действия на материалы деталей	+	+	+	+
6	Стойкость к старению	+	-	-	-
7	Совместимость с материалами уплотнений	+	+	+	+
8	Высокая стабильность при транспортировании	+	+	+	+
9	Малая вспениваемость при вы- сокой и низкой температурах	+	+	+	-
10	Малая летучесть (экологич- ность)	+	+	-	-

Порядок допуска распространяется на такие виды топлив как: моторные, компрессорные, трансмиссионные, пластичные смазки, антифрикционные, консервационные и твердые смазочные материалы.

Для получения допуска на производство и применение смазочных материалов проводят их испытания, которые подразделяют на приемочные и квалификационные.

Цель приемочных испытаний – подтверждение соответствия качества разработанного нефтепродукта требованиям технического задания по указанной в нем программе испытаний. Приемочные испытания включают в себя следующие этапы:

- лабораторно-стендовые – для оценки компонентного состава продукта и его соответствия заданным показателям;
- стендовые – для оценки надежности и ресурса работы изделия на опытном продукте;
- полигонные – для оценки работы изделия на опытном продукте в заданных условиях эксплуатации;
- эксплуатационные – для проверки особенностей работы техники с применением данного вида ГСМ в ожидаемых условиях эксплуатации.

Квалификационные испытания проводятся при модернизации продукции. Они необходимы для подтверждения соответствия качества смазочных материалов требованиям нормативной документации, такой как ГОСТ, ТУ и т.д., для оценки качества образца смазочного материала, который ранее был допущен к производству на других предприятиях.

Квалификационные испытания проводятся в объеме требований нормативного документа и норм комплекса методов квалификационной оценки на данный вид материала.

К общим показателям свойств моторных, трансмиссионных и гидравлических масел относятся вязкость, коррозионность [3].

Выпуск в обращение смазочных материалов должен осуществляться после проверки соответствия техническому регламенту.

Каждая партия смазочных материалов, масел и специальных жидкостей, поступающих на предприятие, должна сопровождаться паспортом качества продукции и паспортом безопасности.

Паспорт качества должен содержать:

- наименование, обозначение марки и назначение продукции;
- наименование изготовителя;
- нормативные значения показателей безопасности продукции в соответствии;
- обозначение документа, в соответствии с которым производится продукция (при наличии);
- нормативные значения показателей продукции, установленные нормативным документом, в соответствии с которым произведена продукция, и фактические результаты испытаний;
- сроки и условия хранения;
- дата изготовления (месяц, год);
- номер партии;
- номер паспорта;
- подпись лица, оформившего паспорт.

## **2.2 Теоретические аспекты механизма старения смазочных материалов**

При эксплуатации машин и агрегатов смазочные материалы подвергаются старению – изменению свойств во времени. В результате этого изменяются стандартные показатели качества: температура вспышки, вязкость, кислотное число, плотность, оптические свойства, то есть физическое состояние и химический состав. Для прогнозирования ресурса необходимо знать механизм старения, математическое описание и предельно допустимые значения показателей качества.

Масло при эксплуатации подвергается внешним воздействиям в присутствии контактирующих материалов (металлы, полимеры, вода, воздух, кислоты), многие из которых обладают катализаторами химических процессов, ускоряющих его старение. Постоянно действующим фактором является тепловая энергия, иногда радиационная и электрическая, поэтому они определяют статические процессы старения. Механическая энергия возникает при дросселировании, сжатии разрежении, вибрациях, перемешивании и разделении поверхностей трения. В результате внешних воздействий происходит комплекс физико-химических изменений, которые можно разделить на четыре группы:

- изменения физического характера – испарение компонентов масла, накопление продуктов изнашивания, растворение газов и воды, изменение количественного состава присадок за счет образования сорбционных пленок на поверхности трения;
- изменения химического характера – окисление углеводороов базовых масел, реакции гидролиза базового масла и присадок вследствие присутствия воды и водных растворов, реакции присадок с металлами и другие процессы;
- изменения механохимического характера – участие масла в процессах трения, перемешивания, трибохимических процессах на поверхностях трения, а также стимулирующее влияние механических воздействий на химические реакции;
- изменения, вызванные влиянием продуктов неполного сгорания топлива при работе двигателей внутреннего сгорания, оксидов азота, серы и углерода.

Термоокислительные процессы в базовом масле являются причиной его старения. Они происходят в виде комплекса сложных многостадийных реакций углеводородов с кислородом (атмосферным, растворенным в жидкости).

На первой стадии окисления происходит инициирование молекул тепловой энергией, которое может усиливаться механическим и радиационным воздействием и приводить к диссоциации и разрыву химических связей с образованием свободных радикалов  $R$ , представляющих собой части молекул, на конце

которых имеется неспаренный электрон. Дальнейшие стадии представляют взаимодействие активированных фрагментов молекул в виде цепной реакции автоокисления, при этом радикалы интенсивно реагируют с кислородом, образуя радикалы перекисей  $RO_2$ , которые реагируют с исходными молекулами углеводородов, образуют углеводородные радикалы  $R$  и молекулы гидроперекисей  $ROOH$ . В результате окисления образуется вода, смолы, кислоты, сложные эфиры, увеличивающие кислотность масла.

Цепная реакция автоокисления значительно замедляется при наличии в маслах антиокислительных присадок. Роль присадок сводится к прерыванию цепных реакций автоокисления и превращению активных радикалов и гидроперекисей в стабильные продукты.

Математическое описание процесса окисления масла из-за разнообразия химической структуры присадок и различия характера их взаимодействия с поверхностью деталей, маслами и продуктами окисления связано со значительными трудностями. Большая часть процессов окисления углеводородов относится к химическим реакциям первого порядка, описываемым кинетическим уравнением:

$$v_i = k_i \cdot c_i,$$

где  $c_i$  – концентрация вещества;

$k_i$  – константа скорости реакции.

Решение этого уравнения приводит к зависимости изменения концентрации от времени реакции:

$$c_i = c_{0i} \cdot e^{k_i \cdot t}.$$

Обычно множество изменений концентрации  $c_i$  компонентов окисления оценивают одним интегральным критерием, например кислотным числом. Кинетические кривые процесса окисления могут быть описаны уравнением:

$$y = y_0 \cdot e^{xn},$$

где  $y_0$  – начальное значение показателя,

$n$  – показатель степени ( $n=1$ , иногда  $0,8, \dots, 2,0$ ).

Время достижения одинаковых величин  $y/y_0$  при разных скоростях реакции  $k$  определяется соотношением  $k_1 \cdot t_1 = k_2 \cdot t_2$ . Константу скорости процесса окисления  $k$  определяют по уравнению Аррениуса:

$$k = A e^{\frac{I}{RT}} \text{ или } \ln k = A - \frac{I}{RT},$$

где  $A$  – постоянная,  $1/c$ ;

$I$  – энергия активации, Дж/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная; постоянная  $A$  характеризуется индивидуальными особенностями нефтепродукта.

При описании процесса старения масла константа скорости химической реакции  $k$  и энергия активации  $I$  приобретают обобщенный характер, интегрально отражая множество происходящих процессов. В случаях форсирования температурного режима испытаний смазочных материалов возможно изменение закономерности процесса окисления, начиная с некоторого времени.

Это может быть вызвано разложением антиокислительной присадки при высоких температурах или образованием новых соединений, катализически действующих на процесс окисления. Поэтому ускоренные испытания смазочных материалов обычно проводят не выше температуры, установленной экспериментально.

Для повышения антикоррозионных и противоизносных свойств смазочных материалов их легируют присадками, содержащими органические кислоты. При старении масла одновременно происходит два процесса: накопление кислых продуктов за счет окисления базового масла и расходование кислых присадок и формирование граничных защитных пленок, и участие в химических реакциях.

В этом случае процесс старения можно выразить уравнением

$$y = y_1 \cdot e^{kt} + \frac{2 \cdot y_2}{e^{mkt} + e^{-mkt}},$$

где  $y_1, y_2$  – исходная величина кислотного числа базового масла и соответственно присадок;

$m$  – коэффициент;

$mk$  – константа скорости расходования присадок;

$k$  – константа скорости окисления базового масла.

Каталитическое влияние контактирующих материалов выражается в многократном участии их в инициировании молекул масел, что обеспечивает ускорение процесса окисления и расходование антиокислительных присадок. Наибольшей каталитической активностью обладают металлы переменной валентности  $Cu, Pb, Co$  и их соли, в меньшей мере  $Fe, Mn, Cr$ , алюминий и олово всегда покрыты защитной пленкой и практически не ускоряют окисление.

Сильное каталитическое действие производят резины, это можно объяснить тем, что в составе их загрязнения присутствуют соли металлов переменной валентности. Кроме того, при высоких температурах в резине происходят аналогичные процессы с образованием радикалов примесей и гидроперекисей, как и в масле [3].

### 2.3 Современные методы экспресс-контроля смазочных материалов

Ресурс работы смазочного материала независимо от базовой основы и легирующих присадок определяется изготовителем техники, в которой запланировано его использование на основе испытаний. Основными показателями, характеризующими качество смазочного материала, являются термическая стойкость и термоокислительная стабильность, смазывающие свойства и вязкость. Данные показатели используются при выборе смазочного материала и практически не применяются (кроме вязкости) при обосновании ресурса работы. В настоящее

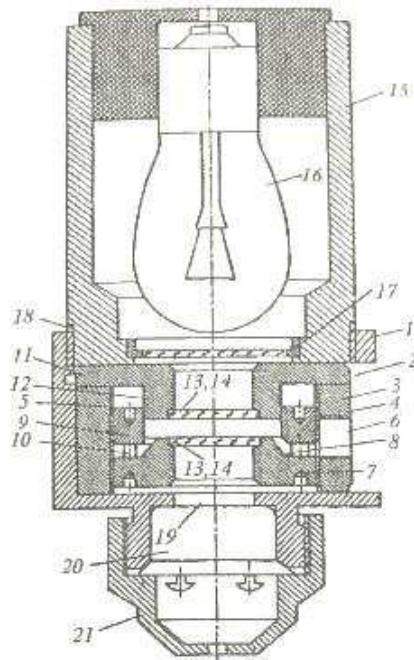
время критерием установления сроков замены смазочных материалов может служить наработка (ч) или пробег (км). При такой системе замены масел и смазок не учитывается фактическое состояние смазочного материала.

Для потребителей ориентировочным критерием, определяющим необходимость замены масла, является его потемнение. Однако, например, в процессе работы двигателя в мотором масле накапливаются продукты неполного сгорания топлива (сажа). Чем ниже качество топлива и выше его расход, тем хуже условия работы двигателя и тем больше сажи попадает в масло. Кроме того, моторные масла не могут выдерживать высоких температур в двигателе и частично окисляются, и разлагаются. Продуктами окисления являются темные смолистые вещества. Хорошие масла, содержащие эффективные моюще-диспергирующие и антиокислительные присадки, удерживают продукты окисления и сажу от коагуляции и осаждения и тем самым сохраняют чистыми поверхности деталей двигателя, защищая их от отложения лака и нагара. В этой связи концентрация продуктов окисления и сажи может служить объективным критерием оценки момента замены моторных масел.

При разработке приборов за контролем смазочных материалов учитывалась возможность их использования при оценке эксплуатационных свойств работающих масел в различных механизмах, при этом к ним выдвигались следующие требования:

- малый объем испытуемой пробы, для исключения влияния отбора масел на доливы;
- автоматизация процессов измерения;
- имитация процессов, протекающих в процессе работы механизма;
- универсальность, обеспечивающая контроль моторных, трансмиссионных, гидравлических и индустриальных масел;
- возможность оценки состава продуктов окисления смазочных материалов.

Для исследования механизма старения смазочных материалов в процессе эксплуатации механизмов разработано фотометрическое устройство прямого фотометрирования, приведенное на рисунке 3.



1 – корпус, 2 – отверстие, 3 – кювета, 4 – втулка, 5 – резьба, 6 – отверстие, 7 – пробка резьбовая, 8 – выступ, 9 – шайба стопорная, 10 – выступ сегментный, 11 – крышка, 12 – выступ, 13,14 – окна, 15 – втулка, 17 – светофильтр, 18 – резьба, 19 – окно, 20 – фотоэлемент, 21 – гайка

Рисунок 3 – Фотометрическое устройство

Фотометрический анализатор масла содержит полый корпус 1, выполненный с боковым целевым отверстием 2, перпендикулярным его продольной оси с углублённым в корпусе на величину, равную половине диаметра кюветы. Через щелевое отверстие 2 в полость корпуса 1 заведена кювета 3, образованная втулкой 4 с внутренними резьбовым 5 и боковым 6 отверстиями, резьбовой пробкой 7 с коническим выступом 8 на одном торце, стопорной шайбой 9 с сегментными выступами 10 и съемной крышкой 11 с цилиндрическим выступом 12, помещенным в отверстие стопорной шайбы 9. На торцах конического выступа пробки 7

и цилиндрического выступа крышки 12 герметично установлены окна 13 и 14. Кювета 3 прижата втулкой 15 узла крепления источника 16 света со светофильтром 17, соединенной с корпусом 1 по резьбе 18. На другом конце корпуса 1 перед окном 19 установлен фотоэлемент 20, удерживаемый в нем посредством гайки 21.

Настройка фотометра заключается в настройке кюветы 3 на несколько толщин фотометрируемого слоя и нанесении меток на элементах кюветы. Толщина фотометрируемого слоя устанавливается с помощью щупа.

Фотометр работает следующим образом: в соответствии с маркой масла устанавливается необходимая толщина фотометрируемого слоя. Для этого снимают крышку 11, откручивают стопорную шайбу 9 и поворотом резьбовой пробки 7 совмещают необходимую метку с риской на втулке 4 кюветы. Заданные положения резьбовой пробки 7 фиксируют стопорной шайбой 9, закручивая ее до упора сегментных выступов 10 в пробку 7. После установления заданной толщины из масляной системы механизма отбирают пробу масла, которую наносят на окно 14. Затем устанавливают крышку 11. Заполненную таким образом кювету 3, помещают в полость корпуса 1 через его щелевое отверстие 2, после чего прижимают втулкой 15 узла крепления источника 16 света. Далее измеряется оптическая плотность масла и определяется степень его пригодности к дальнейшему применению.

Промывку кюветы проводят путем вытираания влажной ветошью, смоченной в бензине окон 13 и 14. Для стока промывочной жидкости и избыточного масла при заполнении кюветы выступ 8 резьбовой пробки выполняется коническим, что позволяет избыточной жидкости через щели выступов 10 стопорной шайбы вытекать через отверстие 6.

При толщинах до 1 мм за счет сил поверхностного сцепления масло не вытекает, а при больших толщинах для предохранения вытекания боковое отверстие 6 во втулке 4 кюветы закрывается пробкой.

Оптическая плотность определяется по формуле

$$D = \lg \frac{I_\Phi}{P \cdot K},$$

где  $D$  – оптическая плотность анализируемого масла;

$I_\Phi$  – принятая постоянная величина фототока, образующегося при отсутствии масла в кювете (300 мкА);

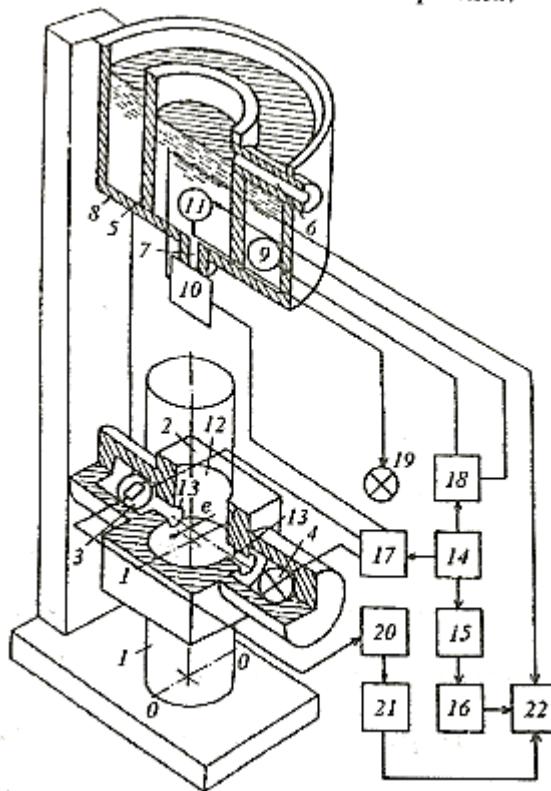
$P$  – значения фототока при фотометрировании масла, мкА;

$K$  – предел измерения.

Величина оптической плотности, по которой устанавливается предельное состояние масла, устанавливается экспериментально на основе статических данных и обосновывается испытаниями на машине трения по противоизносным свойствам масла.

Фотометр предназначен для оценки степени окисления гидравлических, индустриальных, моторных и трансмиссионных масел. Критерием оценки масел является коэффициент поглощения светового потока, предельное значение которого для каждого сорта масла устанавливается экспериментально с применением методов математической статистики.

Важным эксплуатационным параметром смазочных материалов является вязкость. Изменения вязкости не должно превышать 20-30% от исходной. Однако вязкость измеряется лабораторными приборами при температурах 40, 50 и 100°C. Измерение вязкости малых объемов требует разработки новых методов и средств. Вискозиметр показан на рисунке 4.



1 – емкость, 2 – корпус, 3 – фотоэлемент, 4 – источник света, 5 – сосуд 6 – патрубок, 7 – капилляр, 8 – термостат, 9 – нагреватель, 10 – вентиль электромагнитный, 11 – датчик температуры, 12,13 – отверстие, 14 – блок питания, 15 – стабилизатор, 16 – генератор импульсов, 17 – блок управления, 18 – регулятор температуры, 19 – индикатор, 20 – измерительный мост, 21 – каскад управления фотореле, 22 – счетчик импульсов

Рисунок 4 – Вискозиметр

Устройство для измерения вязкости содержит измерительную емкость 1, установленную в корпусе 2 фотоэлектрического уровнемера, образованного фотоэлементом 3 и источником света 4. Над измерительной емкостью находится наполнительный сосуд 5 с отводящим патрубком 6 и капилляром 7, помещенный в термостат 8. В полости между стенками термостата 8 и наполнительного сосуда 5 установлен нагревательный элемент 9. Капилляр 7 закрывается электромагнитным вентилем 10. В накопительном сосуде 5 установлен датчик 11 температуры.

Корпус 2 фотометрического уровнемера имеет отверстие 12 для измерительной емкости 1 и отверстие 13 для формирования узкого пучка лучей от источника 4 света к фотоэлементу 3. Ось отверстия 13 смешена относительно оси отверстия 12 на величину, необходимую для использования эффекта преломления света и равную 0,13 – 0,3 наружного диаметра измерительной емкости.

Блок-схема устройства содержит источник питания 14, стабилизатор напряжения 15, генератор импульсов 16, блок управления 17, регулятор температуры 18, индикаторную лампочку 19, измерительный мост 20, каскад управления 21 фотореле и счетчик импульсов 22.

Устройство работает следующим образом: при закрытом вентиле 10 в наполнительный сосуд 5 заливается определенный объем испытуемой жидкости. От источника питания 14 через стабилизатор 15 подается напряжение на генератор импульсов 16. Одновременно через регулятор температуры 18 подается напряжение на нагревательный элемент 9 и датчик температуры 11. Происходит терmostатирование испытуемой жидкости. При наборе заданной температуры зажигается индикаторная лампочка 19, свидетельствующая о готовности прибора к измерению.

Включают тумблер «Измерение» блока управления 17, при этом открывается электромагнитный вентиль 10, и испытуемая жидкость из накопительного сосуда 5 через капилляр 7 поступает в измерительную емкость 1. Одновременно включается источник света 4, от которого через отверстие 13 формируется узкий пучок света, который попадает на фотоэлемент 3 и изменяет сопротивление плеча измерительного моста 20. Сигнал рассогласования подается на каскад управления фотореле 21 и включается счетчик импульсов 22. Отсчет импульсов прекращается при достижении жидкостью установленного уровня при наполнении емкости. Жидкость вызывает отклонения светового потока от фотоэлемента 3 и таким образом отключает счетчик импульсов 22.

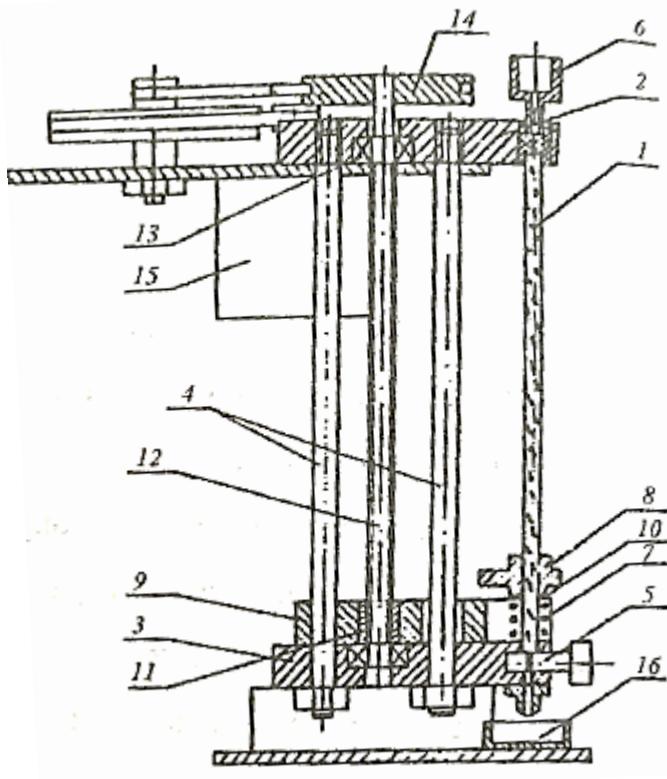
Для количественного определения воды в углеводородных жидкостях разработаны устройство и способ, согласно которому исследуемую пробу нефте-

продукта формируют в виде столба с помощью капилляра с внутренним диаметром 1,2-2,5 мм. Нагрев столба проводят локально по кольцу до температуры 120-150°С и при этом перемешивают зону нагрева снизу-вверх. Непосредственно над зоной нагрева расположена зона охлаждения, которая перемещается одновременно с зоной нагрева. При наличии влаги в пробе пары воды, подымаясь вверх, конденсируются, попадая в зону охлаждения. В этой связи между зонами нагрева и охлаждения при их подъеме концентрация влаги непрерывно увеличивается и по достижении определенного значения образуется прослойка из паров воды, разрывающая пробу на два участка. По высоте нижнего участка пробы определяют количество воды в ней.

Эффект образования прослойки с разрывом столба пробы наблюдается при диаметре капилляра 1,2-2,5 мм. Данный диапазон диаметров столба установлен экспериментально. При диаметре меньше 1,2 мм затруднено заполнение капилляра исследуемой пробой, а при диаметре более 2,5 мм не обеспечивается определение малых концентраций влаги, так как не происходит разрыв столба исследуемой пробы.

Концентрация влаги в пробе определяет высоту разрыва столба, при этом, чем меньше концентрация влаги, тем больше высота нижнего участка столба, на котором произойдет его разрыв. Пользуясь тарировочным графиком зависимости величины высоты образования разрыва столба от концентрации влаги для определенного температурного режима и геометрических размеров исследуемого столба пробы, определяют концентрацию воды в пробе.

Устройство для количественного определения воды, смотреть рисунок 5, по данному способу состоит из градуированного капилляра 1 с внутренним диаметром 1,5 мм, установленного в расположенных одна над другой платформах, жестко связанных между собой направляющими 4.



1 – капилляр, 2,3 – платформа, 4 – направляющая, 5 – кран-пробка, 6 – емкость наливная, 7 – нагреватель, 8 – холодильник, 9 – каретка, 10 – прокладка, 11 – гайка, 12 – винт, 13 – подшипник, 14 – шкив, 15 – электродвигатель, 16 – емкость

Рисунок 5 – Устройство для определения концентрации воды в смазочных материалах

Нижний торец капилляра 1 соединен с кран-пробкой 5, а верхний – наливным стаканом 6. Кольцевой нагрев капилляра 1 обеспечивает нагреватель 7, а кольцевое охлаждение капилляра – холодильник 8. Нагреватель и холодильник установлены на каретке 9, причем холодильник 8 расположен непосредственно над нагревателем и отделен от последнего термоизолирующей прокладкой 10.

Каретка 9 установлена на направляющих 4 и выполнена с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения с помощью винтовой

пары, гайка 11 которой расположена в каретке 9, а винт 12 на подшипниках 13 качения установлен на платформах 2 и 3. Винт 12 с помощью шкива соединен с электродвигателем 15.

Для слива исследуемой пробы из капилляра 1 предназначена емкость 16, для остановки каретки в крайних положениях устройство снабжено конечными выключателями, отключающими электродвигатель 15.

Разработанные способ и устройство предназначены для определения количества растворимой влаги в нефтепродуктах.

Для оценки качества смазочных материалов разработан диагностический комплекс, включающий фотометр, вискозиметр, прибор для определения температуры вспышки, ферромагнитный сепаратор, прибор для определения термоокислительной стабильности и прибор для определения температурной стойкости [3].

### **3 Надежность элементов подвижного состава и пути**

Одной из основных проблем железнодорожного транспорта является обеспечение надежности всех элементов подвижного состава и пути. Наиболее напряженным узлом трения является пара «колесо-рельс» (смотреть рисунок 6), поскольку взаимодействие этих деталей одновременно происходит как по поверхностям катания, так и между гребнем колеса и боковой поверхностью рельса [8].



**Рисунок 6 – Трибоконтакт «колесо-рельс»**

Основной причиной переточки колесных пар является износ гребней. В год перетачивается до 1 миллиона колесных пар. Учитывая, что стоимость переточки 1 пары составляет около 8 тысяч рублей, не считая затрат на преждевременный выход из строя подвижной единицы, вопрос повышения долговечности колесной пары является актуальным.

Взаимодействие колеса и рельса является физической основой движения поездов по железным дорогам. Именно оно во многом определяет безопасность,

а также такие важнейшие технико-экономические показатели как масса поездов, скорость их движения и уровень эксплуатационных расходов.

Рельсосмазывание является основным способом предотвращения преждевременного бокового износа головки рельса и износа гребней колесных пар локомотивов.

Локомотивные бригады рельсосмазывателей руководствуются в своей работе технологическими инструкциями, составленными для каждого участка обращения, перечнями подлежащих смазыванию кривых с координатами начала и конца смазывания, журналом наблюдений за износом рельсов. В депо ведутся журналы учета работы рельсосмазывателей, в них фиксируется количество смазанных за поездку километров, расход смазки, все нарушения графика и их причины.

Истирание и повреждение гребней колес железных дорог России, протяженность которых составляет 86,151 тысяч километров, имеет ряд негативных последствий. Поэтому сегодня широкой популярностью пользуется смазка рельсов с применением специальных лубрикаторов, которая позволяет не только предотвратить износ указанных изделий, но и увеличить их эксплуатационный срок [10].

Помимо этого, смазочные материалы, предназначенные для железных дорог, предотвращают появления и других проблем, которые напрямую зависят от износа рельсов. Например, таких, как:

- частая замена рельсов и шпал;
- уменьшение силы тяги локомотива;
- частая обточка колесных гребней.

При применении смазывания гребней слой металла, снимаемого в процессе обточки бандажа для восстановления, значительно меньше, чем в случае отсутствия смазывания. Влияние смазывания на изнашивание гребня колеса показано на рисунке 7.

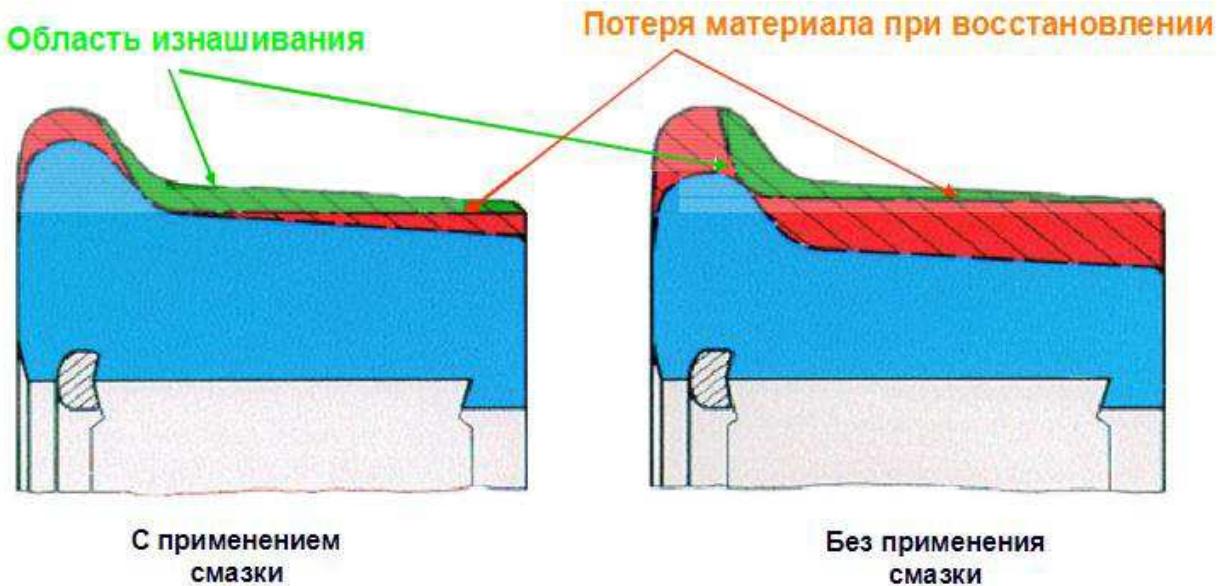


Рисунок 7 – Влияние смазывания на изнашивание гребня колеса

Существует два главных направления уменьшения износа как результата работы сил трения:

- снижение абсолютных значений сил трения в зоне контакта за счет подачи в зону контакта смазки и как следствие – уменьшение коэффициента трения;
- снижение продолжительности контакта гребней колес и боковой поверхности рельсов.

Исследования показали, что подача смазки в зону контакта колесо-рельс снижает коэффициент трения в 5-6 раз. При этом уменьшаются не только силы трения, но и удельный износ колес и рельсов, что подтверждается эксплуатацией систем смазки на железных дорогах России и Европы.

Анализ опытов применения систем смазки показал, что наличие смазки в зоне контакта колесо-рельс позволяет:

- снизить износ и повысить срок службы рельсов и колесных пар;
- снизить расход топливно-энергетических ресурсов;
- сократить время простоя подвижного состава в ремонте;
- повысить безопасность движения;

- уменьшить уровень шума при движении.

На основании анализа всех полученных результатов был сделан вывод, что наиболее опасными видами изнашивания исследуемой пары трения являются изнашивание при заедании, усталостное изнашивание, а наиболее перспективным направлением решения проблемы уменьшения интенсивности изнашивания гребней колес подвижного состава и рельсов является использование смазывания.

### **3.1 Смазочные материалы, применяемые для системы «колесо-рельс»**

Современные смазочные материалы, применяемые для системы, называемой трибоконтактом, «колесо-рельс» должны снижать износ, уменьшать сопротивление движению и трение между колесом и рельсом. Все это способствует снижению расхода топлива, повышению срока службы рельсов и колесных пар, повышению безопасности движения, уменьшению уровня шума при движении.

Согласно техническим требованиям ОАО «РЖД» смазочные материалы для смазывания (или лубрикации) зоны контакта колес и рельсов должны легко наноситься, не разбрызгиваться, не крошиться, не скальваться и удерживаться на боковой грани головки рельса (на гребне колесной пары локомотива), не гидролизоваться при:

- скоростях движения передвижного рельсосмазывателя (локомотива) от 3 км/ч до 140 км/ч;
- рабочем давлении в системе до 3 ГПа;
- нормированном расходе смазочного материала;
- температуре атмосферного воздуха от минус 45°C до плюс 50°C, в том числе в условиях 100% влажности.

Для смазывания системы «колесо-рельс» применяют смазочные материалы, агрегатное состояние которых меняется от жидкого до твердого (смотреть рисунок 8). При оценке смазывающих свойств этих материалов надо учитывать

значительное число факторов и, кроме того, влияние окружающей среды, способ нанесения, состояние поверхности рельсов [7].



Рисунок 8 – Классификация смазочных материалов для трибоконтакта «колесо-рельс»

Жидкие смазочные материалы представляют собой базовые масла, в которые добавляют присадки. Введение присадок обеспечивает специализацию и многофункциональность смазочных материалов.

Пластичные смазки занимают промежуточное положение между маслами и твердыми смазочными материалами. Они являются многокомпонентными коллоидными системами, содержащими дисперсионную среду – жидкую (масло) и дисперсную фазу – твердый загуститель (5 – 30 %). Под воздействием загустителя жидкое масло становится малоподвижным подобно твердому телу, не меняет под действием собственного веса своей формы, а течь начинает лишь под воздействием нагрузок, превышающих некоторый предел прочности. Пластичные смазки обычно содержат добавки (присадки и наполнители) для улучшения

эксплуатационных свойств. Наряду с обычными маслами распространение получили полужидкие смазки (2-5 % загустителя).



Рисунок 9 – Пластиичная смазка «ПУМА»

Твердые смазочные материалы это нанесенные каким-либо методом на поверхность трения тонкие слои материала, обладающего значительно меньшим сопротивлением сдвигу, чем сопротивление сдвигу материала, из которого изготовлены трущиеся детали [11]. Пример твердого смазочного материала показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Твердый смазочный материал – графитовый стержень

### 3.2 Анализ систем рельсосмазывания

#### 3.2.1 Рельсосмазыватель старого образца «Помазок»



Рисунок 11 – «Помазок» на примере вагона ВЛ-10 и ВЛ-60

На рисунке 11 приведен рельсосмазыватель старого образца, конструкция которого представляла собой вагон, к передней части которого был прикреплен

бак для смазки. Бак оборудован двумя кранами и трубопроводами (смотреть рисунок 12), направленными на рельсы. Подача смазки осуществлялась вручную по сигналу машиниста.



Рисунок 12 – Шланг для подачи смазочного материала

Контроль за количеством подаваемой смазки не осуществлялся, расход смазки был огромный. Некоторые участки были сплошь залиты смазочным материалом (смотреть рисунок 14), что могло вызывать скольжение и буксование. Некоторые участки железнодорожных путей практически не были смазаны.



Рисунок 13 – Замасливание рельс

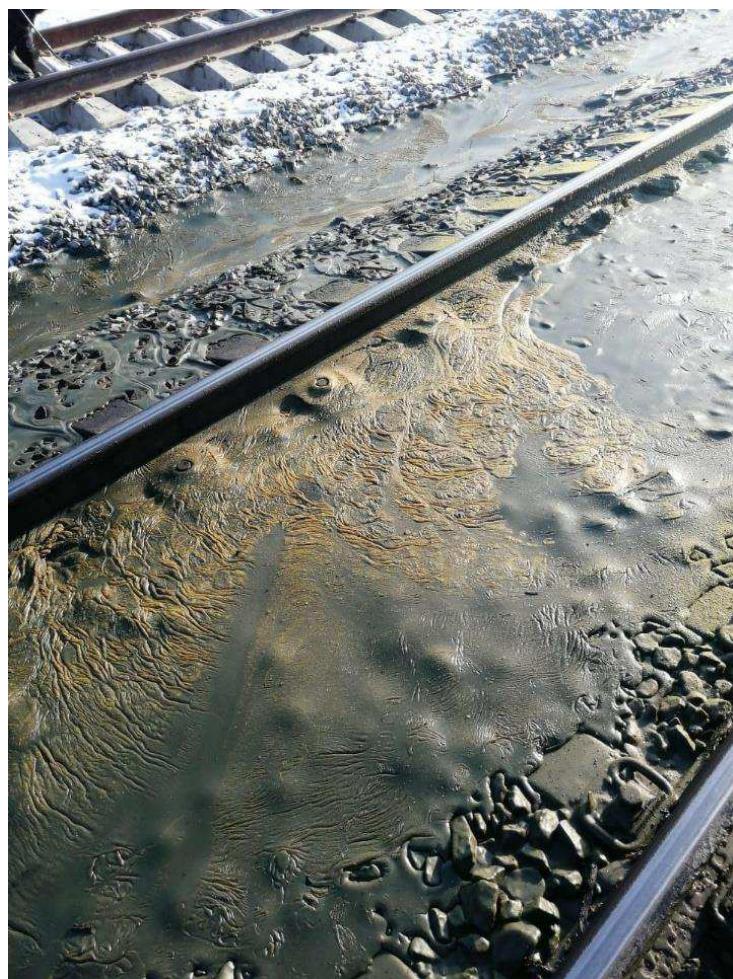


Рисунок 14 – Разлив смазочного материала на железнодорожных путях

### **3.2.2 Масляные «фитиля»**

Данная конструкция имеет довольно простой характер (смотреть рисунок 15). Из бака, путем самотека, масло подается на фитиль. Смазанный фитиль контактирует с рельсами, смазывая их. Учет количества смазки не ведется. Система является почти неконтролируемой, так как она неуправляема. Один из самых дешевых, но не эффективных способов.

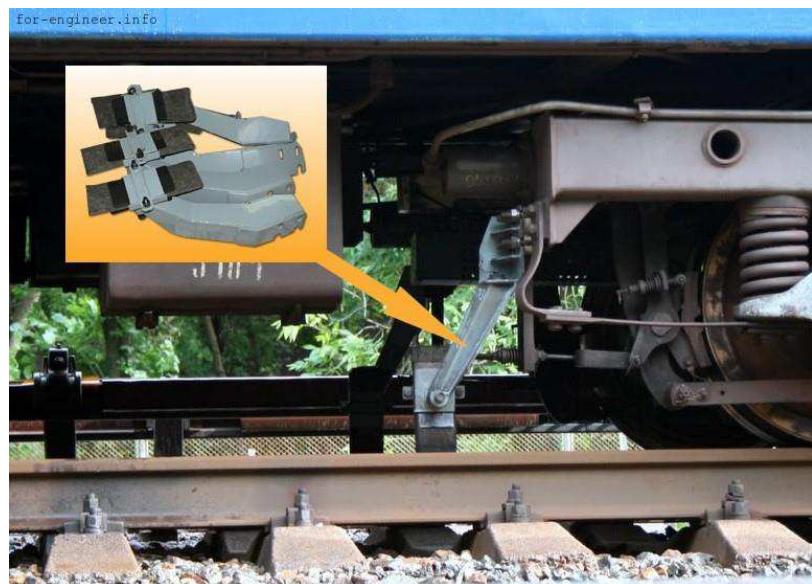
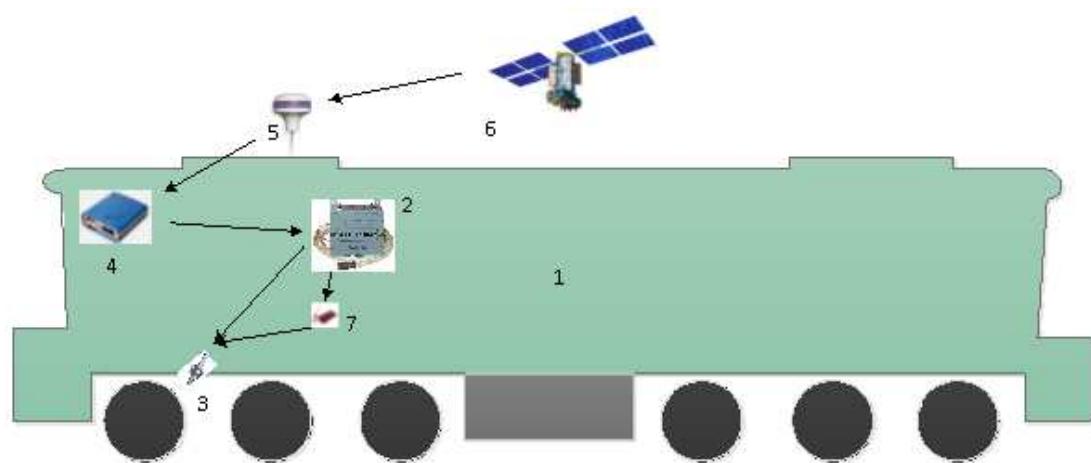


Рисунок 15 – Схема работы масляных «фитилей»

### **3.2.3 Гребнесмазыватель АГС-8**

Гребнесмазыватель используется для автоматизированной смазки рельсового пути в его криволинейных участках, без использования ручного труда. Схема гребнесмазывателя приведена на рисунке 16.



1 – локомотив; 2 – блок управления; 3 – форсунки гребнесмазывателя; 4 – блок контроля; 5 – антенна; 6 – спутник; 7 – маслонагреватель

Рисунок 16 – Гребнесмазыватель АГС-8

Основными элементами гребнесмазывателя АГС-8 являются 2 форсунки (смотреть рисунок 17), производящие периодически дозированный впрыск смазки со сжатым воздухом на гребни первой по ходу движения колесной пары тягового агрегата.

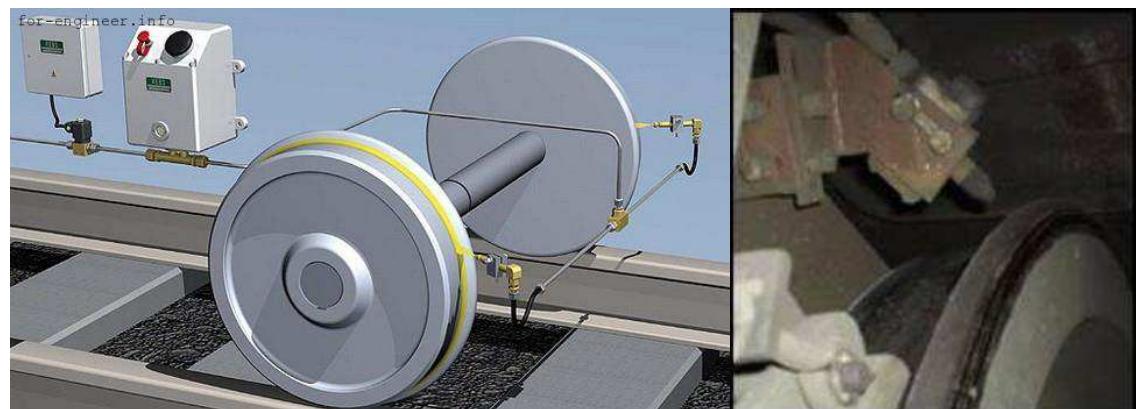


Рисунок 17 – Форсунка гребнесмазвателя

Таким образом смазываются боковые грани рельсов и затем гребни следующих колёсных пар. При торможении и включении песочниц подача смазки блокируется.

У каждой форсунки две линии: маслопровод, подающий под давлением смазку из бака для заполнения дозировочной камеры форсунки, и воздуховод, соединяющую с выходом электропневматического вентиля. Вход вентиля и верхняя полость бака трубопроводами подсоединены к воздушной магистрали подвижного состава. В момент включения вентиля сжатый воздух поступает на входы обеих форсунок. Форсунки срабатывают и производят дозированный впрыск смазки.

Управляет работой вентиля БУ (блок управления), который циклически включает его через заданные интервалы пути в зависимости от скорости движения.

В качестве смазочных материалов в настоящее время на АГС8 используются ПУМА-МР, ПУМА-МГ.

Автоматизированные гребнесмазыватели обладают рядом недостатков, которые могут привести к загрязнению железнодорожных путей (смотреть рисунок 18).



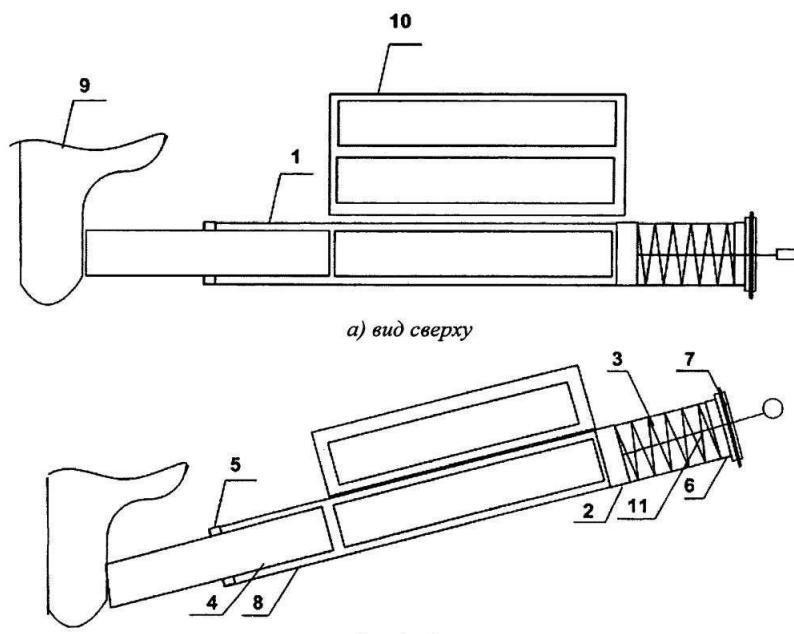
Рисунок 18 – Загрязнение рельс пластичным смазочным материалом

Недостатки бортовых гребнесмазывателей АГС-8:

- отсутствие контроля за исправностью оборудования может стать причиной лавинного боксования;
- сложность конструкции, состоящей из электронного блока, пневматической системы, форсунок, маслостойких шлангов;
- ремонт данного оборудования необходимо осуществлять высококвалифицированными слесарями при ТР.

### 3.2.4 Графитовые стержни

Изобретение относится к системе смазывания гребня колеса рельсового транспортного средства. Система смазывания гребня, закрепленная на буксе колеса, выполнена в виде корпуса заполненного твердыми антифрикционными элементами, направленными в сторону смазываемой поверхности трения. Данная система смазывания приведена на рисунке 19.



Фиг. 1

Рисунок 19 – Система смазывания гребня графитовым стержнем

Гребнесмазыватель представляет собой сборную конструкцию, которая монтируется под углом относительно горизонтальной плоскости на раме подвижного состава, обеспечивая бесприводную подачу смазочного стержня на гребень колеса. Бункер-накопитель закрытого типа, показанный на рисунке 20, исключает неуправляемый выход стержней из конструкции. При этом два графитовых стержня находятся в направляющей части корпуса, а все остальные в накопительной части. По мере истирания твердого антифрикционного элемента, прижатого к смазываемой поверхности, его место занимает второй твердый антифрикционный элемент, находящийся в направляющей части, обеспечивающий прижатие, а его место занимает твердый антифрикционный элемент, находящийся в накопительной части корпуса. В результате повышается эффективность смазывания гребней колес рельсового транспорта.



Рисунок 20 – Накопительная часть графитовых стержней



Рисунок 21 – Стержневой гребнесмазыватель

Твердый антифрикционный элемент получают следующим образом. Гранулами термопластичного полиэтилена наполняют расходную емкость. Затем в нее добавляют при плавном перемешивании порошки графита, дисульфида молибдена, гранулы этиленвинилацетата, например, ЭВА Evathene UE612-04 и порошок бария сернокислого. Для получения однородной массы полученную смесь перемешивают около 30 минут, затем ее отправляют в бункер литьевой машины и методом литья под давлением выдавливают в форму цилиндра.

Графит и дисульфид молибдена обеспечивают необходимые антифрикционные и противоизносные свойства твердого антифрикционного элемента.

Термопластичный полимер позволяет обеспечить необходимую форму твердого антифрикционного элемента.

Добавление в состав твердого смазывающего материала этиленвинилацетата позволяет достичь нужных адгезионные свойства смазочного слоя, формируемого при истирании твердого антифрикционного элемента в контакте гребня колеса с рельсом.

Введение в состав сернокислого бария позволяет увеличить плотность твердого антифрикционного элемента и сформировать физические характеристики, обеспечивающие стабильное его нанесение на смазываемую поверхность

гребня колеса локомотива в необходимом объеме. Графитовый стержень показан на рисунке 22.



Рисунок 22 – Графитовые стержни

Твердый смазывающий стержень уменьшает трение, снижает износ и энергопотребление на тягу поездов, и увеличивает потенциал рельсов.

Графитовый смазочный стержень способен изнашиваться при трении по несмазанной поверхности и минимально изнашиваться при трении по смазанной поверхности.



Рисунок 23 – Незагрязненные железнодорожные пути

## **4 Существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов**

От надежной и безопасной работы транспорта зависит вся деятельность и жизнь населения страны. Ежегодно в России перевозится транспортом около 3,5 миллиардов тонн грузов. Ежесуточно всеми видами транспорта перевозится более 100 миллиона человек. Поэтому к железнодорожному хозяйству предъявляются высокие требования по надежности и долговечности. Этому способствует применение в оборудовании качественных смазочных материалов. Смазочные материалы применяются для снижения износа, вызванного трением. Для них характерно изменение в процессе эксплуатации физико-химических свойств под влиянием нагрузок, скоростей, высоких температур, кислорода воздуха.

Смазочные материалы во время эксплуатации практически всегда подвергаются загрязнению. Первой причиной загрязнений служат продукты износа, смазочный материал теряет стойкость к окислению, а вместе с ней изменяются смазочные свойства – происходит разложение, окисление, полимеризация и конденсация углеводородов, обугливание (неполное сгорание), разжижение горючим, загрязнение посторонними веществами и обводнение. В результате в составе смазочных материалов накапливаются асфальто-смолистые соединения, коллоидный кокс и сажа, различные соли, кислоты, а также металлические пыль и стружка, минеральная пыль, волокнистые вещества, вода и так далее. Весь этот процесс изменения физико-химических свойств смазочного материала называется его старением. Жидкие масла, проработавшие установленный срок и утратившие первоначальные качественные показатели, считаются отработанными, и они должны сливаться из системы смазки и заменяться свежими. Густые смазки теряются безвозвратно.

Тщательный сбор отработанного смазочного материала имеет большое значение и является первым и важным этапом на пути возвращения ценного нефтяного сырья в производственный процесс. Необходимость сбора отработан-

ных масел устанавливается условиями охраны окружающей среды. Но к сожалению, наблюдаются негуманные методы уничтожения отработанных смазочных материалов. Самый опасный способ - слив отходов в реки и водоемы, закапывание в землю. Последствия такого способа влекут за собой отравление воды и почвы. Накапливающиеся в воде и почве продукты сгорания отработанных смазочных материалов приводят к нарушению воспроизведения птиц, рыб и млекопитающих, а также обладают выраженным вредным воздействием на человека. Эти вещества вызывают иммунодепрессию, болезни печени и почек, оказывают неблагоприятное воздействие на органы репродукции, нарушают деятельность щитовидной железы плода, что ведет к расстройствам нервной системы, нарушению роста, врожденным аномалиям и задержке развития мозга ребенка. Большинство предприятий России применяют, в какой-то степени, более гуманный метод, которым является сжигание без предварительной очистки отработанных смазочных материалов. В процессе сжигания образуются полихлорированные бифенилы, дibenзофураны и другие диоксиноподобные соединения, которые обладают высокой термоустойчивостью и не уничтожаются, а выбрасываются в атмосферу, и тем самым загрязнение распространяется на многие сотни километров. Метод сжигания отработанных масел не является самым эффективным.

В России до 77% всех отработанных масел нелегально сбрасывается в почву и в водоемы, 40-48% собирается, но из всех собранных отработанных масел только 14-15% идет на регенерацию, а остальные 26-33% используются как топливо или сжигаются.

Для уменьшения ущерба, наносимого окружающей среде большим количеством отработанных смазочных материалов, необходима их утилизация. По данным специалистов, выход качественных вторичных масел из отработавших составляет 60—80 %, в то время как при переработке сырой нефти выход товарных масел не превышает 10 %. Однако в настоящее время в России установки или заводы по утилизации с соблюдением требований природоохранного зако-

нодательства практически отсутствуют. Это связано с тем, что затраты на регенерацию превышают стоимость свежеприготовленных масел, регенерированный продукт становится неконкурентоспособным.

В качестве технологических процессов регенерации отработанных смазочных материалов обычно соблюдается следующая последовательность методов:

- механический (удаление из масла свободной воды и твердых загрязнений);
- теплофизический (выпаривание, вакуумная перегонка);
- физико-химический (коагуляция, адсорбция).

Если этого недостаточно, используются химические способы регенерации масел, связанные с применением более сложного оборудования и, соответственно, большими затратами.

Физические методы позволяют удалять из масел твердые частицы загрязнений, микрокапли воды и, частично, смолистые и коксообразные вещества, выпаривание – легкокипящие примеси. Масла обрабатываются в силовом поле с использованием гравитационных, центробежных, электрических, магнитных и вибрационных сил, производится фильтрование, водная промывка и вакуумная дистилляция.

Отстаивание является наиболее простым методом, основанным на процессе естественного осаждения механических частиц и воды под действием гравитационных сил. В зависимости от степени загрязнения топлива или масла и времени, отведенного на очистку, отстаивание применяется как самостоятельный метод или предварительный, предшествующий фильтрации или центробежной очистке.

Фильтрация – это процесс удаления частиц механических примесей и смолистых соединений путем пропускания масла через сетчатые или пористые перегородки фильтров. В качестве фильтрационных материалов используются металлические и пластмассовые сетки, войлок, ткани, бумага, композиционные материалы и керамика.

Центробежная очистка, осуществляемая с помощью центрифуг, является наиболее эффективным и высокопроизводительным методом удаления механических примесей и воды. Этот метод основан на разделении различных фракций неоднородных смесей под действием центробежной силы.

Процесс коагуляции – укрупнения частиц загрязнения, зависит от количества вводимого коагулянта, продолжительности его контакта с маслом, температуры, эффективности перемешивания и т.д. Продолжительность коагуляции загрязнений в отработанном масле составляет, как правило, 20-30 мин., после чего проводится очистка масла от укрупнившихся загрязнений с помощью отстаивания, центробежной очистки или фильтрования.

Адсорбционная очистка отработанных масел заключается в использовании способности веществ, служащих адсорбентами, удерживать загрязняющие масло продукты на наружной поверхности гранул и на внутренней поверхности пронизывающих гранулы капилляров. В качестве адсорбентов применяют вещества природного происхождения (отбеливающие глины, бокситы, природные цеолиты) и полученные искусственным путем (силикагель, окись алюминия, алюмосиликатные соединения, синтетические цеолиты).

Селективная очистка отработанных масел основана на избирательном растворении отдельных веществ, загрязняющих масло: кислородных, сернистых и азотных соединений, а также, при необходимости, полициклических углеводородов с короткими боковыми цепями, ухудшающих вязкостно-температурные свойства масел. В качестве селективных растворителей применяются фурфурол, фенол и его смесь с крезолом, нитробензол, различные спирты, ацетон, метил этиловый кетон и другие жидкости.

Химические методы очистки основаны на взаимодействии веществ, загрязняющих отработанные масла, и вводимых в эти масла реагентов. В результате химических реакций образуются соединения, легко удаляемые из масла. К химическим методам очистки относятся кислотная и щелочная, окисление кислородом, гидрогенизация, а также осушка и очистка от загрязнений с помощью окис-

лов, карбидов и гидридов металлов. Наиболее часто используются сернокислотная очистка, гидроочистка, а также различные процессы с применением натрия и его соединений.

Сбор отработанных масел производят бригады смазчиков. Количество емкостей должно соответствовать количеству сортов собираемых масел, подлежащих раздельной регенерации. При сборе масла запрещается хранить их в открытых емкостях, помещениях, где работает оборудование, смешивать жидкости и масла, подогревать открытым пламенем. Если оборудование не эксплуатировалось более 3 месяцев, смазку меняют полностью.

На промыслах имеются специальные складские помещения, в которых хранятся емкости и бочки с разными сортами масел и смазок в объеме текущей потребности предприятия в смазочных материалах, а также месячного запаса. Лейки, воронки, фильтры, шприцы и другой смазочный инструмент должны быть чистыми, без пыли и грязи.

На примере одного из предприятий железнодорожной отрасли было выявлено неполное соблюдение правил сбора и утилизации отработанных смазочных материалов.

В бочки от смазочного материала сливаются обтирочный материал, ветошь и опилки. Объем бочки составляет 200 литров. В большинстве случаев контроль за сбором отработанного материала не ведется.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения бакалаврской работы производилась оценка эффективности использования смазочных материалов в железнодорожном хозяйстве. Для этого были изучены общие сведения о смазочных материалах, рассмотрен жизненный цикл, определены существующие способы сбора и регенерации отработанных смазочных материалов.

Надежность элементов подвижного состава и пути обеспечивается применением качественных смазочных материалов и контролем за режимом лубрикации. Нерациональное использование жидких и пластичных смазочных материалов приводит к замасливанию рельс, разливу масла на железнодорожных путях, загрязнению почвы, что оказывает негативное воздействие на окружающую природную среду. Отказаться от применения данных смазочных материалов невозможно, но снизить негативное воздействие можно путем замены их на твердые смазочные материалы для наиболее напряженного узла трения, называемого трибоконтактом «колесо-рельс».

Для данной системы применяются три вида смазочных материалов: жидкие (минеральные) масла, пластичные смазки и твердые смазочные материалы. Проанализировав систему рельсосмазывания, можно сделать вывод, что наиболее эффективным смазочным материалом являются твердые графитовые стержни. Они способны изнашиваться при трении по несмазанной поверхности и минимально изнашиваться при трении по смазанной.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Торопчинова А.Н. Применение смазочных материалов на железнодорожном транспорте. Сб. науч. Тр. / А.Н. Торопчинова. М.: Транспорт, 1987. – 100 с.
2. А Царев О.А. Смазочные материалы: учебное пособие. / О.А.Царев, В.В. Зезюля. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 88 с.
3. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. – Новосибирск: Наука, 2005. – 341 с.
4. Воронов Н.В. Нефтяное топливо и смазочные материалы на железнодорожном транспорте / Н.В. Воронов, И.Ф. Блидченко, В.М. Гончаров. – М.: Транспорт, 1972. – 293 с.
5. ГОСТ 1805-76 Масло приборное МВП. Технические условия. - Взамен ГОСТ 1805-51 и ГОСТ 5.2241-74; Введ. 01.07.77. – Москва: Стандартинформ. – 2011. – 4 с.
6. Меркульев Г.Д. Смазочные материалы на железнодорожном транспорте / Г.Д. Меркульев, Л.С. Елисеев. – М.: Транспорт, 1985. – 255 с.
7. Бонер К. Дж. Производство и применение консистентных смазок. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 682 с.
8. Андреев А.И. Износ рельсов и колес подвижного состава / А.И. Андреев, К.Л. Комаров, Н.И. Карнушенко // Железнодорожный транспорт. – 1997. – с. 31-36.
9. Инструкция по применению смазочных материалов на локомотивах и моторвагонном подвижном составе, ЦТ/263. – М.: Транспорт, 1970. – 64 с.
10. Богданов В.М. Об износе колес и рельсов / В.М. Богданов, Л.И. Бартецева // Железнодорожный транспорт. – 1999. – с. 48-50.
11. Глазунов Д.В. Методика определения потребности твердых смазочных элементов при смазывании контакта «колесо-рельс» / Д.В. Глазунов // Сб. тез.

Всерос. Науч.-практич. Конф. «Транспорт-2008». – Ростов н/Д. 2008. – Ч.1 – с. 269-270.

12. Димов Д.Ю. Лубрикация поможет и колесу и рельсу / Д.Ю. Димов // Локомотив. – 1998. – с. 29-31.

13. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машин / Ю.А. Розенберг. – М.: Машиностроение, 1970. – 315 с.

14. СТО 7.5-05-2018. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. Красноярск, 2018 г.

15. Меркульев Г.Д. Смазочные материалы и их применение в электроподвижном составе / Г.Д. Меркульев. – М.: Транспорт, 1963. – 128 с.

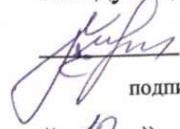
16. Эминова Е.А. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов / Е.А. Эминова. – М.: Химия, 1977. – 767 с.

17. Цуркан И.Г. Смазочные и защитные материалы / И.Г. Цуркан, С.Н. Ка зарновский, И.Н. Колотухин. – М.: Транспорт, 1974. – 150 с.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Т. А. Кулагина

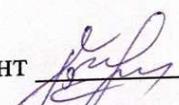
подпись

« 10 » 07 2019г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»

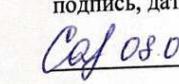
«Эффективное использование смазочных материалов в железнодорожном  
хозяйстве»

Научный консультант  д-р техн.наук, профессор Т.А. Кулагина

подпись, дата

Руководитель  ст.преподаватель Е.Н. Зайцева

подпись, дата

Выпускник  Ю.Р. Савельева

подпись, дата

Нормоконтролер  ст.преподаватель Е.Н. Зайцева

подпись, дата

Красноярск 2019