

**КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т. Ф. ГОРБАЧЕВА**

**Д. В. Стенин, А. В. Кудреватых, Д. В. Цыганков,  
Н. А. Стенина, Н. В. Кудреватых**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Кемерово 2018

УДК 621.86.032  
ББК 39.33-08 (2Рос)

Рецензенты:

Филиппов В. М., начальник отдела по нормативному обеспечению лицензионной и аккредитационной деятельности ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», кандидат технических наук, доцент  
Масленников Р. Р., профессор кафедры эксплуатации автомобилей ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», кандидат технических наук, доцент

Стенин, Д. В. Повышение эксплуатационной надежности и экологической безопасности автомобильного транспорта / Д. В. Стенин, А. В. Кудреватых, Д. В., Цыганков, Н. А. Стенина, Н. В. Кудреватых; КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 216 с.  
ISBN 978-5-906969-84-2

В издании представлены научные исследования, направленные на повышение эксплуатационной надежности и экологической безопасности автомобильного транспорта.

Материалы исследования представляют научно-практическую и аналитическую ценность для реализации комплексного компетентного подхода в процессе подготовки бакалавров и магистров по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», слушателей программ профессиональной переподготовки и повышения квалификации в данной области.

Научное издание рекомендуется для студентов, аспирантов, докторантов, преподавателей и специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации автомобильного транспорта.

УДК 621.86.032  
ББК 39.33-08 (2Рос)

ISBN 978-5-906969-84-2

© КузГТУ, 2018  
© Стенин Д. В.,  
Кудреватых А. В.,  
Цыганков Д. В.,  
Стенина Н. А.,  
Кудреватых Н. В., 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ВЗАИМОСВЯЗЬ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРКА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ С ИХ ТЕХНИЧЕ- СКИМ СОСТОЯНИЕМ	8
1.1 Роль карьерного горнотранспортного оборудования в реализации технологии открытой добычи угля	8
1.2 Факторы, влияющие на формирование условий эксплуа- тации карьерного автотранспорта	10
1.3 Основные технико-эксплуатационные показатели рабо- ты карьерного автомобильного транспорта	13
2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, КАК СПОСОБ ПО- ВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РМК КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ	21
2.1 Методы технического обслуживания карьерных автоса- мосвалов	21
2.2 Техническая диагностика: задачи, принципы, методы и средства диагностирования	36
2.3 Основы исследования работоспособности узлов и агре- гатов по параметрам работающего масла	48
2.4 Влияние температуры в системе «механизм - масло» на работоспособность РМК карьерных автосамосвалов	61
2.5 Технология определения технического состояния РМК карьерного автосамосвала по степени нагрева	68
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕ- РАТУРНОГО РЕЖИМА РЕДУКТОРОВ МОТОР-КОЛЕС КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ	74
3.1 Разработка методики и проведение экспериментальных исследований	74
3.2 Разработка модели регрессии температуры масла РМК от эксплуатационных показателей	86
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕН- ТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С УЧЕ- ТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РМК КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ	95
4.1 Определение производительности транспортного обо- рудования с учетом температурного режима РМК	95
4.2 Определение влияния температуры масла РМК на на-	101

дежность и техническое состояние карьерных автосамосвалов	
4.3 Определение влияния коэффициента использования грузоподъемности с учетом температурного режима РМК на показатели эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов	105
<b>5 ВЛИЯНИЕ ПРИСАДОК И ДОБАВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЕЙ</b>	116
5.1 Влияние продуктов сгорания автомобильных двигателей на окружающую среду	116
5.2 Способы улучшения эксплуатационных свойств моторных топлив	121
<b>6 ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИГЕНАТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛУЧШЕННОГО ЭКОЛОГИЧНОГО БЕНЗИНА</b>	151
6.1 Аналитическое исследование механизма действия оксигенатных добавок	151
6.2 Исследования отходов и полупродуктов химических производств города Кемерово на предмет их использования в составе бензина	154
6.3 Исследование физико-химических свойств отобранных оксигенатов	157
6.4 Исследование отдельных спиртов и эфиров на предмет пригодности для топливных композиций по энергетической составляющей	168
6.5 Обоснование возможности использования сивушного масла и СФК в составе оксигенатной добавки к бензину	174
6.6 Обоснование возможности использования окиси пропилена в составе оксигенатной добавки к бензину	176
6.7 Определения рабочей концентрации отдельных оксигенатов в составе добавки	177
6.8 Определение потребности в оксигенатном бензине для города Кемерово	184
6.9 Анализ наличия и доступности оксигенатного сырья для производства улучшенного бензина	185
<b>7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТНОГО БЕНЗИНА И РАЗРА-</b>	187

БОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА	
7.1 Определение токсичности отработавших газов при эксплуатации автомобилей на оксигенатном бензине	187
7.2 Определение октановых чисел и коэффициента распределения детонационной стойкости оксигенатного бензина	190
7.3 Физико-химический анализ оксигенатного бензина	192
7.4 Оценка моющей способности оксигенатного бензина	200
7.5 Разработка технологии производства оксигенатного бензина	201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	204
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ	205

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня автомобильный транспорт остается основным перевозчиком в транспортной системе Российской Федерации.

Из всех видов действующего транспорта, именно автомобильный составляет основу транспортной системы страны и обеспечивает потребности населения и экономики всем комплексом услуг и работ, выполняемых в автотранспортной деятельности. В общем объеме работ всех видов транспорта, только на долю автомобильного транспорта приходится свыше 80% грузовых перевозок, а доля пассажирских перевозок на регулярных и заказных маршрутах превышает 50%.

Данный аспект актуализирует изучение вопроса эксплуатационной надежности и экологической безопасности автомобильного транспорта.

Резервы снижения себестоимости производства, повышения производительности работы автомобильного парка заключаются в сокращении простоев транспортных средств.

Из-за недостаточной надежности оборудования на его ремонт ежегодно расходуются значительные средства, а затраты на ремонт за весь срок службы в несколько раз превышают первоначальную стоимость. Следовательно, возникает необходимость повышения качества автомобилей, одним из важнейших элементов которого является их надежность.

Надежность автомобиля заключается в его свойстве сохранять в течение требуемого времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять транспортную работу в заданных режимах и в условиях его применения, а также технического обслуживания, ремонта, его хранения и транспортирования. Надежность автомобиля позволяет оценивать его текущее техническое состояние, а также состояние его частей, узлов и агрегатов, определять скорость изменения их технического состояния при работе автомобиля в определенных условиях его эксплуатации.

Наиболее полное использование индивидуальных возможностей автомобилей и обеспечение на этой основе повышения их надежности может быть осуществлено за счет внедрения в технологический процесс технического обслуживания и ремонта до-

полнительной технологической операции – диагностирования фактического технического состояния.

Сегодня в инфраструктуре транспортной отрасли России насчитывается около 4 тыс. крупных и средних автотранспортных предприятий, занятых пассажирскими и грузовыми перевозками. Рост автопарка влечет за собой увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (в год в среднем на 3,1%).

Экологические проблемы, связанные с использованием традиционного моторного топлива в двигателях транспортных средств, актуальны не только для России, но и для всех стран мира. Во многих странах мира приняты жесткие требования по экологизации автотранспорта. Одним из элементов повышения экологической безопасности автомобильного транспорта является изменение качественного состава автомобильного топлива.

Именно вопросам повышения эксплуатационной надежности и экологической безопасности автомобильного транспорта посвящена данная работа.

Материалы исследования представляют научно-практическую и аналитическую ценность для реализации комплексного компетентного подхода в процессе подготовки бакалавров и магистров по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», слушателей программ профессиональной переподготовки и повышения квалификации в данной области.

Научное издание рекомендуется для студентов, аспирантов, докторантов, преподавателей и специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации автомобильного транспорта.

# **1 ВЗАИМОСВЯЗЬ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРКА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ С ИХ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ**

## **1.1 Роль карьерного горнотранспортного оборудования в реализации технологии открытой добычи угля**

Уголь продолжает играть важнейшую роль в мировой экономике. Уголь занимает второе место после нефти. Рост добычи российского угля в 1,5 раза с 2000 по 2016 г. обеспечивается в основном за счет более экономичного открытого способа добычи доля которого возросла за этот период с 64 до 70,6 %.

Мировой кризис и антироссийские санкции обострили внутренние и внешние проблемы отечественной угольной промышленности, сформировали целый комплекс рисков, которые ограничивают развитие угледобывающих регионов.

В настоящее время основное направление использования угля в мире – энергетическое. Ежегодное потребление угля на планете Земля превышает 4 млрд т<sup>1</sup>. По объемам угледобычи Российская Федерация занимает пятое место в мире после Китая, США, Индии и Австралии.

Добыча угля в России и Кузбассе за 2006 – 2017 годы представлена на рис. 1.1.

В угольной промышленности России действуют 66 шахт и 148 разрезов. Практически вся добыча угля обеспечивается частными предприятиями.

В России уголь добывается в семи федеральных округах, а потребляется во всех 86 субъектах Российской Федерации. Из угледобывающих регионов самым мощным поставщиком угля является Кузнецкий бассейн.

В условиях постепенного оздоровления мировых экономик и повышения спроса на угольную продукцию по сравнению с периодом финансово-экономического кризиса отмечается рост добычи угля.

---

<sup>1</sup> Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2016 года // Уголь. – 2017. – № 3. – С. 36-50.



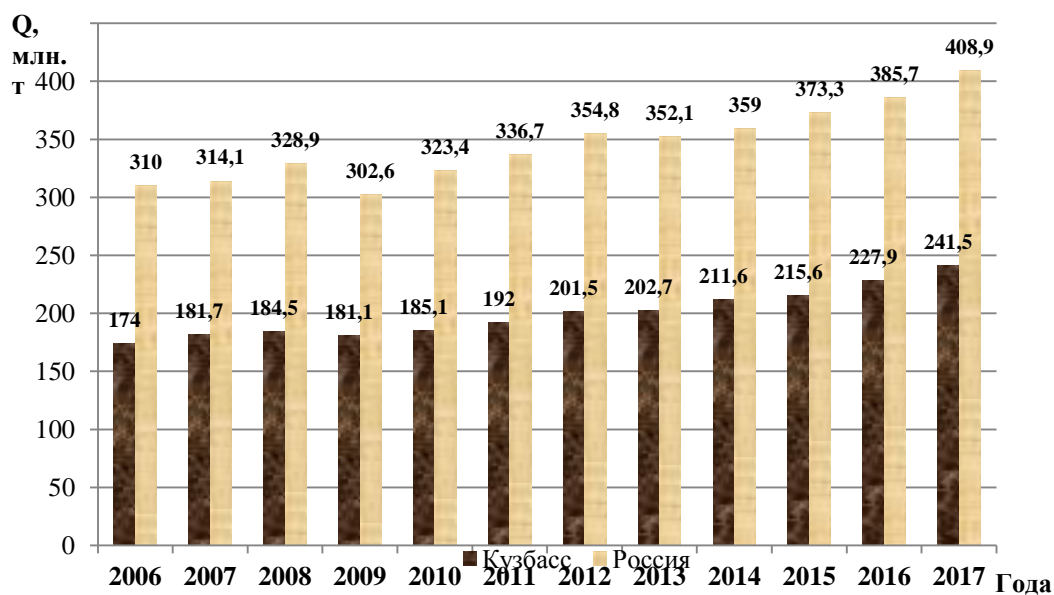


Рисунок 1.1 – Добыча угля в России и Кузбассе, млн т.

Из угледобывающих регионов самым мощным поставщиком угля является Кузнецкий бассейн. Кузнецкий угольный бассейн является уникальным природным комплексом и по-прежнему главным угольным бассейном России.

Благоприятные условия месторождений Кузбасса позволяют развивать добычу угля как подземным, так и открытым способом. При этом балансовые запасы угля, пригодные для разработки открытым способом, составляют примерно 11 млрд т.

Диаграмма по способам добычи угля в России за период 2006 – 2016 годы представлена на рис. 1.2.

Основной вклад в добычу угля по Российской Федерации вносят Западно-Сибирский (58 %) и Восточно-Сибирский (26 %) экономические районы (рис. 1.3).

Крупнейшей в России Угольной Компанией по добыче угля открытым способом является ОАО «УК «Кузбассразрезуголь». В ее состав входят 6 угольных разрезов: Талдинский, Кедровский, Моховский, Бачатский, Краснобродский, Калтанский.

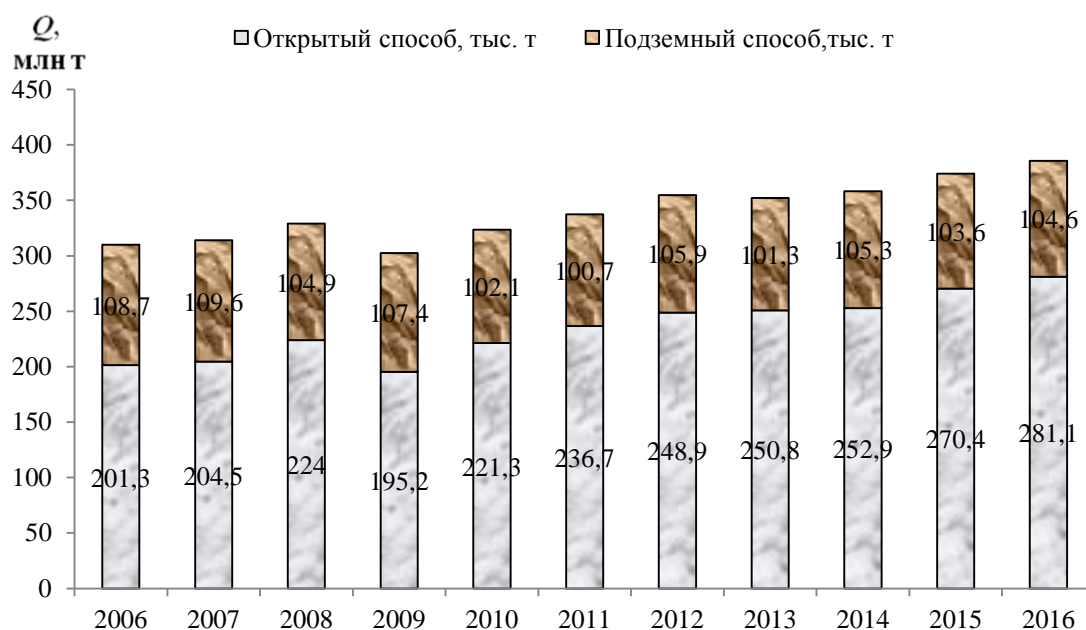


Рисунок 1.2 – Добыча угля в России (по способам добычи) за 2006-2016 гг, млн т.

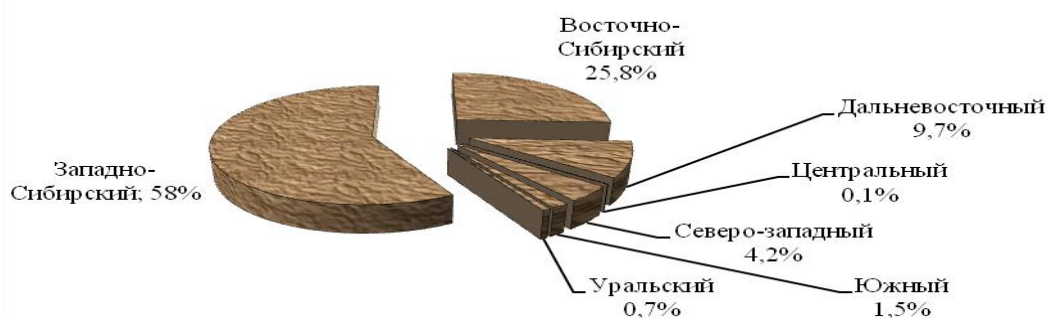


Рисунок 1.3 – Добыча угля по экономическим районам РФ в 2010 г.

## 1.2 Факторы, влияющие на формирование условий эксплуатации карьерного автотранспорта

Все факторы, влияющие на формирование условий эксплуатации карьерного автотранспорта, можно условно разделить на две группы<sup>2</sup>:

<sup>2</sup>Васильев, М.В. Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных работах. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1962. – 235 с.

– факторы, оказывающие существенное влияние на транспортный процесс;

– факторы, практически не влияющие на процесс перевозки грузов, включая элемент случайности, присущий любым многофакторным системам.

Среди существенных факторов можно выделить [18]:

– горнотехнические;

– технологические;

– дорожно-транспортные;

– организационные;

– климатические.

К *горнотехническим* факторам относятся:

– особенности и параметры залегания полезного ископаемого;

– способ вскрытия месторождения;

– система разработки и ее элементы;

– направление горных работ;

– характер вскрывающих съездов;

– параметры выездных и разрезных траншей;

– протяженность фронта вскрышных и добычных работ.

К *технологическим* факторам относятся следующие:

– технологические схемы транспортирования вскрышных пород и угля;

– характеристика погрузочного оборудования и его соответствие грузоподъемности автотранспортных средств;

– способы погрузки автосамосвалов;

– расстояния транспортирования;

– высота подъема груза;

– физико-механические свойства горной массы.

К *дорожно-транспортным* факторам относятся:

– геометрические параметры автодорог и типы дорожных одежд;

– состояние покрытий;

– сцепление колес автомобиля с поверхностью покрытия;

– характер микропрофиля автодороги;

– продольный уклон автодорог;

– сложность трасс транспортирования;

- наличие смягчающих слабонаклонных и горизонтальных участков;
- величина радиусов круговых кривых, виражей и серпантинных;
- наличие дорожных знаков;
- уровень освещения проезжей части в ночное время.

К *организационным* факторам относятся:

- мощность и оснащение ремонтной базы;
- качество и периодичность технического обслуживания и ремонта;
- условия стоянки и хранения автосамосвалов;
- режим их работы во времени;
- показатели использования парка;
- организация и управление транспортными потоками на разрезе;
- работа автосамосвалов по открытому или закрытому циклу.

К *климатическим* факторам относятся:

- среднегодовая температура воздуха и количество осадков, гололед, снежные заносы и метели;
- продолжительность зимнего периода;
- число дней с отрицательной температурой;
- продолжительность межсезонных периодов;
- условия видимости.

Все перечисленные факторы, в свою очередь, можно разделить на условия, не зависящие от работы разреза, и условия, характер которых может быть изменен путем проведения различных мероприятий добывающими и транспортными предприятиями.

К первым относятся:

- климатические и географические условия;
- физико-механические свойства разрабатываемых пород;
- высота карьера над уровнем моря;
- среднее расстояние перевозки;
- направление движения с грузом.

К условиям, влияние которых при необходимости может быть изменено, можно отнести:

- состояние и качество автодорог;

- оснащенность и мощность производственно-технической базы разреза и автохозяйства;
- режим работы экскаваторов и автосамосвалов;
- организация погрузки и разгрузки горной массы;
- соотношение количества экскаваторов и автосамосвалов;
- степень износа погрузочных и транспортных машин.

Производительность автомобиля и автопарка принято оценивать двумя основными показателями: объемом перевезенной горной массы и грузооборотом (транспортной работой) за анализируемый период времени.

### **1.3 Основные технико-эксплуатационные показатели работы карьерного автомобильного транспорта**

Транспортирование горной массы является одним из наиболее трудоемких и дорогостоящих процессов при разработке месторождений открытым способом. Как правило, в этом процессе занято до половины работников предприятия, а транспортные затраты составляют свыше половины общих затрат на добычу<sup>3</sup>.

Назначением средств карьерного транспорта является перемещение горной массы от экскаваторных забоев до пунктов разгрузки, которыми для вскрышных пород являются отвалы. Для полезного ископаемого – это постоянные или временные склады, приемные бункера дробильных, сортировочных или обогатительных фабрик.

Целесообразность применения того или иного вида транспорта обуславливается оценкой его преимуществ и недостатков при действии множества факторов. К факторам, оказывающими влияние на выбор вида транспорта можно отнести: производственную мощность карьера и расстояние транспортирования (главнейшие факторы); физико-механические свойства вскрышных пород и полезного ископаемого, условия их

---

<sup>3</sup>Циперфин, И.М. Карьерный автомобильный транспорт. Справочник / И.М. Циперфин, В.Д. Штейн. – М., 1992. – 415 с.

залегания, принятая схема разработки месторождения, вид применяемого погрузочного оборудования, глубина карьера<sup>4</sup>.

Основным видом транспорта в трех четвертях карьеров мира является автомобильный. Им перевозится около 60 % горной массы на карьерах России и 85 % – на зарубежных карьерах.

Основными достоинствами автомобильного транспорта, обуславливающими эффективность применения его в качестве основного карьерного транспорта, являются:

- высокая маневренность и мобильность, благодаря малым радиусам поворота, способность преодолевать достаточно крутые уклоны (8–10 %) и высокой скорости передвижения;
- относительно небольшие собственные размеры автомобиля;
- отсутствие необходимости в обустройстве специальных путей;
- автономность и возможность обеспечения большей гибкости и оперативности управления.

Эти качества автомобильного транспорта позволяют легко переносить места погрузки в карьере, регулировать транспортные потоки, применять погрузочную технику на более коротком фронте работ (чем при железнодорожном транспорте). Производительность экскаваторов может быть повышена за счет уменьшения времени их простоев в ожидании подачи транспорта, а также сокращения времени на маневры автосамосвалов при установке их под погрузку.

Большие преодолеваемые уклоны и небольшие радиусы поворота дают возможность сократить объем работ по обустройству коммуникаций, устраивать меньшие радиусы закруглений трасс, что позволяет заметно сократить длину транспортных коммуникаций. За счет высокой маневренности автосамосвалов обеспечивается также снижение трудоемкости отвалообразования.

Отсутствие специальных путей приводит к меньшим в 2,5–3,5 раза трудоемкости и затратам на строительство автодорог,

---

<sup>4</sup> Краткий автомобильный справочник. 8-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – 464 с.

особенно на мягких глинистых и песчаных почвах, и в 1,2–1,5 раза – на естественном скальном основании<sup>5</sup>. Полностью отсутствует трудоемкий процесс переноса путей. Меньшими являются затраты труда на транспортный процесс в целом, благодаря сокращению количества вспомогательного, обслуживающего, ремонтного персонала и путевых рабочих.

Возможность обеспечения большей гибкости и оперативности управления погрузочно-транспортным комплексом появляется потому, что автосамосвалы действуют независимо друг от друга, и каждый из них в любое время при необходимости может быть направлен к любому из экскаваторов. Кроме того, выход одного автосамосвала из строя вследствие поломки практически не отражается на производительности труда, не вызывает остановки в работе транспорта и может быть легко восполним.

Автомобильный транспорт имеет и ряд недостатков, главными из которых являются<sup>6</sup>:

- небольшие экономически выгодные расстояния транспортирования (2–3 км, реже – до 5 км), меньшее количество перевозимой горной массы каждым отдельно взятым автосамосвалом, более высокие амортизационные отчисления, обусловленные сравнительно коротким сроком их службы (5–7 лет), что повышает себестоимость перевозок;

- большая стоимость содержания и ремонта карьерных автосамосвалов, достигающая 30–33 % стоимости перевозок, а также зависимость работы автомобильного транспорта от своевременности и полноты поставок запасных частей, горючесмазочных материалов;

- существенная зависимость от климатических условий (сложность эксплуатации при низких температурах, снегопадах, туманах, гололеде);

- повышенный расход автомобильных шин вследствие их сильного износа при работе на скальных породах (стоимость шин составляет 20–22 % от стоимости перевозок);

---

<sup>5</sup>Бишон, Т.М. Автомобильный транспорт. Сокр. перев.с англ. – М.: Недра, 1971. – 127 с.

<sup>6</sup>Циперфин, И. М. Карьерный автомобильный транспорт. Справочник / И.М. Циперфин, В.Д. Штейн. – М., 1992. – 415 с.

– значительная загазованность, особенно в глубоких карьерах, что вызывает необходимость искусственного их проветривания, а в противном случае – заставляет в периоды безветрия, туманов, пасмурной погоды на длительные периоды времени останавливать проведение горных работ.

В России удельный вес карьерного автотранспорта приблизился к 75 %<sup>7</sup>, причем в ближайшей перспективе он будет увеличиваться за счет расширения открытого способа добычи угля.

Анализ состояния карьерного автотранспорта проведен по данным ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

Существенное влияние на работу горного оборудования оказывают климатические условия открытых горных работ, которые учитывают температуру и влажность окружающего воздуха, высоту над уровнем моря, запыленность, количество и интенсивность осадков, скорость ветра.

Климат Кемеровской области резко континентальный: зима холодная и продолжительная, лето короткое, но теплое. Среднегодовая температура колеблется от 1,4 до +1,0 °С. Среднемесячная температура в г. Кемерово составляет в январе -19,2 °С, а в июле +18,6 °С. Наиболее высокие температуры воздуха в Кемеровской области достигают летом +38 °С, а самые низкие зимой доходят на юге до -54 °С, на севере до -57 °С.

Автомобильный транспорт является в горной промышленности доминирующим. Научно-технический прогноз показывает, что, несмотря на присущий этому виду технологического транспорта недостаток – загрязнение атмосферы отработавшими газами, альтернативы ему на достаточно далекую перспективу нет. Поэтому основное внимание конструкторов и эксплуатационников направлено на совершенствование системы карьерного транспорта: создание надежных, экономичных в топливном отношении автосамосвалов, обеспечение таких технологических условий в карьере, которые обеспечивали бы максимально возможную в конкретных условиях эффективность эксплуатации транспортных средств.

---

<sup>7</sup> Мариев, П.А. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.



Автомобильному транспорту на открытых горных работах посвящены труды следующих авторов: М. В. Васильева, А. А. Кулешова, Б. В. Яковенко и других авторов.

В отмеченных работах описываются условия применения автомобильного транспорта, определяется область его рационального использования, излагаются особенности организации и обобщается опыт его работы на горнодобывающих предприятиях с открытым способом добычи полезных ископаемых, применяющих автомобильный транспорт.

Температура окружающего воздуха, по мнению большинства авторов, относится к наиболее значительному климатическому фактору, снижающему надежность машин, узлов и агрегатов.

В своей работе В. П. Смирнов, Ю. И. Лель подчеркивают, что основными ограничивающими факторами при использовании автомобильного транспорта на карьерах являются расстояния транспортирования и уклоны автодорог. Экономически выгодные расстояния транспортирования достигают 3-4 км, в редких случаях при использовании автомобилей большой грузоподъемности – 5-6 км. В практике проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках применяются уклоны 6-8 %, которые определяются тягово-динамическими качествами и параметрами безопасности автотранспортных средств. Уклоны на отдельных участках автодорог достигают 10-12 %<sup>8</sup>.

На карьерных автосамосвалах применяется два типа трансмиссии: гидромеханическая и электромеханическая. Автомобили особо большой грузоподъемности (130-220 т), оснащаются электромеханической трансмиссией. Анализ, проведенный П. Л. Мариным, показывает, что современной тенденцией развития карьерного автотранспорта следует считать динамичный темп нарастания грузоподъемности, сдерживаемый мощностью двигателя и несущей способностью применяемых шин<sup>9</sup>.

Для карьерных автосамосвалов особо большой грузоподъемности электромеханическая трансмиссия является основным

---

<sup>8</sup> Смирнов, В.П. Теория карьерного большегрузного транспорта / В.П. Смирнов, Ю.И. Лель. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.

<sup>9</sup> Маринев, П.А. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.

видом трансмиссии. Электромеханическая трансмиссия позволяет существенно упростить кинематическую схему автосамосвала по сравнению с механической и гидромеханической трансмиссией. Электромеханическая трансмиссия имеет следующие преимущества:

- является полностью автоматической бесступенчатой (момент и соответственно тяговое усилие на колесе изменяются при изменении сопротивления в шунтовой обмотке генератора);
- легко компоуется на автомобиле;
- удобна в управлении (водитель при управлении пользуется одним рычагом, имеющим три положения: вперед, назад, нейтральное);
- имеет высокую надежность и большой ресурс;
- удобна и проста в обслуживании.

Этими преимуществами можно объяснить тот факт, что уже в 1966 году более 60 % самосвальных автомобилей грузоподъемностью более 70 т имели электрические трансмиссии<sup>10</sup>.

Недостатком электрической трансмиссии является большой собственный вес и высокая стоимость.

Стоимость автомобиля с электроприводом на 4–7 % больше, чем с гидромеханической трансмиссией<sup>11</sup>.

Кроме этого, особенно на малых скоростях и при высоких нагрузках, например на подъемах, электрическая трансмиссия имеет более низкий коэффициент полезного действия, что вызывает более высокий расход топлива.

Несмотря на перечисленные недостатки, электрическая трансмиссия для карьерных автомобилей, работающих в переменном режиме, является основным видом трансмиссии, применяемым на автосамосвалах особо большой грузоподъемности.

Значительная стоимость автосамосвалов и большие эксплуатационные затраты вызывают необходимость поиска путей рационального использования автомобильного парка на угольных разрезах Кузбасса, где опыт внедрения автосамосвалов показал, что с увеличением их грузоподъемности возрастают требо-

---

<sup>10</sup>Скерджев, А.И. Карьерные автомобили самосвалы особо большой грузоподъемности. – М., 1970. – 88 с.

<sup>11</sup>Скерджев, А.И. Карьерные автомобили самосвалы особо большой грузоподъемности. – М., 1970. – 88 с.

вания как к повышению их надежности и ремонтпригодности, так и к уровню эксплуатации. Процесс технического перевооружения предопределяет необходимость не только физической замены одного типа автомобилей на другой, но и корректировки существующих на разрезе технологических решений, а также создания условий, позволяющих максимально использовать возможности новой техники.

Данный процесс должен сопровождаться изысканием соответствующих технологий и их применения в сложных горно-геологических условиях месторождений Кузбасса.

Проблема рационального режима эксплуатации автосамосвалов с электромеханической трансмиссией (ЭМТ) в определенных условиях подробно рассмотрена в работе<sup>12</sup>.

Электромеханическая трансмиссия состоит из дизель-генераторной установки, тяговых электродвигателей, механической передачи и аппаратуры управления тяговыми электродвигателями. На автосамосвалах распространена компоновка тягового электродвигателя и механической передачи (редуктора) в ступице заднего (ведущего) колеса, получившая название электромотор-колесо.

Редуктор – это законченный механизм, соединяющийся с двигателем и рабочей машиной, открытыми механическими передачами и муфтами. В его корпусе размещены червячные передачи или зубчатые, они неподвижно закреплены на валах. Подшипники размещены в гнездах корпуса, на них опираются валы.

Мотор-редуктор – агрегат, представляющий собой совмещённые в одном блоке электродвигатель и редуктор.

Как элемент электропривода, широко применяется во всех областях промышленности; достоинства его – высокий КПД, простота обслуживания, компактность, упрощённый монтаж.

В зависимости от типа используемой передачи, выделяют планетарные, червячные, цилиндрические, волновые и прочие мотор-редукторы. В РМК карьерных автосамосвалов применяются планетарные двухрядные передачи.

---

<sup>12</sup>Казарез, А.А. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией / А.А. Казарез, А.А. Кулешов. – М.: Недра, 1988. – 264 с.

Механические передачи мотор-редукторов предназначены для согласования параметров передаваемой мощности от двигателей к исполнительным механизмам.

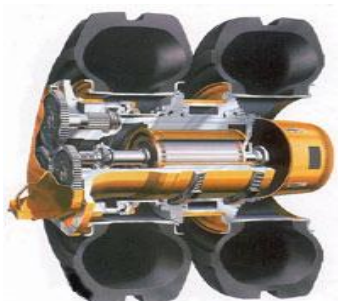


Рисунок 1.4 – Комплексный агрегат мотор-колесо

В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом создан ряд образцов машин с мотор-колесами, имеющих различное назначение и работающих в разных эксплуатационных условиях. Основное применение мотор-колеса находят на транспортных машинах большой и особо большой грузоподъемности: на карьерных автомобилях-самосвалах грузоподъемностью 50 и более тонн.

Мотор-колесо является сложным и дорогим агрегатом, причем его конструктивные и функциональные свойства тесно связаны с технико-эксплуатационными характеристиками автомобиля. В случае неполного соответствия параметров мотор-колеса параметрам автомобиля не могут быть реализованы заданные тягово-динамические свойства, возникают ограничения по условиям эксплуатации автомобиля, ухудшается топливная экономичность, снижается надежность агрегата и системы электропривода в целом.

## **2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РМК КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

### **2.1 Методы технического обслуживания карьерных автосамосвалов**

Продолжительная и надежная работа машин возможна только при условии систематического и качественного проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту оборудования. Под техническим обслуживанием понимают комплекс работ для поддержания исправного или только работоспособного состояния машин при подготовке и использовании их по назначению, а также при хранении и транспортировании. Ремонт – комплекс работ для поддержания и восстановления исправности или работоспособности машин. Система технического обслуживания и ремонта – комплекс взаимосвязанных положений и норм, определяющих организацию и порядок проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту машин в заданных условиях эксплуатации для обеспечения показателей качества, предусмотренных нормативной документацией<sup>13</sup>.

Ремонт оборудования – одна из наиболее трудоемких операций на предприятиях, от которой зависит эффективность работы всего парка техники. Поэтому на практике серьезное внимание уделяется научной организации системы технического обслуживания и ремонта машин.

Существуют различные подходы к классификации методов технического обслуживания машин и механизмов.

По мнению таких зарубежных ученых, как Брюль и Кьер методы обслуживания машин и механизмов принято подразделять в общем случае на три вида<sup>14</sup>:

1. Первый вид – *обслуживание оборудования после выхода его из строя.*

В этом случае машины и оборудование эксплуатируются до выхода их из строя (Рис. 2.1).

---

<sup>13</sup>ГОСТ 2-601-95. ЕСКД. Эксплуатационная документация.

<sup>14</sup>Азовцев, Ю.А. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях / Ю.А. Азовцев, Н.А. Баркова, В.А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза, май, 1999.

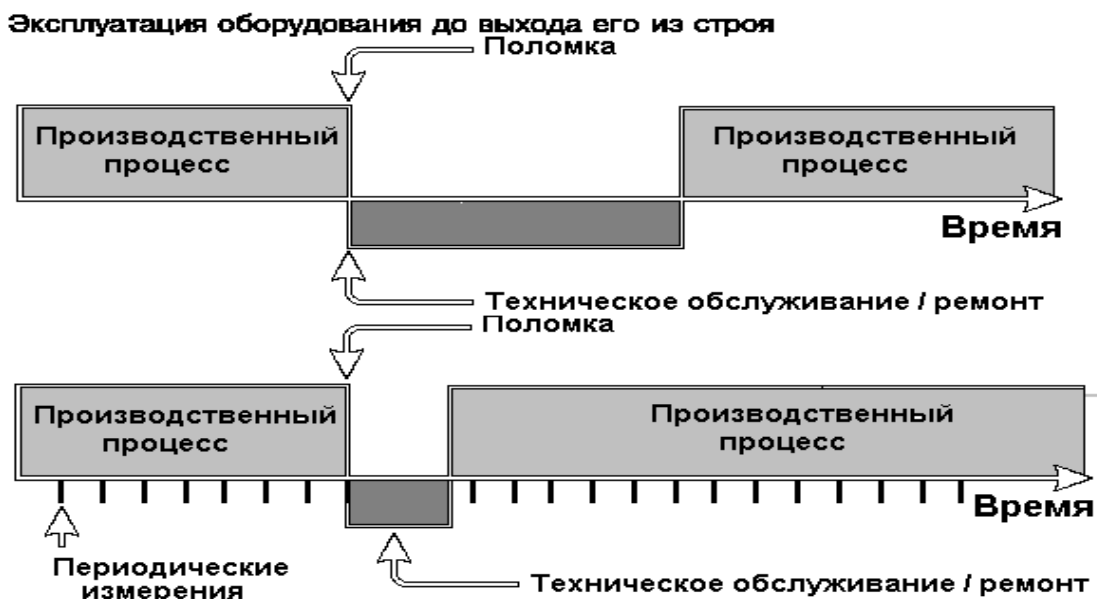


Рисунок 2.1 – Эксплуатация оборудования до выхода его из строя

В основном это касается дешевого вспомогательного оборудования при наличии его резервирования, когда замена оборудования дешевле, чем затраты на его ремонт и обслуживание. В отсутствие резервирования на время ремонта производственный процесс приходится останавливать.

2. Второй вид обслуживания – *обслуживание оборудования по регламенту* (Рис. 2.2).

Обслуживание оборудования по регламенту

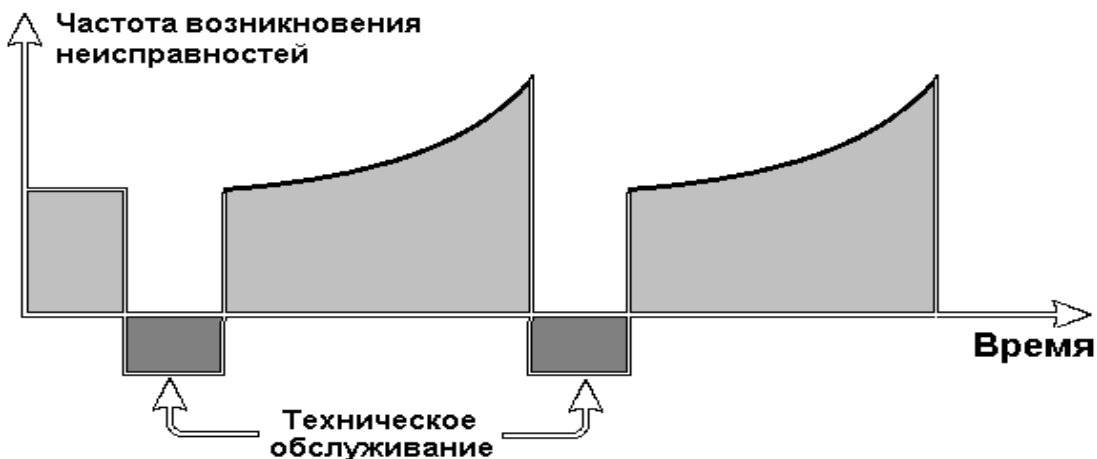


Рисунок 2.2 – Обслуживание оборудования по регламенту

В этом случае обслуживание производится в соответствии с рекомендациями завода изготовителя через определенные про-

межутки времени, например, еженедельно или раз в месяц, независимо от технического состояния оборудования. Такой вид обслуживания обычно называется планово-предупредительным.

Если периодичность обслуживания определяется методами статистического анализа, то в соответствии с регламентирующими документами период между обслуживаниями обычно составляет время, в течение которого не менее 98% оборудования работает без отказов. При обслуживании по регламенту, казалось бы, не теряется, по крайней мере, возможность воспользоваться гарантией завода изготовителя. Но оказывается, что не менее 50% из числа всех технических обслуживаний по регламенту выполняются без фактической их необходимости (P/PM Technologymagazine, 98). Кроме того, для многих машин обслуживание и ремонт по регламенту не снижает частоту выхода их из строя)<sup>15</sup>.

Более того, надежность работы машин и оборудования после технического обслуживания, если обслуживание предусматривает разборку механизма или замену деталей, часто снижается, иногда временно, до момента их приработки, а иногда это снижение надежности обусловлено появлением отсутствовавших до обслуживания дефектов монтажа.

3. Третий вид обслуживания – *обслуживание по фактическому техническому состоянию* (Рис. 2.3).

При этом виде обслуживания состояние машин и механизмов контролируется или периодически (при отсутствии дефектов), или в зависимости от результатов диагноза и прогноза технического состояния.

Проведение технического обслуживания в этом случае производится только тогда, когда это необходимо в связи с наступлением высокой вероятности отказа оборудования. Тем самым не нарушается работа исправного механизма из-за вмешательства человека.

---

<sup>15</sup>Азовцев, Ю.А. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях / Ю.А. Азовцев, Н.А. Баркова, В.А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза, май, 1999.

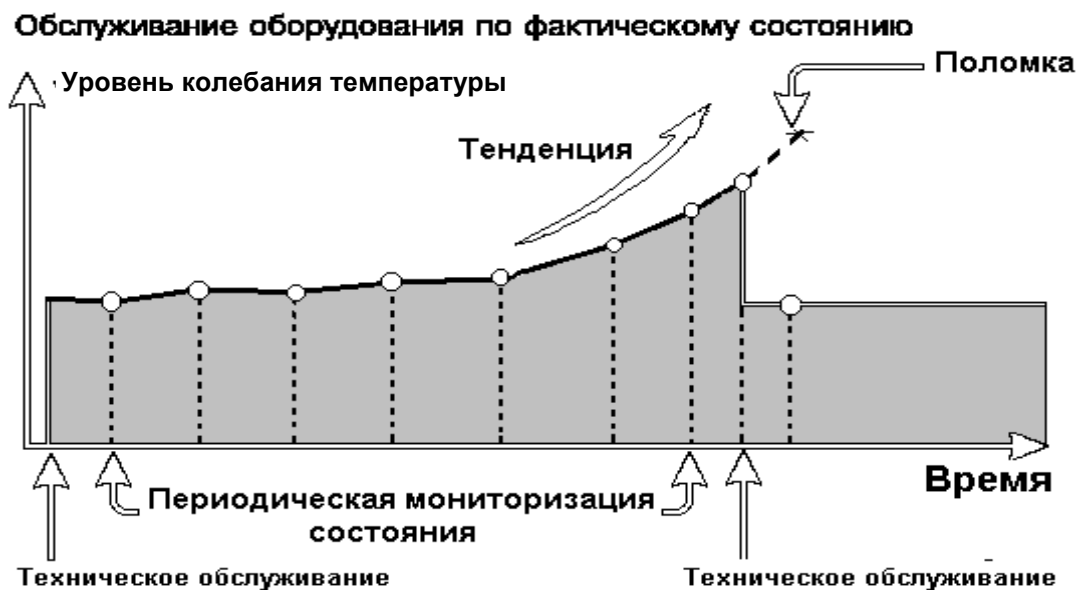


Рисунок 2.3 – Обслуживание оборудования по техническому состоянию

По мнению А. Консона применяемые в настоящее время виды технического обслуживания оборудования можно классифицировать следующим образом<sup>16</sup>:

1. *Реактивное (реагирующее) техническое обслуживание* – такой метод обслуживания, при котором ремонт или замена оборудования производится только в том случае, когда оно выходит из строя или вырабатывает свой ресурс. Реактивное (реагирующее) обслуживание имеет следующие недостатки: возможность внеплановых простоев из-за внезапных отказов оборудования и дорогостоящий и продолжительный ремонт из-за серьезности и обширности дефектов. Кроме того, имеется вероятность внезапного отказа нескольких различных агрегатов одновременно, вследствие чего необходимость в ремонтных работах может превысить возможности ремонтной службы.

2. *Планово-предупредительное техническое обслуживание (ППР)* – это метод обслуживания, основой которого является плановое периодическое проведение профилактических работ оборудования, т.е. составление и соблюдение календарного графика выполнения через строго определенные интервалы времени работ по профилактическому ремонту (текущему, среднему или капитальному). Достоинством такого метода, по

<sup>16</sup>Консон, А.С. Экономика ремонта машин. – Л.: Машиностроение, 1970.– 164 с.



сравнению с реактивным обслуживанием, является резкое снижение вероятности внезапного отказа оборудования. Однако система ППР не лишена недостатков, поскольку зачастую выполняются ремонты фактически исправного оборудования, вследствие чего растут эксплуатационные издержки производства. Кроме того, система ППР не гарантирует безотказную работу оборудования, поскольку график обслуживания строится на среднестатистических данных по парку однотипного оборудования.

3. Достижения в разработке контрольно-измерительной аппаратуры обеспечили возможность не только выявлять фактическое техническое состояние агрегата путем измерения ряда его технических параметров, но и на основе анализа изменений контролируемых параметров предсказывать необходимость и планировать сроки проведения ремонта, т.е. проводить ремонт только тех агрегатов, где он необходим. Такой вид называется *профилактическим обслуживанием по фактическому техническому состоянию* (в дальнейшем профилактическое обслуживание). Достоинствами такого метода обслуживания являются минимизация ремонтных работ (исключение ремонта бездефектных узлов) и увеличение на 25...40% межремонтного ресурса по сравнению с ППР. Серьезным недостатком такого вида обслуживания может быть ситуация, когда необходимость в проведении ремонтных работ на нескольких агрегатах одновременно превысит возможности ремонтной службы.

4. *Активное техническое обслуживание* – подход, направленный на снижение общего объема требуемого технического обслуживания и максимизацию срока службы оборудования (т.е. в идеале - создание «вечного» агрегата, не требующего технического обслуживания) путем систематического устранения источников дефектов, приводящих к преждевременному выходу оборудования из строя. Другими словами, результатам обобщения наиболее часто встречающихся дефектов, выявляемых в процессе работы оборудования, проводятся анализ и определение причин их возникновения и влияния на межремонтный интервал, а затем принимаются меры по недопущению возникновения этих дефектов. В частности, производится постоянный анализ работы ремонтного персонала с выявлением недостатков работы той или

иной бригады, проявляющихся на группе агрегатов (например, некачественная сборка, центровка или балансировка), анализ работы ремонтного производства с выявлением недостатков ремонтных технологий (например, технологии изготовления подшипников скольжения), анализ оснащенности (например, отсутствие оснастки по нагреву подшипников качения при монтаже), конструктивных изменений (например, применение износостойких материалов) и др.

Классификация А. Консона схожа с классификацией Брюля и Къера, но является более расширенной.

Г.И. Солод и В. И. Морозов выделяют следующие системы организации технического обслуживания и ремонта горного оборудования<sup>17</sup>:

- послеосмотровая;
- периодическая;
- стандартная;
- комбинированная;
- по фактическому техническому состоянию машины.

Система *послеосмотровых ремонтов* основывается на осмотрах оборудования, проводимых регулярно в удобное для этого время. По результатам осмотров наиболее изношенных узлов, требующих первоочередной замены или восстановления, составляется дефектная ведомость и проводятся плановые ремонты. Объемы ремонтов зависят от фактического состояния оборудования. Оборудование поддерживается в работоспособном состоянии за счет проведения текущих ремонтов различного объема и продолжительности. Преимущество такой системы – наилучшее использование ресурса деталей и наименьшие трудозатраты на ремонт. Недостаток системы состоит в затруднении планирования ремонтов, своевременной оценки потребности в запасных частях, а в связи с этим осложняется и организация работы ремонтных служб. При такой системе ремонта нельзя заранее определить время остановки оборудования на ремонт и его продолжительность. Кроме того, объем, вид и качество ремонта зависят от уровня квалификации лиц, проводящих осмотр.

---

<sup>17</sup> Солод, Г.И. Эксплуатация и ремонт горного оборудования / Г.И. Солод, В.И. Морозов. – М.: Центральное правление НТГО, 1983. – 174 с.

Система *периодических ремонтов* основана на планировании и проведении осмотров и ремонтов оборудования в строго установленные сроки в зависимости от режима работы оборудования и сложности его конструкции. При этом заранее не планируется замена деталей и сборочных единиц. Их замена производится по мере необходимости, устанавливаемой при осмотрах и ремонтах. При такой организации, как и при послеосмотровых ремонтах, невозможно планировать объемы ремонтных работ и своевременно выявлять потребность в запасных частях, что затрудняет распределение рабочей силы и ремонтного оборудования во времени и осложняет в целом организацию работы ремонтной службы. Достоинство системы – выполнение ремонта по фактическому состоянию оборудования, наибольшее использование ресурса деталей и, в связи с этим, меньший расход запчастей.

Приведенные выше системы организации ремонтов отличаются гибкостью. Их применяют для оборудования, работающего при переменных нагрузках.

Система *стандартных ремонтов* основана на обязательной замене определенной части деталей и сборочных единиц в строго установленные сроки. При этом планируют ремонты заранее с известным перечнем работ. В таком случае принудительно заменяются все детали и сборочные единицы, несмотря на то, выработали ли они свой ресурс. Как исключение, могут не заменяться детали, которые гарантируют нормальную работу оборудования до следующего ремонта. Достоинство системы – высокая надежность работы оборудования, возможность планирования ремонтов по срокам и объемам, обеспечение стабильности работы ремонтной службы. Недостаток – высокая стоимость ремонта из-за повышенного расхода запасных частей и завышенного объема ремонтных работ. Систему стандартных ремонтов рационально применять для оборудования, имеющего резервирование, например, для насосов водоотлива, вентиляторов главного проветривания, компрессоров, шахтных подъемных установок и др., отказ которого влечет за собой тяжелые последствия.

*Система планово-предупредительных ремонтов (ППР)* – комплекс взаимообусловленных положений и норм, определяющих организацию и порядок проведения технического обслуживания и ремонта оборудования. Система ППР устанавливает ви-

ды, организацию и порядок проведения технического обслуживания, плановых ремонтов, основные нормативно-технические документы, ремонтные нормативы, организацию смазочного хозяйства, учет и движение оборудования, контроль за соблюдением действующих правил и норм технического обслуживания, ремонта и эксплуатации оборудования.

Система ППР предусматривает в общем случае проведение следующих мероприятий:

- техническое обслуживание – ежесменное, ежесуточное, месячное, сезонное;
- плановые ремонты – текущие, средние и капитальные;
- наладки и ревизии оборудования – полугодовые и годовые.

Для каждого конкретного случая характерен свой перечень проводимых мероприятий системы ППР, устанавливаемый специальным положением о ППР по каждой отрасли и предусматривающий выполнение определенного перечня указанных выше мероприятий. Техническое обслуживание заключается, прежде всего, в поддержании работоспособного состояния оборудования путем проведения различного рода малотрудоемких операций:

- осмотры;
- проверка смазки и регулировка;
- проверка крепежа;
- чистка и замена быстроизнашивающихся деталей (щеток, колодок, упругих элементов муфт и др.);
- сварка и наплавка.

Другая основная задача технического обслуживания – контроль износа отдельных деталей и сборочных единиц с целью составления дефектной ведомости на ближайший плановый ремонт. От качества выполнения этого вида работы зависит качество ремонтных работ и, в конечном итоге, надежность эксплуатации машин. Плановые ремонты производятся в установленные нормативами системы ППР сроки и имеют дифференцированный объем (Т1, Т2, Т3,...,К) в соответствии со структурой ремонтного цикла, разработанной для определенного вида оборудования. Перечень ремонтных работ для каждого вида планового ремонта не известен. Он устанавливается по результатам осмотров оборудования во время технического обслуживания.

Достоинствами системы ППР являются:

- возможность планирования ремонтных работ;
- определение мощности ремонтной базы предприятия (по трудоемкости ремонта оборудования);
- обеспечение стабильной и устойчивой работы ремонтных служб;
- уменьшение расхода запасных частей и стоимости ремонта по сравнению со стандартной системой.

Недостатки системы ППР обуславливаются значительным разнообразием условий работы горного оборудования и различными требованиями к эффективности его эксплуатации. Среди них следует отметить, прежде всего, недостаточное качество, высокую стоимость и продолжительность ремонтных работ, как результат низкого уровня технологической подготовки ремонта.

Совершенствование системы ППР велось и ведется по следующим направлениям:

- переход планирования межремонтных сроков в единицах наработки, максимально отражающих фактический износ оборудования;
- централизация всех видов технического обслуживания и ремонтов и специализация ремонтников на выполнение узкого круга операций;
- внедрение агрегатно-узлового метода ремонта;
- организация смазочного хозяйства на уровне, отвечающим современным требованиям;
- комплексная механизация наиболее трудоемких ремонтных и других связанных с ними вспомогательных работ;
- внедрение методов и средств технической диагностики состояния машин;
- разработка и внедрение АСУ техническим состоянием оборудования.

В последние годы при ремонте горного оборудования, как результат совершенствования системы ППР, применяется *поэтапная система ремонтов*, разработанная ГОУ Кузбасский государственный технический университет в содружестве с Куз-

нецким филиалом НИИОГР и Институтом угля и углехимии СО РАН<sup>18, 19</sup>.

Отличительной особенностью поэтапной системы является не единовременное восстановление работоспособности оборудования путем проведения капитального ремонта, а поэтапное, в течение установленного ремонтного цикла, по мере отработки ресурса каждой сборочной единицей или агрегатом. Трудозатраты и стоимость капитального ремонта распределяются равномерно по этапам эксплуатации машины, устраняя тем самым резкое снижение эффективности эксплуатации оборудования. Ремонт по этой системе заключается в следующем. В процессе проведения текущих ремонтов, наряду с обязательным объемом работ, выявленным в результате осмотров оборудования, производятся ремонты наиболее изношенных сборочных единиц и механизмов. При этом за счет совмещения ремонтных работ удается исключить многие трудоемкие ремонты, в том числе и капитальный.

Система *гарантийных ремонтов*, получающая в последнее время широкое распространение на горных предприятиях, представляет новый шаг в дальнейшем совершенствовании организации ремонтов. Суть её заключается в выполнении ремонтов с гарантией безотказной работы оборудования в течение заданного срока. Основные гарантии – четкое техническое обслуживание машин в период между плановыми ремонтами. При этом заказчику выдается гарантийный паспорт на каждый отремонтированный объект, подтверждающий качество выполненных ремонтных работ.

В настоящее время назрела необходимость разработки системы ремонтов и технического обслуживания карьерного оборудования, имеющей предупредительный характер<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности одноковшовых экскаваторов / ГУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет». Согласовано с Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора России по Кемеровской области // Изд-во Фонда, Новокузнецк: 2007. – 125 с.

<sup>19</sup> Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности карьерных самосвалов / ГУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет». Согласовано с Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора России по Кемеровской области // Изд-во Фонда, Новокузнецк: 2007. – 78 с.

Основная идея *профилактического (упреждающего) обслуживания по фактическому состоянию* состоит в устранении отказов на основе методов распознавания технического состояния оборудования по совокупности контролируемых параметров его работы, выявлении имеющихся или развивающихся дефектов, определении степени их опасности и прогнозировании оптимальных сроков проведения ремонтных работ.

Техническая база профилактического обслуживания основана на том, что существует взаимосвязь между возможными техническими неисправностями агрегата и диагностическими параметрами, которые можно контролировать.

Другими словами, большинство распознаваемых дефектов, которые могут возникать в агрегате, имеют определенные диагностические признаки и параметры, предупреждающие о том, что дефекты присутствуют, развиваются и могут привести к отказу. Диагностические признаки дефектов могут включать параметры вибрации, технологические и режимные параметры (температуру, нагрузку, давление, влажность и др.), частицы износа в смазке и т. п. В частности, при износе деталей наблюдается изменение уровня вибрации.

Следовательно, проводя мониторинг различных параметров, характеризующих работу оборудования, можно вовремя обнаружить изменение его технического состояния и провести техническое обслуживание только тогда, когда возникает реальная возможность выхода параметров за допустимые пределы, т.е. когда дальнейшая эксплуатация невозможна.

Рассмотренные методики, несмотря на видимые различия, достаточно схожи.

Представленные подходы к техническому обслуживанию имеют характерные особенности влияния на производственный процесс и межремонтные интервалы (Табл. 2.1).

---

<sup>20</sup>Ещеркин, П.В. Инновационные пути повышения надежности гидравлических буровых станков / П.Б. Герике, П.В. Ещеркин // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей: Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2008. – С. 56-59.

Таблица 2.1 – Особенности влияния подходов к техническому обслуживанию на производственный процесс и межремонтные интервалы<sup>21</sup>

Вид технического обслуживания			Характерные особенности
по Брюлю и Кьеру	по А. Консону	по Г.И. Солоду и В. И. Морозову	
		Система послеосмотровых ремонтов	Проводится регулярно в удобное время. Нельзя заранее определить время остановки оборудования на ремонт и его продолжительность.
Обслуживание оборудования после выхода его из строя	Реактивное (реагирующее) техническое обслуживание		Повышенная вероятность значительных внеплановых остановок оборудования и перебоев в работе
Обслуживание по регламенту	Планово-предупредительное техническое обслуживание	Система планово-предупредительных ремонтов	Всеобъемлющее обслуживание оборудования для профилактики внеплановых остановок и сбоев в работе
		Система стандартных ремонтов	Высокая стоимость ремонта из-за повышенного расхода запасных частей и завышенного объема ремонтных работ
		Система периодических ремонтов	Обслуживание только дефектного оборудования в сочетании с профилактикой внеплановых остановок
Обслуживание по фактическому техническому состоянию	Профилактическое обслуживание по фактическому техническому состоянию	Профилактическое (упреждающее) обслуживание по фактическому состоянию	Обслуживание оборудования производится «по необходимости», то есть по фактическому состоянию объекта
	Активное техническое обслуживание		Продление межремонтного интервала и интервала между обследованиями

<sup>21</sup>Хорешок, А.А. Характеристика методов технического обслуживания горно-транспортного оборудования / А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых, В.В. Кузнецов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. – №5. – С. 48-61.



Значительная часть предприятий, в том числе и горнодобывающих, используют планово-предупредительную систему обслуживания. Но в целях обеспечения стабильной работы горных машин и оборудования наиболее целесообразно перестраивать тактику технического обслуживания: от ремонта вышедшего из строя оборудования к недопущению выхода его из строя (отказа). При этом уменьшаются эксплуатационные затраты и внеплановые остановки производства.

Цель периодического планово-предупредительного обслуживания состоит в исключении отказов оборудования и непредвиденных расходов (которые, например, могут произойти при реактивном обслуживании) путем планирования и проведения технического обслуживания ранее момента вероятного среднестатистического отказа.

Базисом деятельности служит обычно 52-недельный план-график ППР, составляемый службой главного механика (ремонтной службой), которая определяет и отслеживает бюджет и основу повседневной деятельности службы ремонта, а также выполняет многие другие административные функции, такие как отслеживание списка и пополнение запасных частей для ППР, хранение истории агрегатов, функционально-стоимостной анализ обслуживания и др.

Планово-предупредительные ремонты являются сегодня одним из самых широко применяемых видов ТО, в первую очередь, потому, что эта стратегия более старая и наиболее обеспечена методически.

Несомненным достоинством планово-предупредительного обслуживания является то, что оно обеспечивает более высокий уровень управления обслуживанием, выходящий за рамки реактивного обслуживания. Исследования и опыт работы в промышленности показали, что успешная программа ППР может обеспечить более чем 30% снижение эксплуатационных затрат относительно расходов при реактивном обслуживании<sup>22</sup>.

В то же время планово-предупредительные ремонты не учитывают индивидуальных особенностей работы машин и оборудо-

---

<sup>22</sup>Квагинидзе, В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горно-транспортного оборудования в условиях низких температур: дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 313 с.

вания. Поэтому нам представляется целесообразным применять метод обслуживания машин и оборудования по фактическому техническому состоянию.

Основная идея обслуживания по фактическому техническому состоянию состоит в устранении отказов машин и оборудования, обнаруживаемых методами распознавания технического состояния с применением диагностических параметров (например, температуры).

Техническая база профилактического обслуживания основана на том, что существует взаимосвязь между возможными техническими неисправностями агрегата и диагностическими параметрами, которые можно контролировать.

Другими словами, большинство распознаваемых дефектов, которые могут возникать в агрегате, имеют определенные диагностические признаки и параметры, предупреждающие о том, что дефекты присутствуют, развиваются и могут привести к отказу.

Следовательно, проводя мониторинг различных параметров, характеризующих работу оборудования, можно вовремя обнаружить изменение его технического состояния и провести техническое обслуживание только тогда, когда возникает реальная возможность выхода его параметров за предельно допустимые пределы.

Обслуживание по фактическому техническому состоянию имеет ряд преимуществ по сравнению с ППР:

- наличие постоянной информации о состоянии агрегатов, охваченных мониторингом, позволяет планировать и выполнять техническое обслуживание и ремонт без остановки производства и практически исключить отказы (внеплановые остановки) оборудования;
- внедрение профилактического обслуживания позволяет добиться увеличения эффективности производства от 2 до 10% за счет прогнозирования и планирования объемов технического обслуживания и ремонта проблемного оборудования, снижения расходов на его техническое обслуживание;
- внеплановый объем работ, вызванный чрезвычайными ситуациями, обычно составляет менее 5% от общего объема работ, а время простоя оборудования – не более

3% от времени, затраченного на техническое обслуживание: опыт показывает, что типичные расходы на ремонт при аварийных отказах оборудования в среднем в 10 раз превышают стоимость ремонта при вовремя обнаруженном дефекте<sup>23</sup>.

Для перехода с обслуживания и ремонта по регламенту на ремонт и обслуживание по фактическому состоянию необходима тщательная диагностика машин и оборудования, причем желательно обнаруживать все дефекты, влияющие на ресурс, задолго до отказа, чтобы подготовиться к ремонту.

В данном случае с помощью средств технической диагностики проводят непрерывный контроль параметров состояния объекта.

Прогнозирование выполняют при непрерывном контроле для определения времени, в течение которого сохранится работоспособное состояние объекта.

Результаты диагностирования и контроля являются основой для принятия решения о необходимости ТО, времени его проведения и объеме, а также о времени проведения очередного контроля технического состояния (Рис.2.4).

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о целесообразности применения обслуживания по фактическому техническому состоянию объекта на предприятиях.

---

<sup>23</sup>Квагинидзе, В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горно-транспортного оборудования в условиях низких температур: дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 313 с.



Рисунок 2.4 – Алгоритм принятия решения о необходимости ТО, времени его проведения и объеме, а также о времени проведения очередного контроля технического состояния

## 2.2 Техническая диагностика: задачи, принципы, методы и средства диагностирования

По результатам многочисленных исследований выявлено, что годовая производительность транспортно-технологических машин и комплексов к концу срока их службы сокращается по сравнению с первоначальной, снижается безопасность конструкции. За срок службы расходы на техническое обслуживание и

ремонт превосходят первоначальную стоимость в несколько раз. Поэтому важным направлением, как при проектировании, так и при эксплуатации является точная и достоверная прогнозная оценка основных показателей надежности деталей. В качестве средства, обеспечивающего повышение эффективности и надежности работы машин, является диагностирование технического состояния их элементов.

Техническое диагностирование является составной частью технологических процессов приема, текущего обслуживания и ремонта экскаваторно-автомобильных комплексов и представляет собой процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью и без его разборки и демонтажа.

При планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта машин через определенное время в принудительном порядке подвергается профилактическим воздействиям в установленном объеме. При этом, несмотря на корректирование режимов ТО и ремонта в зависимости от ряда факторов, индивидуальный подход к каждой единице отсутствует.

Однако необходимость в таком подходе есть, так как даже при работе карьерных автосамосвалов в одинаковых условиях техническое состояние каждого из них при одной и той же наработке вследствие целого ряда причин (индивидуальные особенности машин, качество вождения (управления), ТО и т.д.) может существенно отличаться<sup>24</sup>. Далеко не для каждого автосамосвала необходимы все операции, предусмотренные «жестким» объемом того или иного вида ТО. Выполнение этих «ненужных» операций ведет, с одной стороны, к неполной реализации индивидуальных свойств автосамосвала, повышению затрат на ТО, с другой, отнюдь не способствует улучшению его технического состояния<sup>25</sup>. Наоборот, частые вмешательства в работу сопряжений способствуют повышенному изнашиванию сопряженных поверхностей,

---

<sup>24</sup> Кудреватых, А.В. Диагностика редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов на основе контроля за износом подшипника // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. – № 2 (120). – С. 88-93.

<sup>25</sup> Kudrevatykh, A.V. The diagnostics of motor-wheel gears of quarry dump trucks based on bearing wear monitoring // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety 2016. С. 252-255.

появлению повреждений крепежных соединений, нарушению герметичности соединений. Значительные потери трудовых и материальных ресурсов связаны также с большим объемом ремонтных воздействий, обусловленным несвоевременным выявлением отказов. Наиболее полное использование индивидуальных возможностей карьерных автосамосвалов и обеспечение на этой основе высокой эффективности в процессе эксплуатации может быть осуществлено за счет широкого внедрения в технологический процесс ТО и ремонта диагностирования технического состояния машины.

Техническое диагностирование – процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью. Оно способствует: повышению надежности карьерных автосамосвалов за счет своевременного назначения воздействий ТО или ремонта и предупреждения возникновения отказов и неисправностей; повышению долговечности агрегатов, узлов за счет сокращения количества частичных разборок; уменьшению расхода запасных частей, эксплуатационных материалов и трудовых затрат на ТО и ремонт за счет проведения последних по потребности на основании данных диагностирования, проводимого, как правило, планоно.

Практика показывает, что одним из факторов, препятствующих эффективному использованию дорогостоящей техники, является низкий коэффициент использования ее во времени, а организация производительной и безаварийной работы – сложный комплекс работ, в реализации которого задействовано значительное количество технических служб. Техническое диагностирование позволяет примерно на 50% снизить простои техники из-за отказов двигателей, на 40% увеличить фактическую межремонтную наработку, на 10% снизить затраты на текущий ремонт, на 11% сократить расход запасных частей и на 6,5% уменьшить расход топлива<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> Кудреватых, А.В. Диагностирование технического состояния двигателей по параметрам работающего масла как направление повышения экономии материальных средств / А. В. Кудреватых, Н. В. Кудреватых // Материалы ежегодной апрельской научно-практической конференции: Промышленность и экологическая безопасность – Основа развития Кузбасса. – Прокопьевск: изд-во филиала ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске, 2007. – С.119-124.

Составной частью процесса технического обслуживания экскаваторно-автомобильных комплексов является техническая диагностика. Основными задачами технической диагностики являются:

- проверка работоспособности экскаваторно-автомобильных комплексов в целом, а так же отдельных его элементов (экскаваторов, автосамосвалов, бульдозеров) и уточнение выявленных в процессе эксплуатации скрытых неисправностей для их своевременного устранения;
- обнаружение автосамосвалов, техническое состояние которых не соответствует требованиям безопасности движения и охраны окружающей среды;
- выявление до технического обслуживания неисправностей, устранение которых потребует трудоемких ремонтных и регулировочных работ в зоне текущего ремонта;
- заключительный и выборочный контроль качества выполненных при техническом обслуживании и ремонте работ;
- изменение диагностических параметров при сопутствующих регулировочных работах;
- уточнение причин, выявленных в процессе проведения технического обслуживания, ремонта отказов или неисправностей;
- прогнозирование безотказной работы составных элементов карьерного автосамосвала в межконтрольный период (до следующего планового диагностирования);
- выдача информации о техническом состоянии карьерного автосамосвала в целом и отдельных его элементов.

Развитие и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов ставят перед диагностикой ряд сложных задач. Диагностика должна обеспечить не только технико-экономический эффект за счет своевременного выявления и устранения неисправностей, но и улучшать качество работ по техническому обслуживанию и ремонту, что позволит сократить простои, следствием чего станет снижение себестоимости добычи.

Условием эффективного применения диагностики с высоким качеством контроля технического состояния узлов и агрегатов элементов карьерных автосамосвалов является разработка

технически и экономически обоснованной технологии, включающей содержание и последовательность выполнения работ и операций диагностирования применительно к выбранному оборудованию.

При обосновании технологии диагностических работ должны применяться следующие принципы:

- технология должна разрабатываться отдельно для каждого вида диагностирования;
- содержание диагностирования должно обеспечивать получение достаточной информации о техническом состоянии экскаваторно-автомобильных комплексов и не вызывать больших затрат на его применение;
- технология должна соответствовать применяемому горному оборудованию и содержать технологические указания и требования к состоянию проверяемого узла, агрегата, механизма;
- последовательность выполняемых операций должна быть рациональной;
- технология диагностирования может включать выполнение регулировочных работ, в том числе и сложных регулировок;
- периодичность диагностических воздействий по видам обслуживания узла, агрегата, системы должна оптимально сочетаться с условиями функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов на конкретных разрезах.

Выше отмечалось, что техническое состояние агрегата, узла определяется значениями его структурных параметров. Однако возможность прямого их измерения без полной или частичной разборки весьма ограничена.

При диагностике для оценки технического состояния агрегата используют так называемые выходные процессы функционирующего механизма. Различают рабочие выходные процессы (например, потребление или отдача мощности, расход топлива, теплообмен с внешней средой) и сопутствующие (например, шум, вибрация, световые явления и т.д.). Каждый из выходных процессов количественно оценивается с помощью соответствующих параметров (например, отдача мощности может быть



оценена соответствующей величиной, темпом ее нарастания). Между структурными параметрами и параметрами выходных процессов существует функциональная связь, благодаря чему по значениям последних можно достаточно полно оценить техническое состояние транспортно-технологических машин и комплексов (их агрегатов), качество их функционирования. Номинальным значениям структурных параметров соответствуют номинальные значения параметров выходных процессов. По мере ухудшения технического состояния агрегата параметры выходных процессов либо увеличиваются (например, вибрация, расход топлива), либо уменьшаются (давление масла). Предельное значение параметра выходного процесса свидетельствует о неисправном состоянии техники, определяет необходимость ТО или ремонта. Зная характер, темп изменения параметра выходного процесса и его предельное значение, можно определить ресурс работы до очередного ТО или ремонта.

В зависимости от количества информации, которую содержат параметры выходных процессов, они могут быть обобщенными или частными. Первые характеризуют техническое состояние карьерных автосамосвалов в целом, частные – техническое состояние конкретного механизма, системы (например, стуки в кривошипно-шатунном механизме двигателя и т.д.).

Параметры выходных процессов, в отличие от структурных, как правило, измеряются непосредственно на работающей единице и используются для определения его технического состояния без разборки.

Выходные процессы, используемые для оценки технического состояния машины без ее разборки, называются диагностическими признаками, а параметры таких процессов – диагностическими параметрами. Не все выходные процессы могут служить в качестве диагностических признаков. Для того чтобы можно было использовать параметр выходного процесса в качестве диагностического, он должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть функционально важным для оценки технического состояния;
- быть однозначным, т.е. должен отсутствовать его переход от возрастающей функции к убывающей (или наоборот) в зависимости от наработки или изменения его

- структурного параметра от начального до предельного значения. Этим обеспечивается соответствие каждому значению структурного параметра;
- быть чувствительным (информативным);
  - обладать стабильностью при многократных измерениях, характеризующейся степенью рассеивания значений относительно среднего значения параметра при постоянных условиях измерения;
  - обладать дифференцирующей способностью, позволяющей разделять и локализовать неисправности различных элементов объекта по месту их возникновения (до составных частей элементов, до конкретного сопряжения, детали при наличии нескольких одноименных сопряжений, деталей в элементе);
  - обеспечивать технологичность и экономичность, определяемые удобством определения параметра при диагностировании, соответствующими трудовыми и материальными затратами.

Методы диагностирования характеризуются физической сущностью диагностических параметров.

Они делятся на две группы: измерения параметров эксплуатационных свойств техники (динамичности, топливной экономичности, безопасности движения, влияния на окружающую среду) и измерения параметров процессов, сопровождающих функционирование техники, агрегатов и механизмов (нагрев, вибрация, шум и др.). Классификация методов диагностирования представлена на рисунке 2.5.

Кроме того, существует группа методов диагностирования, обеспечивающих измерение геометрических величин, непосредственно характеризующих техническое состояние механизмов техники.



Рисунок 2.5 – Методы технического диагностирования технологического оборудования<sup>27</sup>

Первая группа методов позволяет оценить работоспособность и эксплуатационные свойства техники в целом, а вторая и третья дают возможность выявить конкретные причины неисправностей. Поэтому при диагностировании, исходя из принципа

<sup>27</sup>Герике, Б.Л. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов: Учеб. пособие. – В 2-х ч. Ч. 1: Мониторинг технического состояния по параметрам вибрационных процессов / Кузб. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1999 – 188с.

«от целого к частному», сначала применяют первую группу методов, осуществляя общее диагностирование, а затем для конкретизации технического состояния объекта применяют методы второй и третьей группы, осуществляя его локальное диагностирование.

Наиболее часто используемыми методами диагностирования технического состояния являются:

1. *Тепловой метод*, заключается в определении параметров, характеризующих количество тепла, выделяемого в результате протекания процессов сгорания, работы сил трения при заданных скоростном и нагрузочном режимах. Такими параметрами могут быть температура нагрева, скорость ее изменения. Метод может применяться для диагностирования двигателя, агрегатов трансмиссии, подшипниковых узлов.

2. Методы диагностирования узлов *по параметрам колебательных процессов* широко используются при создании средств технического диагностирования. Их можно разделить на три вида: *методы*, оценивающие колебания напряжения в электрических цепях (на этой основе созданы мотор-тестеры); *по параметрам виброакустических сигналов*, получаемых при работе зубчатых зацеплений, клапанных механизмов, подшипников и т.д.; *по параметрам, оценивающим пульсацию давления в трубопроводах* (на этой основе созданы дизель-тестеры для диагностирования дизельной топливной аппаратуры).

3. Методы, *оценивающие состояние узлов и агрегатов по физико-химическому составу отработавших эксплуатационных материалов*. Например, простейший экспресс-анализ отработанного масла на загрязнение, спектральный анализ проб масел, в результате проведения которого по наличию и концентрации различных химических элементов в масле можно поставить диагноз работоспособности отдельных узлов и сопряжений агрегата.

4. Методы диагностирования *по герметичности рабочих объемов*. Сущность процесса диагностирования заключается в создании в контролируемом объеме избыточного давления (разряжения) и в оценке интенсивности их падения.

Выбор метода диагностирования технического состояния агрегата обусловлен следующими условиями:

1. контролепригодность оборудования;
2. наличие приборной базы;
3. методика определения технического состояния и его прогнозирования;
4. обученный персонал;
5. экономическая целесообразность.

Для проведения диагностики необходимы средства диагностирования: устройства, задающие тестовый режим; датчики, воспринимающие диагностические параметры; устройства для обработки сигнала, для постановки диагноза, индикации результатов, их хранения или передачи в органы управления.

Достоверность результатов диагностирования в большой мере зависит от нагрузочного, скоростного и теплового режимов работы объекта.

Поэтому с целью получения высококачественной диагностической информации применяют соответствующие устройства, задающие и поддерживающие оптимальные нагрузочные, скоростные и тепловые режимы.

Средства технического диагностирования (СТД) представляют собой технические устройства, предназначенные для измерения количественных значений диагностических параметров. В их состав входят в различных комбинациях следующие основные элементы: устройства, задающие тестовый режим; датчики, воспринимающие диагностические параметры и преобразующие их в сигнал, удобный для обработки или непосредственного использования; измерительное устройство и устройство отображения результатов (стрелочные приборы, цифровая индикация, экран осциллографа).

Кроме того, СТД может включать в себя устройства автоматизации задания и поддержания тестового режима, измерения параметров и автоматизированное логическое устройство, осуществляющее постановку диагноза.

СТД по их взаимодействию с объектом диагностирования можно разделить на три вида (Рис. 2.6).

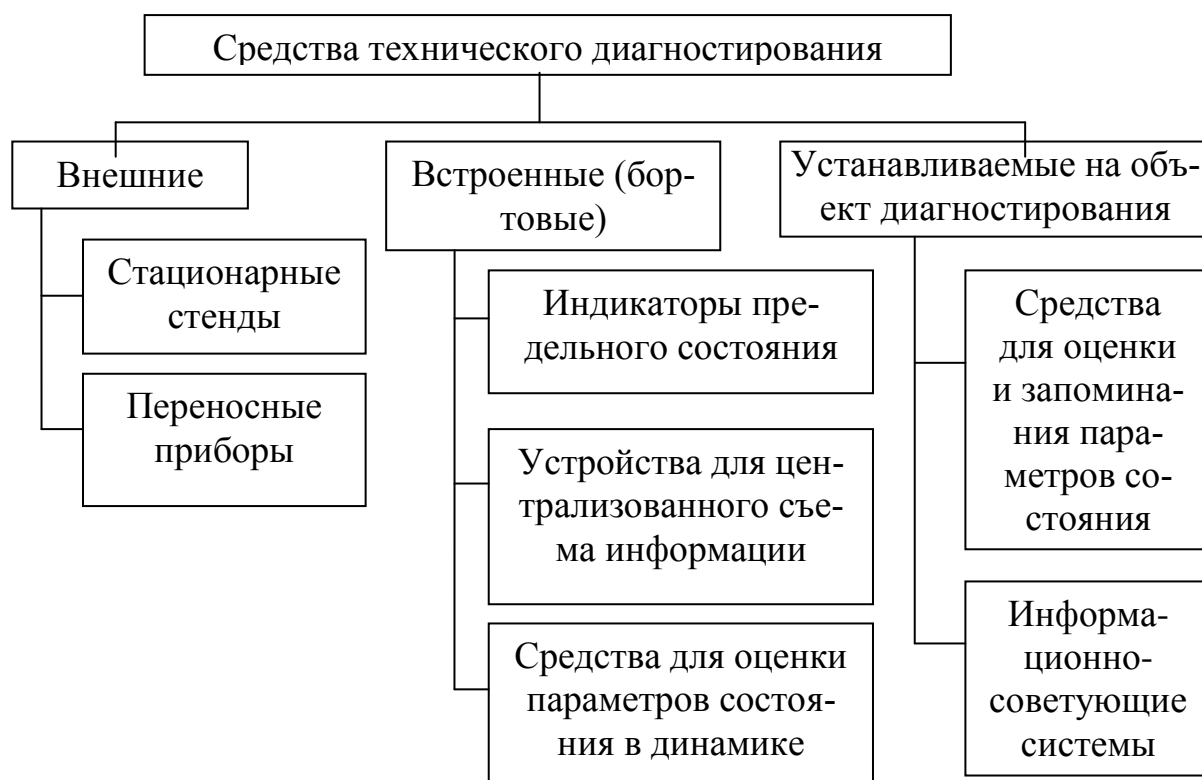


Рисунок 2.6 – Классификация средств технического диагностирования

Внешние СТД, т. е. не входящие в конструкцию объекта диагностирования, в зависимости от их устройства и технологического назначения могут быть стационарными или переносными. Стационарные стенды устанавливаются на фундаменты, как правило, в специальных помещениях, оборудованных отсосом отработавших газов, вентиляцией, шумоизоляцией. Переносные приборы используются как в комплексе со стационарными стендами, так и отдельно для локализации и уточнения неисправностей на специализированных участках и постах ТО и ремонта.

Встроенные (бортовые) СТД включают в себя входящие в конструкцию горного оборудования датчики, устройства измерения, микропроцессоры и устройства отображения диагностической информации. Простейшие встроенные СТД представляют собой традиционные приборы на панели (щитке) перед водителем (или машинистом экскаватора), номенклатура которых на современном оборудовании постоянно расширяется за счет введения новых СТД, особенно электронных, обеспечивающих контроль состояния все усложняющихся элементов конструкции

техники. Более сложные встроенные СТД позволяют водителю или машинисту экскаватора постоянно контролировать состояние элементов привода и рабочих механизмов тормозной системы, расход топлива, токсичность отработавших газов в процессе работы и выбирать наиболее экономичные и безопасные режимы управления техникой или своевременно прекращать движение при возникновении аварийной ситуации.

Наличие таких средств позволяет своевременно выявлять наступление предотказных состояний и назначать проведение предупредительных воздействий по фактическому состоянию.

Но широкое использование встроенных СТД на горном оборудовании ограничивается его надежностью и экономическими соображениями. В связи с этим в последние годы получили распространение вместо встроенных СТД так называемые *устанавливаемые СТД (УСТД)*, которые отличаются от встроенных конструктивным исполнением средств обработки, хранения и выдачи информации, выполняемых в виде блока, который устанавливается на оборудование периодически. Поскольку плановые и заявочные диагностирования техники проводятся относительно редко, это позволяет иметь значительно меньшее количество УСТД по сравнению со встроенными, что экономически выгоднее.

УСТД изготавливаются на базе электронных элементов. Это позволяет эффективно использовать ЭВМ для обработки получаемой диагностической информации о техническом состоянии горного оборудования и ее дальнейшего использования для решения задач управления производством ТО и ремонта.

Сложные системы, в том числе и технические, требуют обеспечения высокого уровня качества функционирования и надежности. Это требование становится особенно актуальным в случае, когда от работы системы зависит выполнение поставленной оперативно-функциональной задачи, сопряженной с опасностью потери человеческих жизней или значительных капитальных финансовых вложений. Резервом повышения надежности является переход от планово-предупредительного обслуживания и ремонта к обслуживанию и ремонту по действительному техническому состоянию. Использование этой стратегии обслуживания требует широкого применения средств и методов автоматизиро-

ванного контроля и диагностирования. В связи с этим возникает необходимость обеспечения такого свойства изделия (объекта технического диагностирования), которое позволило бы с минимальными затратами достоверно определить его техническое состояние.

При одновременном сохранении надежности диагностирование позволяет сократить время нахождения горных машин в техническом обслуживании и ремонте. Необходимо стремиться обеспечить эффективность работы ремонтной службы, затрачивая минимум средств на устранение отказов и на выполнение технического обслуживания при различной периодичности. При увеличении периодичности обслуживания возрастают затраты на устранение отказов, в то же время уменьшаются удельные затраты на проведение технического обслуживания. Сумма затрат позволяет определить оптимальную периодичность проведения плановых технических воздействий.

Диагностирование экскаваторно-автомобильных комплексов является элементом системы их технического обслуживания и ремонта. Своевременное техническое обслуживание и ремонт позволят сократить непредвиденные простои, время ремонта, что в свою очередь положительно повлияет на надежность и долговечность работы.

### **2.3 Основы исследования работоспособности узлов и агрегатов по параметрам работающего масла**

Трение и износ в машинах и механизмах – это сложный процесс механического и физико-химического взаимодействия контактирующих поверхностей твердых тел и среды, основой которого является взаимосвязь между процессами трения, износа и смазки. Взаимодействие масла с трущимися поверхностями влечет за собой изменение свойств и состояния работающего масла. Эти изменения являются богатейшей информацией о процессах, протекающих в машине и в работающем масле. Она дает возможность по результатам анализа масла одновременно оценивать работоспособность машины без разборки и влияние работающего масла на ее надежность.



Таким образом, наиболее эффективно задача создания систем комплексного контроля, позволяющего диагностировать и прогнозировать техническое состояние машин и механизмов, управлять их надежностью и экономичностью, может быть решена на базе безразборных методов оценки их технического состояния. Для механизмов с замкнутой системой смазки применение традиционных методов контроля (внешний осмотр, по шумности работы и вибрации, по степени нагрева) зачастую не дает полного представления об их состоянии.

Поэтому целесообразно применение комплексной диагностики, включающей следующие этапы:

1. Экспресс-диагностика по температуре масла.
2. Уточняющая диагностика по параметрам работающего масла.
3. Прогнозирование ресурса остаточной работоспособности.

Между механизмом и работающим маслом существует тесная взаимосвязь, вытекающая из взаимодействия контактирующих поверхностей твердых тел со смазкой. Отсюда следует, что в основу безразборной оценки работоспособности механизма нужно положить информацию, носителем которой является работающее масло, а механизм при этом рассматривать как сложную техническую систему «механизм – масло».

Работающее масло отличается от таких носителей информации, как электрические, механические, акустические и т. д., главным образом тем, что несет комплексную информацию, позволяющую не только диагностировать и прогнозировать техническое состояние объекта, но и описывать различные процессы, протекающие в нем, а это дает возможность выявлять причины снижения надежности и экономичности, и оценивать их количественно.

Для реализации такой возможности машину или механизм следует представлять в виде структурно-вероятностной системы «механизм – масло» (Рис. 2.7), где  $X$  – набор входных параметров, которыми характеризуются работа механизма и условия ее эксплуатации,  $X_m$  – набор исходных показателей, характеризующих текущие свойства и состояние масла. Выходными па-

параметрами являются  $U$  (оценка технического состояния механизма) и  $U_M$  (оценка состояния работающего масла).

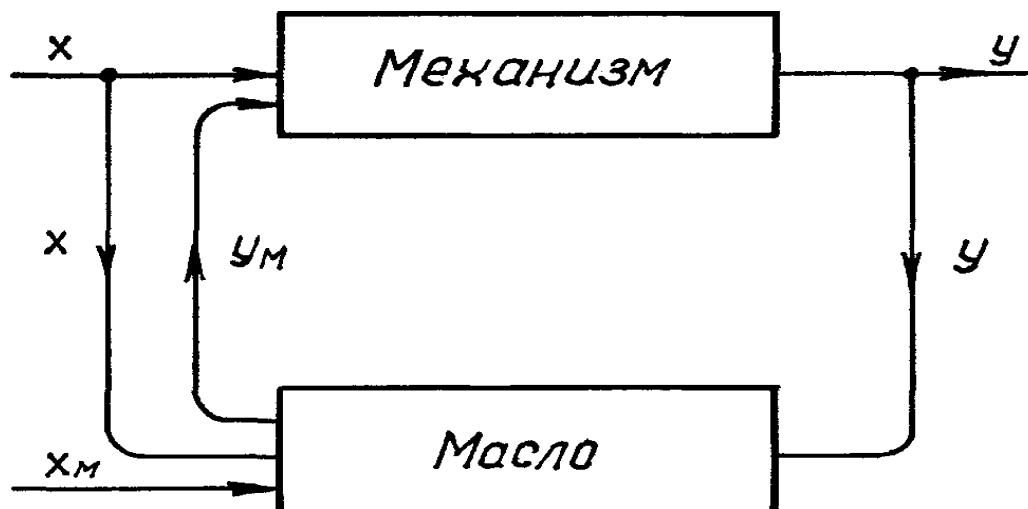


Рисунок 2.7 – Кибернетическая модель трибологической системы «механизм – масло»<sup>28</sup>

При этом основным источником информации является работающее масло, а получение информации от других источников ставится в прямую зависимость от основного.

Информация, содержащаяся в работающем масле, характеризуется качественными показателями, количественные характеристики которых получают в результате физико-химических, спектральных и других методов непосредственного анализа масла. Так как эти показатели характеризуют функциональные свойства элементов системы, то в дальнейшем мы будем именовать их параметрами работающего масла (ПРМ).

Под этим термином также будем подразумевать и ту часть информации, которая заключена в осадках и отложениях системы смазки машины.

В основу методологического подхода к исследованию системы «механизм – масло» по ПРМ положен принцип описания ее комплексом показателей, характеризующих функциональные свойства системы в каждый заданный момент времени по анализу единичной пробы масла.

<sup>28</sup> Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.

Это дает возможность решать широкий круг задач с целью повышения работоспособности системы «механизм – масло». К их числу относятся:

- оценка степени влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на эксплуатационную надежность и долговечность машин и механизмов;
- оценка эффективности новых сортов масел;
- разработка вопросов диагностики и прогнозирования ресурса машин и механизмов по параметрам работающего масла;
- создание универсальных высокоэффективных систем контроля надежности и долговечности машин и механизмов с замкнутой системой смазки.

Как показали результаты исследований и опыт эксплуатации, при таком подходе соблюдается главный принцип неразрушающего контроля – оценка состояния систем по результатам испытания небольшого количества масла, слитого из эксплуатируемой техники, не прерывая ее функционирование<sup>29</sup>.

Однако для этой цели масло, должно быть принято в качестве элемента конструкции соответствующих систем техники и включено в эти системы с соблюдением всех требований стандартов и условий для технических объектов на всех этапах – от разработки технических требований, создания опытных образцов, испытаний, серийного производства и эксплуатации до полной выработки установленного ресурса техники и ее списания.

Изложенные предпосылки обосновываются тем, что масло является наиболее эффективным, гибким, изменяемым и контролируемым элементом и накопителем информационных признаков состояния техники и ее систем. Опыт показывает, что при условии контроля параметров масла и систем в эксплуатации можно обеспечить надежную работу техники в целом в пределах установленного ресурса.

Некоторые теоретические предпосылки проблемы уже излагались в различных работах, в основу которых положена взаимосвязь в системе «механизм – масло». Процессы, происходящие в

---

<sup>29</sup> Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.

технике, свойства масел и определяющие параметры системы представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Система «механизм – масло»

Процессы в технике	Свойства масел	Определяющие параметры системы
Подача (прокачиваемость)	Низко- и высоко-температурные	Вязкость, температура застывания (кристаллизации), содержание воды, содержание механических примесей, в том числе продуктов износа
Образование отложений	Термоокислительная стабильность	Кислотное число
	Термическая стабильность	Количество осадков и отложений
Изнашивание (накопление продуктов износа)	Противоизносные	Содержание продуктов износа в масле
Воздействие на резинотехнические изделия	Физико-химическая стабильность	Изменение массы и структуры изделий
Деструкция компонентов масел	Физическая стабильность	Вязкость, испаряемость

Эта взаимосвязь исследуется и устанавливается как на основе указанных теоретических предпосылок, так и по результатам квалификационных испытаний, при которых моделируются условия работы реальных объектов, а также подтверждается результатами эксплуатации техники.

Показатели масла в системах эксплуатируемой техники в сравнении с исходным состоянием по физико-химическим параметрам и эксплуатационным свойствам существенно отличаются. Степень изменения свойств масла определяется уровнем воздействующих факторов: температурой, давлением, видом конструкционных материалов, скоростью перекачки, вибрационными и другими факторами, действующими в системе, а также степенью изношенности техники, количеством и частотой долива свежего масла при дозаправках техники.

Между тем уровень свойств масла до заправки техники определяется в основном режимами технологии его производства и не связан непосредственно с режимами эксплуатации конкретных

типов техники. Таким образом, масло производится с некоторым усредненным уровнем свойств из расчета на усредненные режимы эксплуатации техники.

По результатам исследования проб масел, отобранных из различных систем техники после различной наработки при отсутствии нарушений функционирования техники (повышенных уровней изнашивания, вибраций, расхода масел и других факторов), при определенных условиях наступает период стабилизации (адаптации) элементов в системе «механизм – масло», в течение которого уровень свойств масел стабилизируется. Период стабилизации наработки указанных продуктов в технике для каждой из систем различный и составляет: для масел на минеральной основе – 50...60 ч; синтетических – 80...90 ч; для минеральных гидравлических жидкостей – 40...50 ч; для синтетических жидкостей – 60...80 ч. При этом уровень значений определяющих параметры систем может изменяться в 1,5–2,0 раза, а некоторых в 10 и 100 раз по сравнению с первоначальным уровнем без снижения уровня надежности работы техники<sup>30</sup>.

В этих случаях можно однозначно утверждать, что такое резкое изменение параметров масла оказывает в большинстве случаев положительное влияние на ее работоспособность.

Следует добавить, что масла, циркулирующие в технических системах, в отличие от других нефтепродуктов, например топлив, многократно используются в технике, аккумулируя диагностические признаки состояния систем «механизм – масло» при их эксплуатации. Исследования показывают, что состояние масла, уровень его параметров изменяются значительно быстрее, чем наступает отказ техники. Это обосновывается тем, что в условиях развития предотказного состояния в масле резко повышается содержание продуктов износа и, как следствие, увеличивается температура, что катализирует окислительные процессы в масле, вызывающие повышение кислотного числа и вязкости масла (при условии отсутствия в масле загущающего компонента).

---

<sup>30</sup> Соколов, А. И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А. И. Соколов, Н. Т. Тищенко, В. А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.

Масла, как правило, содержат загустители типа винипола, полиметакрилата и других и имеют склонность к снижению кинематической вязкости и повышению кислотного числа. Поэтому качественное состояние продуктов такого типа при применении в технических системах может контролироваться за счет указанных параметров при обоснованном установлении их предельно допустимого уровня при эксплуатации техники. При этом в качестве подтверждающих факторов необходимо контролировать содержание продуктов износа в масле.

С учетом специфики конструкции и режимов эксплуатации техники, свойств применяемых масел и других факторов для каждой системы «механизм – масло» должны быть установлены определяющие параметры и их предельно допустимые значения, порядок, методы и средства их контроля при эксплуатации, а также порядок контроля предотказного состояния техники и, в случае необходимости, остановку ее дальнейшей эксплуатации и принятия соответствующих решений.

При исследовании проб масел установлено, что их показатели существенно изменяются по основным параметрам в системах техники во время ее эксплуатации и в нормальном, бездефектном режиме эксплуатации адаптируются к условиям в системах и их конструктивным особенностям.

Суть обоснования определяющих параметров «механизм – масло» и установления их предельно допустимых уровней для контроля и диагностики систем в эксплуатации сводится к следующему:

- для конкретных систем формируется нормативная база;
- обосновываются определяющие параметры;
- устанавливаются предельно допустимые значения определяющих параметров;
- устанавливаются методы, методики и средства контроля определяющих параметров при эксплуатации, а также описываются мероприятия, реализуемые при обнаружении превышения предельно допустимых уровней, определяющих параметры при эксплуатации.

Перечень определяющих параметров масел и в целом систем составляется с учетом их значимости, изменчивости в работающей системе и ее состояния в целом (степени износа трущихся-

ся элементов, показаний приборов контроля функционирования техники и др.).

Наиболее важными параметрами являются: кинематическая вязкость (особенно при применении масел, содержащих загущающие присадки), кислотное число, содержание твердых механических примесей, в том числе продуктов изнашивания техники, температуры вспышки и застывания (кристаллизации) и, возможно, другие параметры.

Исследованиями и испытаниями установлено, что масла и другие продукты многократного использования в технике изменяют первоначальный уровень свойств и параметров в соответствии с уровнем воздействующих факторов в системе «механизм – масло».

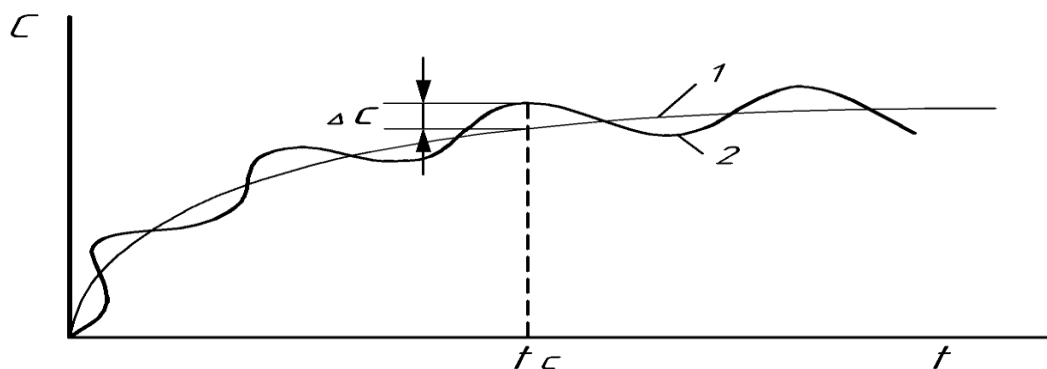
Такие параметры, как кислотное число, кинематическая вязкость, содержание продуктов износа и другие, могут быть приняты в качестве определяющих для оценки состояния систем в целом при их эксплуатации. Указанные параметры уже в настоящее время доступны для контроля систем в случае необходимости и при установлении их предельно допустимых уровней.

Существует деление параметров на две группы: внешние и внутренние. К внешней группе относятся параметры работающего масла (ПРМ), которые отражают процесс поступления различных загрязнений в масло извне. Это показатели, характеризующие содержание в работающем масле продуктов износа, и атмосферной пыли.

Для данной группы параметров наиболее характерным является процесс накопления механических примесей в механизмах (в том числе и редукторах).

Процесс накопления примесей рассматривается как детерминированный, учитывающий непрерывность расходования масла и образования примесей.

В результате исследований было установлено, что этот процесс во времени имеет два периода – роста и стабилизации (Рис. 2.3).



$C$  – концентрация механических примесей в работающем масле;  
 $\Delta C$  – изменение концентрации механических примесей в работающем масле;  $t$  – срок службы масла;  $t_c$  – срок службы масла при котором изменяется продолжительность периода роста и уровень стабилизации величины концентрации примесей.

Рисунок 2.3 – Зависимость процесса накопления механических примесей в работающем масле от срока его службы: 1 – теоретическая; 2 – действительная<sup>31</sup>

При прочих равных условиях продолжительность периода роста определяется емкостью масляной системы механизма: чем меньше емкость, тем быстрее наступает стабилизация. Это свойство определяется главным образом наличием фильтров в масляной системе. В нашем случае, при их отсутствии происходит непрерывное накопление примесей в работающем масле. Наличие угара или утечек масла в известной мере может способствовать стабилизации концентрации примесей в обоих случаях. Изменение интенсивности поступления примесей меняет не форму кривой, а лишь ее положение, то есть изменяются продолжительность периода роста и уровень стабилизации величины концентрации примесей.

В реальных условиях процессы образования примесей и удаления их из масла, а также доливки масла являются стохастическими. Характер их протекания находит отражение в отклонении действительного значения показателя  $C$  от детерминированного. Размах этих отклонений и представляет собой

<sup>31</sup> Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.



информацию, по которой можно оценивать текущее состояние системы «механизм–масло».

Алгоритм прогнозирования ресурса машины включает в себя методы оценки износа прогнозируемого узла или детали, сведения об их предельном износе и вероятностные модели процессов изнашивания.

Применение метода эмиссионного спектрального анализа масла для получения информации о степени износа деталей имеет свои особенности. Если по одному линейному или весовому измерению можно судить о степени износа детали, то по спектральному анализу одной пробы масла это сделать невозможно. Для оценки степени износа деталей методом эмиссионного спектрального анализа масла необходимо располагать зависимостями между массой металла  $G$ , теряемой деталями от начала работы до момента оценки износа, и изменениями их линейных размеров  $\Delta$ , то есть  $G = f(\Delta)$ . Эти зависимости могут быть получены экспериментальным или расчетным путем. Первым способом зависимости получают на основании статистики результатов измерения износа деталей и результатов определения методом эмиссионного спектрального анализа масла металла, поступившего в систему смазки за период от постановки деталей до измерения их износа. Определение зависимости расчетным путем осуществляется по массе металла, рассчитанного в соответствии с эпюрой износа поверхности трения. Точность расчета при этом зависит от сложности геометрической формы износа.

Более надежным методом является экспериментальный, ввиду чего нахождение зависимостей расчетным путем следует производить в случае, если исследование машин в условиях эксплуатации затруднено. В ряде случаев может оказаться полезным определение зависимостей одновременно двумя методами.

Согласно разработанной А. И. Соколовым, Н. Т. Тищенко и В. А. Аметовым методике для оценки износа по зависимости  $G = f(\Delta)$  необходимо периодически определять количество металла, снимаемого с трущихся поверхностей деталей, начиная с момента их установки. С этой целью выполняется спектральный анализ работающего масла и отложений в масляной системе машины или механизма, по результатам которого с применением уравнения баланса и рассчитывается масса металла, снятая с поверхно-

сти трения. Периодичность измерения устанавливается в зависимости от требуемой точности прогноза и определения составляющих уравнения баланса. Эта информация может быть также использована и для целей корректировки модели процесса изнашивания в случае, если на участке наблюдения перед началом прогнозирования изменился характер этого процесса. Такая корректировка позволяет существенно повысить точность прогноза.

Свои особенности имеет также и оценка допустимого, или предельного, износа деталей методом эмиссионного спектрального анализа масла. Как известно, работоспособность места сопряжения в значительной степени определяется геометрией поверхностей трения деталей сопряжения. При этом износ поверхностей трения в большинстве случаев оценивается в линейных единицах, а для каждого узла трения регламентируется допустимая величина зазора в сопряжении или изменение геометрических форм поверхностей трения, превышение которых приводит к потере работоспособности машины или механизма. Поскольку в основе эмиссионного спектрального анализа масла лежит массовый (весовой) принцип оценки износа, то задача назначения допустимого (предельного) износа заключается в определении массы металла  $G_{доп}$  (допустимая масса металла), которая может быть снята с поверхности детали, прежде чем наступит ее отказ.

Сложность определения этой массы металла обусловлена стохастичностью процесса изнашивания, даже при нормальном его протекании износ одинаковых деталей машины происходит неравномерно. В зависимости от конструкции, условий эксплуатации потеря работоспособности машины может произойти либо при достижении предельных размеров одной детали, либо при достижении всеми деталями размеров, близких к предельным. Поэтому для назначения  $G_{доп}$  необходимо располагать сведениями о характере износа деталей. Величину  $G_{доп}$  находят из зависимости  $G = f(\Delta)$ , задаваясь величиной износа, при которой обеспечивается заданная вероятность безотказной работы агрегата.

Исходя из этих особенностей, алгоритм прогнозирования может быть построен на основе использования информации, характеризующей процесс накопления металла в системе смазки от начала постановки детали в машину до момента прогнозирования

ее ресурса. Для прогнозирования необходимы следующие данные: масса металла  $G_k$ , поступившего в масляную систему в течение  $k$ -го срока службы масла; допустимое количество металла  $G_{доп}$ , которое может быть снято с поверхностей деталей прежде, чем произойдет отказ; аналитическое выражение процесса изнашивания, представленное либо функцией случайной величины  $G=\psi(t)$ , либо случайной функцией  $G(t^{32})$ .

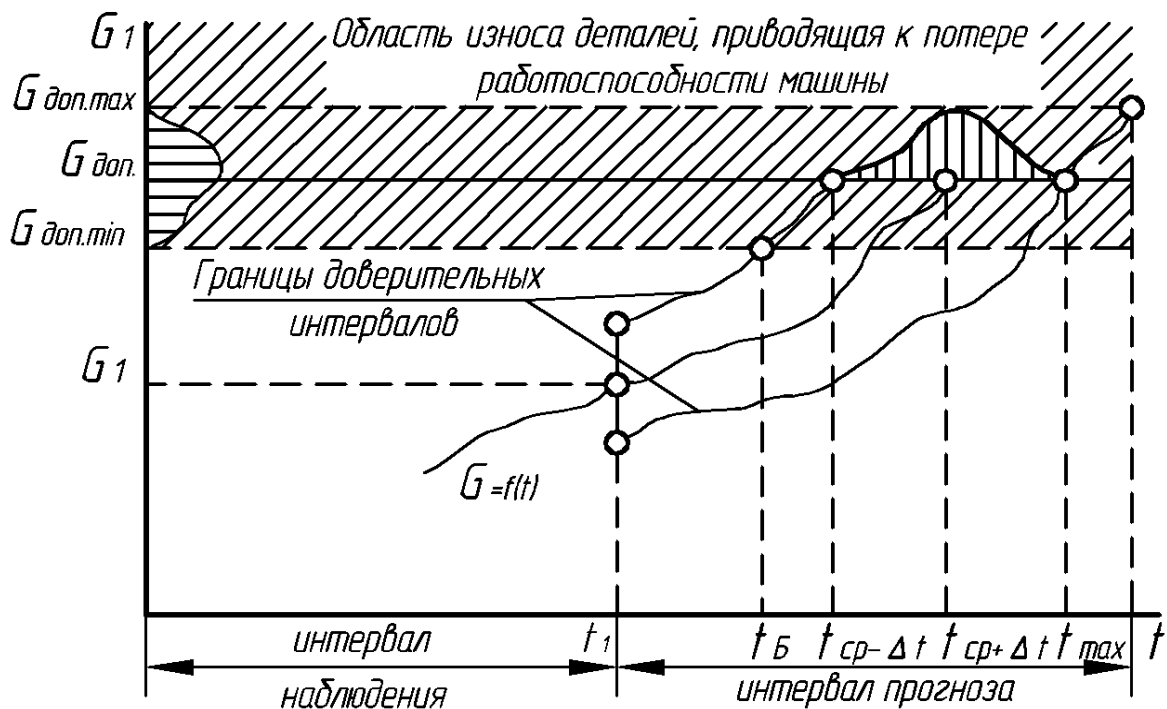


Рисунок 2.4 – Схема прогнозирования остаточного ресурса по количеству металла  $G$ , снятого с трущихся поверхностей;  $t_B$  – точечный прогноз по условиям безопасности;  $t_{ср}$  – точечный прогноз по среднему допуску;  $t_{max}$  – максимально возможный прогноз;  $t_{ср\pm\Delta t}$  – интервальный прогноз по среднему допуску.

Особенности определения массы металла  $G_k$  с применением уравнения баланса были подробно рассмотрены выше. С меньшей достоверностью эта масса может быть определена по скорости поступления элемента-индикатора  $V_k$  в систему смазки, которая находится методом трех измерений, что позволяет значительно упростить определение баланса металла, так как скорость изнашивания определяют для небольшого промежутка времени ра-

<sup>32</sup> Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.

боты механизма  $\Delta t$ . Масса металла в этом случае подсчитывается по формуле:

$$G_k = V_k t_k \quad (2.1)$$

Расчет  $G_k$  таким способом основывается на допущении, что скорость изнашивания, определенная на участке  $\Delta t$ , остается постоянной во всем интервале работы машины в течение  $k$ -го срока службы масла. Следовательно, достоверность такой оценки массы металла, а отсюда и прогноза, зависит от характера изменения скорости изнашивания деталей в зависимости от времени работы механизма в интервале  $k$ -го срока службы масла.

В зависимости от предъявляемой точности остаточный ресурс определяется либо по разнице между допустимым и накопленным металлом, либо с применением математической модели процесса изнашивания. В первом случае остаточный ресурс находится по формуле:

$$t_{\text{ост.р.}} = G_{\text{доп}} \frac{\sum_1^N t_k}{\sum_1^N G_k} - \left( \sum_1^N t_k + t_0 \right), \quad (2.2)$$

где  $G_k$  – масса химического элемента-индикатора износа, накопленная в масле за  $k$ -й срок службы масла;

$t_0$  – время от начала работы механизма до начала наблюдения с целью его прогнозирования;

$N$  – количество смен масла от начала работы деталей до начала прогнозирования.

Во втором случае расчетная формула для определения  $t_{\text{ост.р.}}$  определяется видом математической модели процесса изнашивания. Для линейной математической модели она имеет вид:

$$t_{\text{ост.р.}} = \frac{(G_{\text{доп}} - \sum_1^N G_k) - a_0}{a_1}, \quad (2.3)$$

а для квадратичной

$$t_{\text{ост.р.}} = -\frac{a_1}{2a_2} \pm \sqrt{\left( \frac{a_1^2}{16a_2^2} - \frac{1}{a_2} [a_0 - (G_{\text{доп}} - \sum_1^N G_k)] \right)}, \quad (2.4)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты уравнения регрессии<sup>33</sup>.

Применение параметров работающего масла для оценки работоспособности машин дает возможность получать из сферы

<sup>33</sup> Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.

эксплуатации практически непрерывную информацию об их техническом состоянии, что позволяет оценивать надежность не по ранее полученным статистическим данным, а непосредственно путем расчета и прогнозирования возможного поведения машин в предполагаемых условиях эксплуатации. При этом появляется возможность управления надежностью путем оперативного воздействия, как на конструкцию машины, так и на условия ее эксплуатации.

#### **2.4 Влияние температуры в системе «механизм - масло» на работоспособность РМК карьерных автосамосвалов**

Эксперимент проводился на базе автосамосвалов БелАЗ-75131. Для анализа взятых в процессе эксперимента проб масла используется многоканальная фотометрическая система МФС-7.

Установка при помощи спектрального анализа механических примесей масла осуществляет определение концентраций металлических частиц в нем – продуктов изнашивания деталей (содержание щелочных металлов, Са и Ва – основы моюще-диспергирующих и других присадок к маслам, а также кремния, как основы абразивных, самых опасных загрязнений масла).

Была установлена периодичность отбора проб масла, которая составляла около 500 км пробега автосамосвала (50 моточасов). Отбор производился из заливного отверстия с наружной крышки редуктора, шприцом-пробоотборником, после чего проба отправлялась в лабораторию для последующего анализа.

На основании результатов анализа построены графики, где наблюдается рост содержания механических примесей и различных металлов. По данным анализов было видно, когда необходимо производить регулировку подшипников, либо нужно произвести замену масла.

Для определения наличия зависимости между наработкой и изменением концентрации различных металлов, отражающих техническое состояние редукторов мотор-колес, циклический порядок наработки путем сортировки был преобразован в нарастающий от минимального до максимального значений.

При этом получилась некоторая совокупность точек, приведенная на рисунках 2.8 – 2.9.

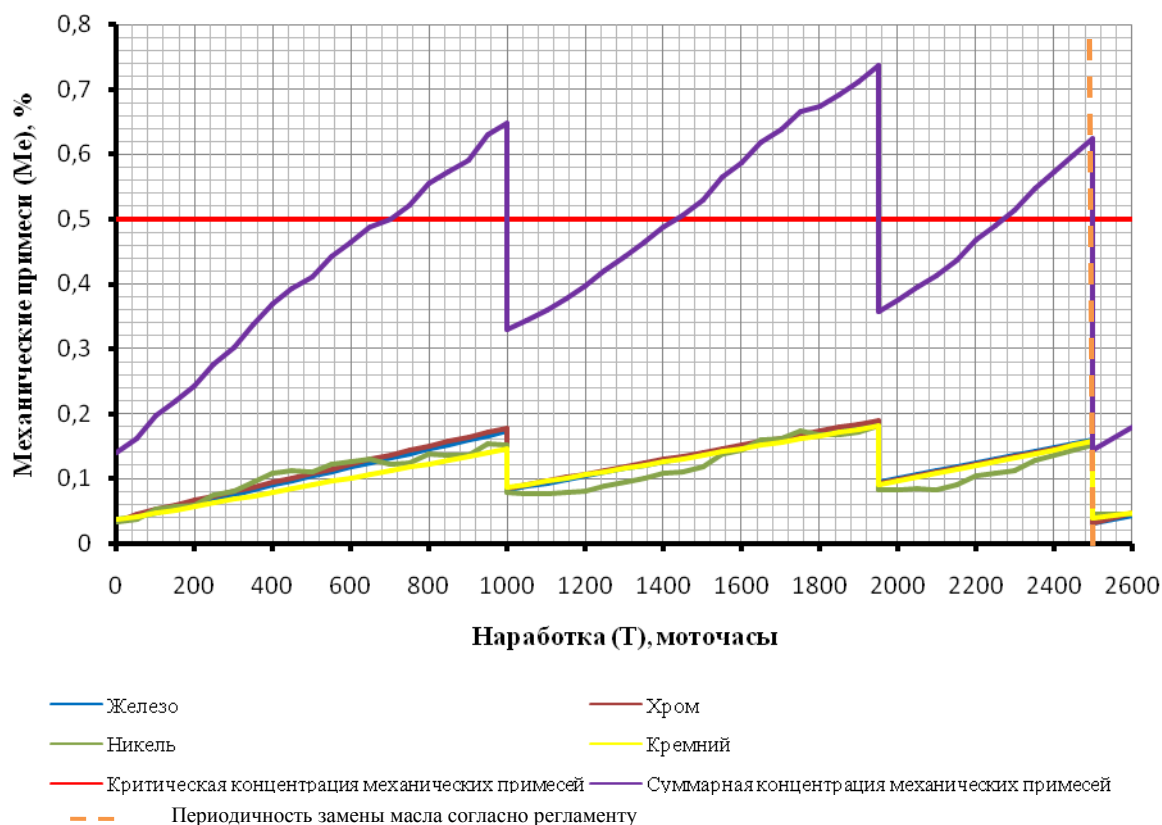


Рисунок 2.8 – Диаграмма содержания механических примесей в масле от наработки группы редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ – 75131

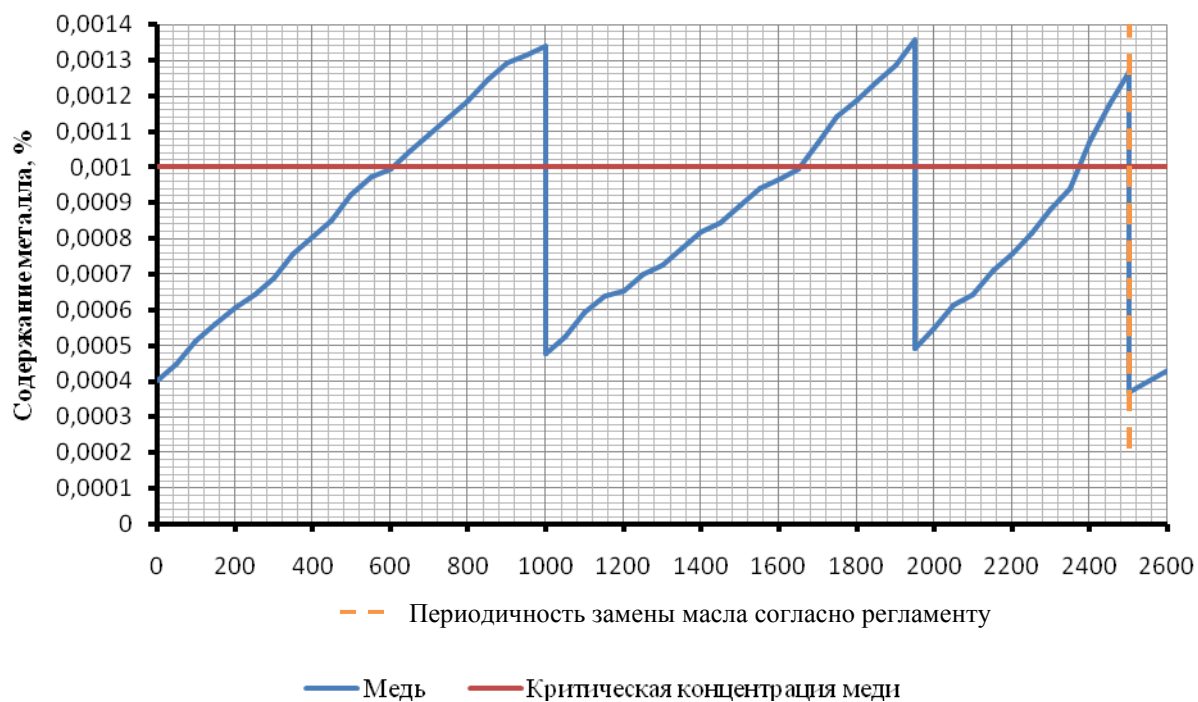


Рисунок 2.9 – Диаграмма содержания меди в масле от наработки группы редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ – 75131

Здесь по горизонтальной оси отложена наработка автосамосвала в моточасах, за время проведения эксперимента, а по вертикальной – содержание металлов в трансмиссионном масле редукторов в процентах. Как видно по рисункам кривые имеют экстремум. Причиной их возникновения в ходе эксперимента стали доливы трансмиссионного масла. Даная ситуация возможна и при полной смене масла в результате проведения регламентных работ по ТО<sup>34</sup>.

Таким образом, информация об износе РМК искажается. Поэтому, для дальнейшего эксперимента нам представляется целесообразным введение дополнительного диагностического параметра – температуры. Кроме этого данные эксперимента показали, что:

- металлы в процессе работы накапливаются практически равномерно;

- необходимо увеличить интервал взятия проб масла.

Поэтому для дальнейшего эксперимента целесообразно производить замеры усредненных механических примесей при большей наработке, а также с учетом природно-климатических условий (времени года), так как при низкой температуре воздуха масло нагревается медленнее, а редуктор остывает быстрее (при остановке).

Основной причиной изменения технического состояния редукторов является износ. Поэтому все, что влияет на износ, вызывает изменение технического состояния эксплуатационных показателей. Измерить эксплуатационный показатель практически более удобно, чем износ. Поэтому изменение технического состояния редуктора оценивается изменением величины эксплуатационного показателя.

Неизбежность и значительность влияния режима и условий работы на изменение технического состояния редукторов ясны каждому эксплуатационщику. Условия эксплуатации (дорожные, климатические, вид груза, расстояние перевозки, простой под погрузкой и разгрузкой) являются заданными. Влиять можно

---

<sup>34</sup> Богданов, С.В. Определение технического состояния редуктора мотор-колеса карьерных автосамосвалов методом эмиссионного спектрального анализа масла на основе динамики температуры / С.В. Богданов, А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых // Горное оборудование и электромеханика. 2009. – № 5. – С. 50-52.

только на режим работы агрегатов, по-разному добиваться одной и той же величины средней скорости передвижения, создавать оптимальный режим работы деталей, лимитирующих техническое состояние узла.

Под условиями работы имеются в виду, прежде всего, состояние масла на поверхности трения, температура трущихся поверхностей и масла, содержание в нем абразивных частиц. Влияние внешней среды и режима работы оценивают по-разному: одни считают основным температурный режим, другие – наличие абразивных частиц в воздухе. Нет единой точки зрения и на форму количественной связи интенсивности изнашивания с параметрами режима работы (скорость, давление, температура).

Из параметров режима работы скорость относительного перемещения имеет значение только в том случае, если она влияет на изменение давления или температуры на поверхности трения. О влиянии скорости относительного перемещения на интенсивность изнашивания можно судить по зависимости температуры от скорости относительного перемещения деталей и аналогичной зависимости интенсивности изнашивания от скорости относительного перемещения. Именно повышение температуры масла является причиной роста интенсивности изнашивания деталей. Особенно резко возрастает интенсивность изнашивания при повышении температуры выше критической. Поэтому анализ влияния условий работы на интенсивность изнашивания нужно начинать с установления зависимости интенсивности изнашивания от температуры на поверхности трения.

Возможность диагностировать работоспособность системы «механизм – масло» по параметрам работающего масла базируется на взаимосвязи между состоянием механизма и состоянием масла, смазывающего этот механизм. С одной стороны, изменяется техническое состояние механизма, которое может оказывать влияние на состояние работающего масла, с другой – в самом масле происходят изменения, которые могут способствовать снижению работоспособности механизма. Эта взаимосвязь дает возможность одновременно осуществлять диагностику машины и ее работающего масла, что позволит решить два важных вопроса надежности машин: своевременное обнаружение технических неисправностей узлов и деталей машин и своевременная замена



работающего масла. При этом ввиду особенностей каждого из диагностируемых объектов системы возникает необходимость при анализе данной взаимосвязи выделять отдельно вопросы диагностики машин и вопросы диагностики работающего масла, поскольку результаты диагноза системы должны быть четко сформулированы как в отношении устранения неисправностей в машине, так и в отношении замены в ней масла. Более того, методы нахождения диагностических параметров для диагностики машин существенно отличаются от таковых для диагностики масла. В связи с этим возникает необходимость в разделении параметров работающего масла на диагностические, по которым следует оценивать техническое состояние машины, и предельные, или браковочные, по которым следует оценивать свойства и состояние работающего масла. При этом следует отметить, что показатели масла, применяемые для диагностики машины, не всегда совпадают с показателями масла, применяемыми для диагностики масла, работающего в этой машине. Для решения задач технической диагностики необходимо располагать информацией о температуре масла в редукторе. Эта информация может быть получена экспериментально. В данном случае сложность теоретического анализа вытекает из трудностей априорного рассмотрения диагностируемых объектов системы «механизм – масло», что приводит к необходимости решать задачи диагностики по параметрам работающего масла на основе обобщения экспериментального материала, полученного в результате целенаправленных исследований натурной техники в условиях эксплуатации. Поэтому, не исключая возможности применения теоретического анализа для выявления множества предполагаемых состояний диагностируемого редуктора, вопросы диагностики по параметрам работающего масла следует разрабатывать на основе эксплуатационных испытаний.

Разработки диагностики машин по параметрам работающего масла в основном касаются вопросов, связанных с выбором показателей работающего масла для применения их в качестве диагностических параметров и с построением диагностических алгоритмов, включая выбор периодичности диагноза, в основу последней следует поставить надежность диагностируемого узла и вопросы безопасности, связанные с эксплуатацией машины.

Основное требование к диагностическому параметру следующее: изменение параметра от нарушения технического состояния должно быть значительно больше, чем изменение его от срока службы масла. Иными словами, чувствительность параметра к изменению технического состояния механизма должна быть значительно выше, чем к процессам, нормально протекающим в работающем масле.

Для выбора параметров диагностирования необходимо выполнить эксплуатационные испытания, целью которых является изучение характера изменения показателей температурного режима работающего масла, как во времени, так и в зависимости от технического состояния редуктора.

В процессе работы масло претерпевает целый ряд изменений, некоторые из которых могут способствовать снижению надежности и долговечности механизма. Для предотвращения этого заводом-изготовителем или положением по техническому обслуживанию регламентируется срок службы масла, что не гарантирует от снижения качества последнего, поскольку старение его в каждом механизме протекает индивидуально. Более того, часто ухудшение качества работающего масла происходит из-за перегрева редуктора и нарушения его технического состояния. Отсюда возникает необходимость применения контроля за температурным режимом работающего масла в процессе эксплуатации с целью его замены или предупреждения отказа редуктора. Применение температуры, как диагностического параметра позволяет проводить мониторинг фактического технического состояния редуктора.

При тепловой диагностике могут быть использованы различные средства диагностирования. Одним из наиболее прогрессивных методов на сегодняшний день является тепловизионная диагностика. Ее применение основано на том, что наличие практически всех видов дефектов оборудования вызывает изменение температуры дефектных элементов и, как следствие, изменение интенсивности инфракрасного излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами. Присутствие дефекта выявляется сравнением температуры аналогичных участков поверхности агрегатов, работающих в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Тепловизионная диагностика выявляет

дефекты на самой ранней стадии их развития, что позволяет планировать объемы и сроки ремонта оборудования. Плановый вывод из эксплуатации дефектного оборудования (на основе современных средств диагностики) значительно повышает надежность и безопасность эксплуатации инженерных коммуникаций, существенно сокращает потери энергоресурсов.

Несмотря на данные преимущества применение тепловизоров требует привлечение дополнительного персонала и не позволяет использовать его непрерывно на всей стадии эксплуатации объекта.

Эти недостатки возможно устранить посредством встроенных систем диагностирования, измеряющих температурный режим масла.

Взаимодействие масла с трущимися поверхностями влечет за собой изменение температуры работающего масла. Эти изменения – богатейшая информация о процессах, протекающих в машине и в работающем масле, она даёт возможность по результатам анализа масла одновременно оценивать работоспособность машины без разборки и влияние работающего масла на ее надежность<sup>35</sup>.

Благодаря использованию температуры масла как диагностического параметра для определения технического состояния поворотного и подъемного редукторов экскаватора и редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов можно решить такие задачи как:

- защита основных машин (экскаватора, карьерного автосамосвала) от аварий (предаварийная сигнализация);
- оперативный контроль состояния экскаватора или карьерного автосамосвала по заявкам машиниста или водителя (после обнаружения отклонений в температуре масла);
- контроль состояния горных машин после обслуживания (ремонта);
- постоянный (непрерывный) контроль за состоянием редуктора и масла;

---

<sup>35</sup>Хорешок, А.А. Метод комплексного диагностирования редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов / А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых // Горная промышленность. 2010. – №5. – С. 60-66.

- увеличение интервалов между плановым обслуживанием и ремонтом;
- сокращение непредвиденных простоев техники;
- экономия средств на приобретение новых деталей в результате работ планово-предупредительного характера;
- увеличение фактической межремонтной наработки;
- уменьшение затрат на текущий ремонт и др.

## **2.5 Технология определения технического состояния РМК карьерного автосамосвала по степени нагрева**

Так как нарушение температурного режима работы масла является главной причиной аварийного износа и отказа любого сопряжения редуктора, поэтому мы считаем, что контроль данного параметра является необходимым критерием для определения технического состояния, прогнозирования работоспособности и надежности данного узла или агрегата.

Для того чтобы водитель автосамосвала могли контролировать работоспособность и состояние редукторов по данному параметру целесообразно вывести на приборную панель указатель температуры масла в редукторах.

Это подтверждается результатами эксперимента, который заключается в измерении данного параметра работающего масла в редукторах мотор-колес автосамосвалов БелАЗ-75131. Для определения температуры масла в редукторах мотор-колес автосамосвалов БелАЗ-75131 использована стандартная маслосливная пробка.

Для проведения эксперимента использовался мультиметр DT-838 с термопарой, который позволяет измерять температуру от -70 до 1370°C. Цифровой мультиметр DT 838 – один из карманных 3,5 – разрядных цифровых мультиметров для измерения постоянного, и переменного напряжения, постоянного и переменного тока, сопротивлений, емкости конденсаторов, температуры и (или) частоты, проверки диодов, транзисторов и прозвонки цепей.

Двойной интегратор с автоматическим обнулением, индикацией полярности и индикацией перегрузки создан с использованием КМОП – технологии.

Прибор является идеальным инструментом для использования в лаборатории, полевых условиях и на производстве. Мультиметры разработаны в соответствии со стандартом безопасности IEC-1010 категории II.

Технические характеристики:

Таблица 2.5 – Постоянное напряжение

предел	разрешение	точность
200 мВ	0,1 мВ	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
2 В	1 мВ	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
20 В	10 мВ	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
200 В	0,1 В	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
600 В	1 В	$\pm 0.8\% \pm 2$ ед. счета

Защита от перегрузки: 250В для предела 200мВ и 600В для остальных пределов.

Таблица 2.6 – Постоянный ток

предел	разрешение	точность
200 мкА	0,1 мкА	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета
2 мА	1 мкА	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета
20 мА	10 мкА	$\pm 0.5\% \pm 2$ ед. счета
200 мА	0,1 мА	$\pm 1.5\% \pm 2$ ед. счета
10 А	10 мА	$\pm 3\% \pm 2$ ед. счета

Защита от перегрузки: предохранитель 200мА/250В, предел 10А – без предохранителя.

Таблица 2.7 – Переменное напряжение

предел	разрешение	точность
200 V	100 мВ	$\pm 1.2\% \pm 10$ ед. счета
600 V	1 В	$\pm 1.2\% \pm 10$ ед. счета

Так же в приборе присутствует звуковой пробник. Размер 126x70x28 мм, вес – 137 г.

Для проведения эксперимента просверливается отверстие в сливной пробке диаметром 3,5 мм. Для фиксации термопары в пробке используется эпоксидный клей.

В результате получен температурный датчик (Рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Температурный датчик (общий вид)

После установки датчика производятся замеры с заданной периодичностью с учетом природно-климатических условий.

Прогнозирование работоспособности системы «механизм – масло» позволяет планировать сроки постановки машин на техническое обслуживание и ремонт и сроки смены в них масла; оценивать долговечность машин, не достигнувших своего предельного состояния.

В первом случае это дает возможность поставить планово-предупредительную систему технического обслуживания и ремонта, а также планирование эксплуатационных расходов на научную основу, а во втором – осуществить научно обоснованный выбор перспективных машин и механизмов с точки зрения их надежности. В отношении горных машин прогнозирование долговечности позволяет вносить необходимые изменения конструкторских, технологических и эксплуатационных факторов, не дожидаясь наработки до заданного ресурса. Эти изменения позволят повысить ресурс работы машин и механизмов.

Прогнозирование остаточного ресурса деталей «критических по надежности» методом эмиссионного спектрального анализа масла основано на закономерностях их изнашивания. Объектами прогнозирования остаточного ресурса могут быть такие детали, закономерности изменения геометрических или кинематических размеров которых на участке установившегося износа сопровождаются определенными закономерностями поступления какого-либо элемента-индикатора износа в масляную систему.

Сущность метода эмиссионного спектрального анализа масла заключается в определении в работавшем масле содержания продуктов износа деталей редуктора и механических примесей. Концентрация примесей возрастает с увеличением интенсивности поступления примесей в масло, т. е. с увеличением скорости из-

нашивания механизмов редуктора. При продолжительной работе редуктора концентрация примесей возрастает с увеличением исходной концентрации.

При обновлении масла в редукторе уровень концентрации примесей в нем изменяется, в зависимости от исходной концентрации, от количества масла в системе и от продолжительности работы редуктора, и зависит только от интенсивности поступления примесей. Из изложенного следует очень важный практический вывод. При длительной работе масла в редукторе концентрация механических примесей увеличивается, а масло теряет свои смазывающие свойства. Из-за повышенного содержания металла и механических примесей, кинетическая вязкость масла уменьшается. Масло становится неработоспособным для редуктора. На этом выводе основано применение спектрального метода определения технического состояния редуктора.

На основе спектрального анализа определяют концентрацию примесей в пробах масла, взятых из большого количества однотипных редукторов, которые работают в течение длительного времени в различных условиях эксплуатации. Все редуктора при этом находятся под тщательным наблюдением. На основании полученных данных устанавливают предельную концентрацию каждого элемента в работавшем масле. Значительное повышение концентрации того или иного элемента в масле свидетельствует об интенсивном износе деталей, для которых этот элемент является характерным. По изменению концентрации примесей в масле можно точно указать, какие именно детали или узлы повреждены. Метод обладает высокой чувствительностью и позволяет определять в масле наличие всех металлов, применяемых в машиностроении. Зная характерный для данной детали легирующий элемент и определив содержание этого элемента в работавшем масле, можно проследить износ интересующей детали.

Таким образом, спектральный анализ позволяет отдельно оценивать суммарный износ нескольких групп деталей<sup>36</sup>.

---

<sup>36</sup>Богданов, С.В. Определение технического состояния редуктора мотор-колеса карьерных автосамосвалов методом эмиссионного спектрального анализа масла на основе динамики температуры / С.В. Богданов, А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых // Горное оборудование и электромеханика. 2009. – № 5. – С. 50-52.

При этом не нужно специально готовить редуктор или разбирать его, достаточно знать химический состав изнашиваемых деталей. При помощи спектрального анализа масла можно определить техническое состояние редуктора и необходимость проведения того или иного вида ремонта.

Несмотря на очевидные достоинства данный метод не позволяет оценивать техническое состояние РМК карьерных автосамосвалов по фактическому состоянию. Поэтому целесообразно применение комплексной системы диагностики состояния редукторов: непрерывный контроль температуры масла, как индикатора состояния системы «трущаяся пара – смазочный материал», и углубленная спектрально-эмиссионная диагностика работающего масла после достижения индикатором состояния критической величины.

Это подтверждается результатами проведенных экспериментов. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что изменение температуры работающего масла является одним из диагностических параметров, характеризующих состояние работающего редуктора. Эти изменения являются информацией о процессах, протекающих в машине и в работающем масле.

Как было установлено в эксперименте металлы в процессе работы редукторов накапливаются практически равномерно. Поэтому для проведения следующего эксперимента были взяты средние значения изношенных металлов (механические примеси).

По проведенному опыту и полученным результатам построены графики, отражающие характер изменения содержания механических примесей и температуры работающего масла в зависимости от наработки и природно-климатических условий эксплуатации (времени года). Данные проведенных экспериментов позволили выявить зависимости температуры масла от наработки, механических примесей от наработки, температуры масла от механических примесей.

Результаты эксперимента показали наличие зависимости между температурой нагрева масла и износом редукторов. Уста-



новлено, что критической для карьерных автосамосвалов является температура 120°C<sup>37</sup>.

При повышении температуры масла увеличивается концентрация механических примесей, а, следовательно, возрастает износ агрегата.

Установленный датчик температуры масла позволит решить следующие задачи:

1. Своевременное уведомление водителя карьерного автосамосвала (машиниста экскаватора) о неисправности редуктора и (или) неправильных условиях эксплуатации.
2. Возможность взятия проб масла лаборантами лаборатории ГСМ по фактическому техническому состоянию агрегата.
3. Возможность корректировки интервалов между плановым обслуживанием и ремонтом редукторов.
4. Постоянный (непрерывный) контроль за состоянием редуктора и масла.

---

<sup>37</sup> Кудреватых, А.В. Диагностика редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов // Главный механик. 2012. – № 3. – С. 34-41.

### **3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РЕДУКТОРОВ МОТОР- КОЛЕС КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

#### **3.1 Разработка методики и проведение экспериментальных исследований**

Научные исследования начались с постановки проблемы – отказ РМК карьерных автосамосвалов (37 %).

Целью экспериментальных исследований являлось определение различных температурных режимов РМК карьерных автосамосвалов в различных условиях эксплуатации, в разное время года.

В задачи исследований входило исследование температуры масла РМК с помощью измерительных приборов.

Перед экспериментом были выбраны варьируемые показатели:

- температуры масла редукторов мотор-колес;
- температура окружающего воздуха;
- продольный уклон дороги;
- длина маршрута;
- коэффициент использования грузоподъемности.

Измерительные приборы необходимо выбрать имеющие высокую точность и небольшую погрешность.

Измерять температуру масла необходимо не реже 1 раза в неделю по несколько часов.

Экспериментальные исследования были проведены в условиях филиала ОАО «Талдинский угольный разрез» «УК «Кузбассразрезуголь» – крупнейшего и одного из самых перспективных, инновационных и динамично развивающихся разрезов Кемеровской области.

Талдинское каменноугольное месторождение расположено в центральной части Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса.

Максимальная протяженность месторождения по простиранию равна 14 км, максимальная ширина – 12 км.

Общая площадь месторождения составляет 77,5 км<sup>2</sup>. Основная продукция – уголь марок ДГ и Г, используемого для энерге-

тических целей. Талдинское каменноугольное месторождение и, в первую очередь, участки Талдинские 1–2, представляют прекрасную перспективу для отработки газовых углей открытым способом. Это месторождение находится в 50 км к северу от г. Новокузнецк, в 45 км и 36 км к северо-востоку от городов, соответственно, Прокопьевск и Киселевск. На разрезе имеется свой перерабатывающий комплекс с отгрузкой в вагоны.

Основными марками автосамосвалов с электрической трансмиссией на ОАО «Талдинский угольный разрез» являются БелАЗ-75131, -75302, -75306.

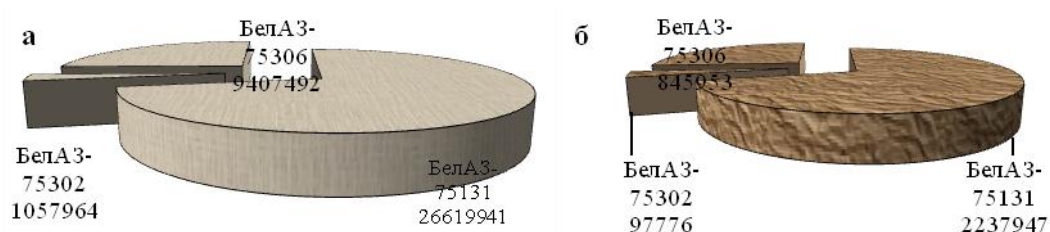


Рисунок 3.1 – Пробег автосамосвалов (а) в км и наработка (б) в мото-часах по маркам за 2010 г.

Наблюдениям подверглись более 90 автосамосвалов следующих моделей: БелАЗ-75131, -75302, -75306.

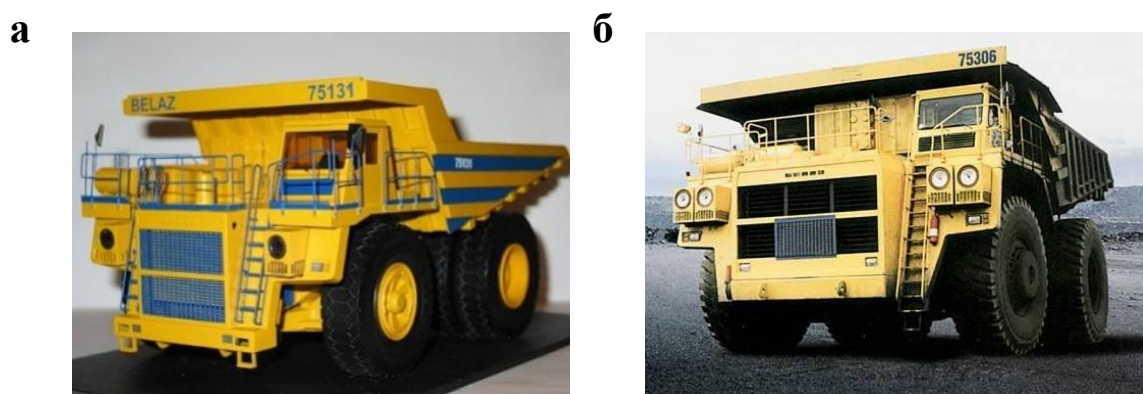


Рисунок 3.2 – Марки автосамосвалов с электромеханической трансмиссией БелАЗ-75131 (а) и БелАЗ-75306 (б)

Данные марки автосамосвалов были выбраны как наиболее распространенные на разрезах «УК «Кузбассразрезуголь».

Таблица 3.1 – Технические характеристики карьерных автосамосвалов БелАЗ-75131, Белаз-75302, Белаз-306

Технические характеристики	Марки автосамосвалов		
	БелАЗ-75131	БелАЗ-75302	БелАЗ-75306
Грузоподъемность, т	130	220	
Двигатель	QSK 45-C	MTU DD 16V4000	QSK 60-C
Мощность, кВт (л.с.)	1193 (1623)	1715 (2332)	
Трансмиссия	переменно-переменного тока	переменно-постоянного тока	
Тяговый электродвигатель	5GEB31 / ЭДП-600; ЭК-590	ДК-724	
мощность, кВт	460 / 600; 590	560	
Редуктор мотор-колес	планетарный двухрядный		

Кроме того, данные модели автосамосвалов более показательные с точки зрения определения теплового режима РМК, так как перевозят вскрышные породы, а соответственно имеют более высокий коэффициент использования грузоподъемности, чем автосамосвалы, перевозящие полезные ископаемые.

В качестве объекта исследования выбран наиболее нагруженный технологический процесс – движение с грузом после подъема перед выгрузкой породы в отвал, который позволяет зафиксировать максимальную температуру РМК карьерного автосамосвала.

В связи с тем, что наибольший интерес представлял наиболее нагруженный режим работы – движение автосамосвалов в груженом состоянии, то замеры проводились в пунктах их разгрузки.

Объект исследования – РМК (температура масла РМК).

*Масло, как показатель технического состояния РМК карьерных автосамосвалов является наиболее эффективным, гибким, изменяемым и контролируемым элементом и накопителем информационных признаков состояния техники и ее систем.*

Опыт показывает, что при условии контроля параметров масла и систем в эксплуатации можно обеспечить надежную работу техники в целом в пределах установленного ресурса.

Трансмиссионные масла применяются в редукторах мотор-колес. К трансмиссионным маслам предъявляются довольно жесткие требования.

Для обеспечения надежной и длительной работы агрегатов трансмиссии смазочные масла должны обладать следующими свойствами:

- иметь достаточные противозадирные, противоизносные и противопитинговые свойства;
- обладать высокой антиокислительной стабильностью;
- иметь хорошие вязкостно-температурные свойства;
- не оказывать коррозионного воздействия на детали трансмиссии;
- иметь хорошие защитные свойства при контакте с водой;
- обладать достаточной совместимостью с резиновыми уплотнителями;
- иметь хорошие антипенные свойства;
- иметь высокую физическую стабильность в условиях длительного хранения.

На карьерных автосамосвалах грузоподъемностью 80-220 тонн в редукторах мотор-колес при температуре окружающего воздуха до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  применяется масло ТАП-15В<sup>38</sup>.

Исследования показывают, что состояние масла, уровень его параметров изменяются значительно быстрее, чем наступает отказ техники. Это обосновывается тем, что в условиях развития предотказного состояния в масле резко повышается содержание продуктов износа и, как следствие, увеличивается температура, что катализирует окислительные процессы в масле, вызывающие повышение кислотного числа и вязкости масла (при условии отсутствия в масле загущающегося компонента)<sup>39</sup>.

С учетом специфики конструкции и режимов эксплуатации техники, свойств применяемых масел и других факторов для каждой системы «техника-масло» должны быть установлены опре-

---

<sup>38</sup>Аметов, В.А. Разработка путей повышения надежности агрегатов трансмиссии автомобилей по параметрам работающего масла: дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1987. – 193 с.

<sup>39</sup>Кудреватых, А.В. Обоснование методов и параметров диагностирования редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2010. – 187 с.

деляющие параметры и их предельно допускаемые значения, порядок, методы и средства их контроля в эксплуатации, а также порядок контроля предотказного состояния техники и в случае необходимости остановку ее дальнейшей эксплуатации и принятия соответствующих решений.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы измерительные приборы. Температурный режим РМК оценивался двумя способами и двумя приборами, имеющими достаточно высокую точность и малую погрешность: первый способ – фиксировалась температура масла РМК через заливную пробку с помощью цифрового прибора – мультиметр цифровой СММ-40(номер в Госреестре 44990-10) (рис. 3.3, а).

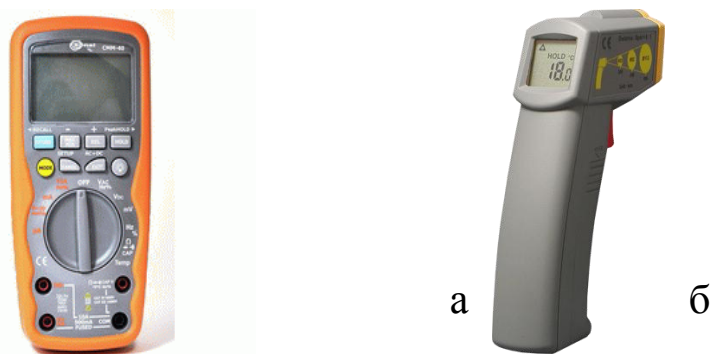


Рисунок 3.3 – Приборы: мультиметр цифровой СММ-40 (а) и пирометр Center-350 (б)

После остановки автосамосвала и выгрузки породы в отвал, откручивалась заливная пробка РМК, опускались датчики, и измерялась температура масла. Данный способ был более трудоемким и требовал дополнительного времени для измерения температуры масла.

Второй способ – фиксировалась температура непосредственно корпуса редуктора с помощью инфракрасного прибора – инфракрасный неконтактный пирометр Center 350 (номер в Госреестре 27523-04) (рис. 3.3, б).

На безопасном расстоянии фиксировалась температура масла с помощью пирометра, данные записывались. В ходе наблюдений было установлено, что разница между температурой масла и температурой корпуса РМК и при измерении между этими двумя приборами составила 16 °С. Чтобы не создавать дополнительных простоев автосамосвалов, измерения температуры про-

водились вторым способом, а затем данное значение прибавлялась к полученным результатам. На начальном этапе наблюдений производились измерения температуры масла в обоих редукторах. Так как было установлено, что эти значения практически одинаковые, далее замеры проводились только по правому редуктору.

Для обоснования достоверности статистических величин, полученных в результате обработки экспериментальных данных была произведена оценка представительности выборки по методике, изложенной в работе Сильянова В.В. Базовая формула для расчета необходимого объема измерений:

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2 \cdot (2 + t'^2)}{2 \cdot \Delta^2}, \quad (3.1)$$

где  $n$  – необходимый объем выборки;  $t$  – нормированное отклонение, соответствующее выбранному уровню доверительной вероятности, при уровне доверительной вероятности 99,9%  $t = 3,3$  °С;  $t'$  – нормированное отклонение, соответствующее оцениваемому проценту обеспеченности, при 85%-й обеспеченности  $t' = 1,6$  °С;  $S$  – среднее квадратическое отклонение;  $\Delta$  – абсолютная погрешность измерений, т. к. группировка результатов измерений по классам осуществляется с шагом 6 °С, можно принять абсолютную погрешность, равную половине размерности класса,  $\Delta = 3$  °С  $n = 384$  замера<sup>40</sup>.

Результаты оценки представительности выборки представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Объем экспериментальных исследований

Группа выборки	$n$ расчетное
Обобщенная (все БелАЗы)	384
БелАЗ-75131	296
БелАЗ-75302	298
БелАЗ-75306	285

Замеры производились на протяжении двух лет на одних и тех же маршрутах ОАО «Талдинский угольный разрез» в разное время года и при этом изменялись и измеряемые показатели. В

<sup>40</sup>Сильянов, В.В. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах. – М.: МАДИ, 1978. – 115 с.

итоге было сделано более 4000 замеров температуры масла РМК карьерных автосамосвалов.

Перед началом наблюдения в наблюдательный лист записывался состав показателей, представленный в табл. 3.3.

При этом, помимо перечисленных варьируемых факторов фиксировались следующие показатели: объем ковша экскаватора и номер шасси автосамосвала.

Пример сводной таблицы результатов замеров теплового состояния РМК, технико-эксплуатационных характеристик карьерных автосамосвалов и условий эксплуатации представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Пример сводной таблицы результатов эксперимента

Марка автосамосвала	Номер шасси	$V_3/\text{пк}$	Длина ездки с грузом $L_{ег}$ , км	Продольный уклон $i$ , ‰	Температура масла РМК $t_{\text{масла}}$ , °C	Температура окружающей среды $t_{\text{окр.}}$ , °C	Коэффициент использования грузоподъемности $\gamma_{гр}$

Далее проведен анализ экспериментальных данных.

Для определения температурного режима работы РМК были выбраны следующие показатели: коэффициент использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ), расстояние транспортирования груза ( $L_{ег}$ ), продольный уклон дороги ( $i$ ) и температура окружающей среды ( $t_{ок}$ ). Ряд технико-эксплуатационных показателей лишь косвенно влияют на температуру масла в РМК ( $t_m$ ), другие являются взаимоисключающими. Оценка значимости каждого из них и степень влияния на температуру масла в РМК исследованы в данной работе.

Измеряемые показатели принимали значения:

- длина ездки с грузом ( $L_{ег}$ ):  
2 км, 3 км, 4 км, 6 км, 11 км;
- продольный уклон( $i$ ):  
1, 2, 3, 4, 5;



– коэффициент использования грузоподъемности 0,6-1,3 с шагом 0,1;

– температура окружающей среды от -25 °С до +25 °С.

Замеры температуры проводились в разное время года при различной температуре окружающего воздуха (от -25 °С до +25 °С), было принято – для достоверности результатов статистической обработки необходимо привести все результаты замеров к одной температуре окружающего воздуха (+25° С), для этого необходимо ввести такой показатель, как приведенная температура масла ( $T_{\text{прив}}$ ):

$$T_{\text{прив}} = t_{\text{м}} + (25 - t_{\text{ос}}), \quad (3.2)$$

Проведя обработку данных, получены следующие результаты замеров температуры масла РМК для исследуемых марок автосамосвалов, представленные на рис. 3.4.

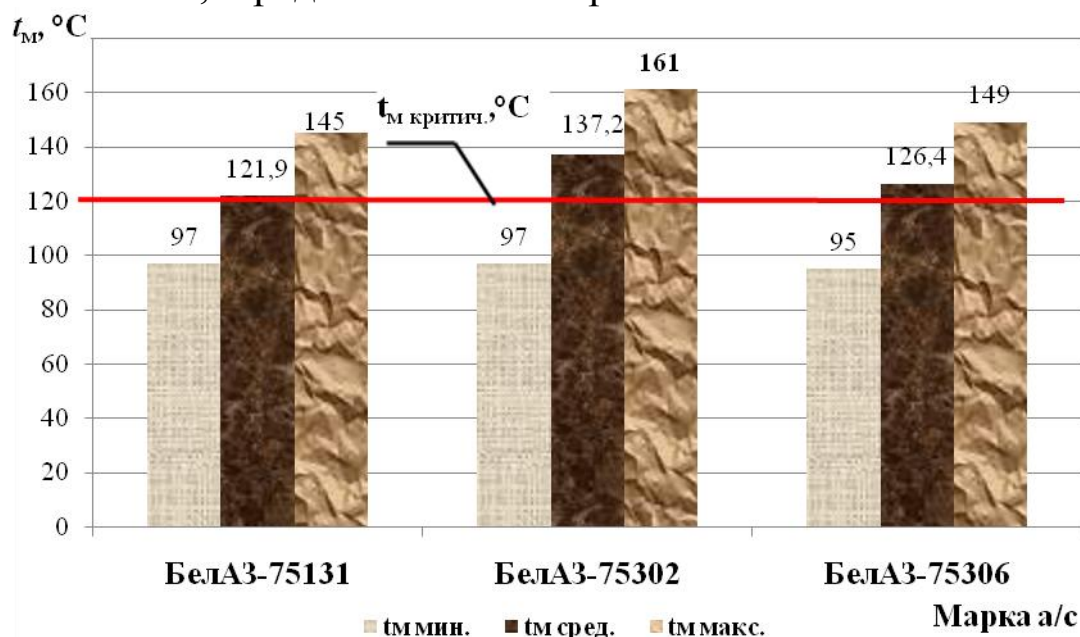


Рисунок 3.4 – Величина минимальной, средней и максимальной температуры масла ( $t_{\text{м}}$ ) для различных марок автосамосвалов

Из диаграммы, представленной на рис. 3.4, видно, что и максимальная, и даже средняя температура масла в РМК превышают критическую, которая составляет 120 °С<sup>41</sup>.

<sup>41</sup> Кудреватых, А.В. Обоснование методов и параметров диагностирования редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2010. – 187 с.

Несмотря на хорошие условия охлаждения, температура масла в РМК в некоторых случаях достигает значений до 161 °С (БелАЗ-75302)<sup>42</sup>, а при таких температурах ухудшаются свойства трансмиссионных масел и условия работы всех элементов редуктора, снижается его надежность. Как известно, надежность любых узлов и агрегатов существенно зависит от их теплового режима. Поэтому прогнозирование и поддержание температуры масла в допустимых пределах является актуальной задачей, решение которой позволит повысить надежность РМК, а, следовательно, и эффективность использования автосамосвала в целом.

Далее обработка и анализ исследуемых данных проводился по следующим группам выборок: обобщенная «Все БелАЗы», БелАЗ-75131, БелАЗ-75302, БелАЗ-75306.

Фактическое количество замеров для обобщенной выборки «Все БелАЗы» и групп выборок БелАЗ-75131, БелАЗ-75302, БелАЗ-75306 представлено в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Фактическое количество замеров по группам выборок

№	Группа выборки	Фактическое количество замеров, n
1.	Обобщенная (все БелАЗы)	4156
2.	БелАЗ-75131	1487
3.	БелАЗ-75302	1302
4.	БелАЗ-75306	1367

Проведем математическую обработку полученных экспериментальным путем статистических данных. Вычислим следующие показатели: частоту, число интервалов (по формуле Стерджесса), выборочное среднее, моду, медиану, размах вариации, выборочную дисперсию, коэффициент вариации.

Расчетные данные числовых характеристик выборок сведем в таблицу 3.5.

<sup>42</sup>Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Вестник КузГТУ, 2012. – № 2. – С. 28-30.

Таблица 3.5 – Результаты статистической обработки данных.

Группа выборки	$\bar{x}$	$M_0$	$M_e$	$R$	$S^2$	$S$	$v$
Обобщенная (все БелАЗы)	129	129	124	67	139	11,8	9
БелАЗ-75131	122	123	120	52	107	10,3	8
БелАЗ-75302	138	134	138	65	108	10,4	7
БелАЗ-75306	127	125	120	55	103	10,2	8

Значение средней температуры масла находится в пределах 122-138 °С для исследуемых марок автосамосвалов, а для всех БелАЗов составляет 129 °С.

Для обоснования достоверности статистических величин, полученных в результате обработки экспериментальных данных, была проведена оценка представительности выборки по методике, изложенной в работе Сильянова В.В.<sup>43</sup> Базовая формула для расчета (3.2).

Результаты оценки представительности выборки представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Оценка представительности выборки

Группа выборки	$\alpha$ , %	$t$ , °С	$S$	$\Delta$ , °С	% обеспеченности	$t'$ , °С	$n$ расч.	$n$ фактическое
Обобщенная (все БелАЗы)	99,9	3,3	11,8	3	85	1,6	384	4156
БелАЗ-75131	99,9	3,3	10,4	2,5	85	1,6	296	1487
БелАЗ-75302	99,9	3,3	10,4	3	85	1,6	298	1302
БелАЗ-75306	99,9	3,3	10,2	2,5	85	1,6	285	1367

Зависимости температуры масла ( $t_m$ ) от исследуемых показателей: длины груженой ездки ( $L_{ег}$ ), уклона ( $i$ ), коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ) и температуры окружающей среды ( $t_{oc}$ ) представлены на графиках, изображенных на рис. 3.7-3.10<sup>44</sup>.

В рассматриваемой совокупности экспериментальных данных  $t_m$  меняется от 127°С до 134 °С. Максимальное значение

<sup>43</sup>Сильянов, В.В. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах. – М.: МАДИ, 1978. – 115 с.

<sup>44</sup>Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Вестник КузГТУ, 2012. – № 2. – С. 28-30.

$t_M=134$  °С достигается в при  $L_{ер}= 11$  км. Зависимость  $t_M$  от  $L_{ер}$  имеет вид полинома 2-ой степени на рис. 3.7.

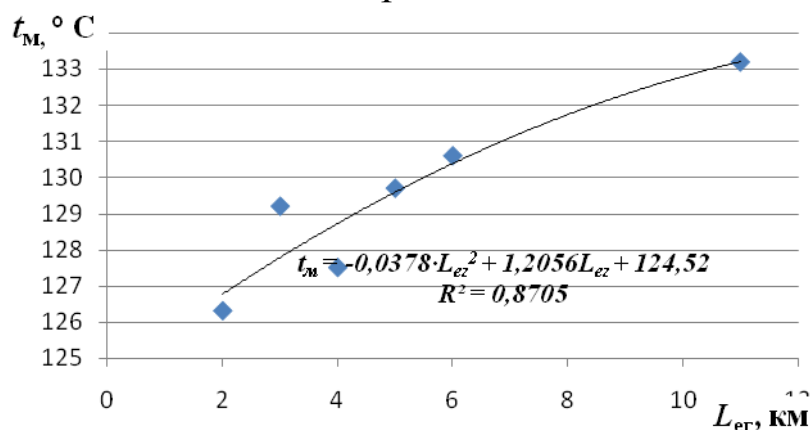


Рисунок 3.7 – График зависимости температуры масла ( $t_M$ ) РМК от длины ездки с грузом ( $L_{ер}$ )

Как видно из графика, изображенного на рисунке 3.8, функция  $t_M(i)$  возрастающая, имеет вид полинома 2-ой степени.

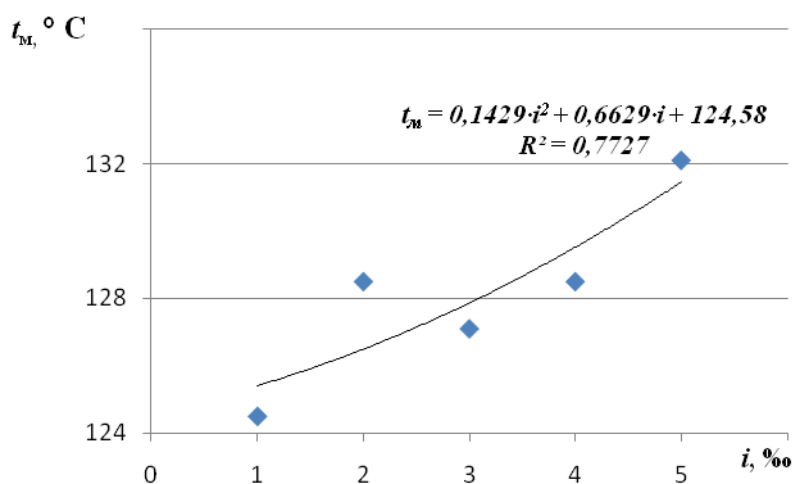


Рисунок 3.8 – График зависимости температуры масла РМК ( $t_M$ ) от продольного уклона ( $i$ )

Как видно из графика, изображенного на рисунке 3.9, зависимость  $t_M(\gamma_{гр})$  прямопропорциональная линейная<sup>45</sup>.

<sup>45</sup>Стенина, Н.А. К вопросу оценки влияния условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ / Н.А. Стенина, Д.В. Стенин, А.С. Фурман // Инновации в технологиях и образовании: Материалы V Международной научной конференции. – Белово, филиал КузГТУ, 2012. С. 274-279.

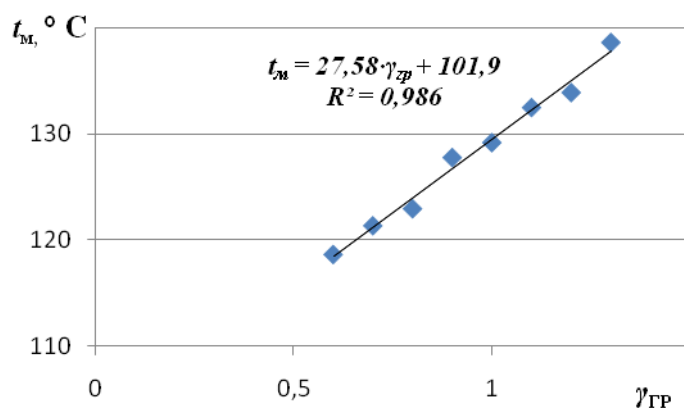


Рисунок 3.9 – График зависимости температуры масла РМК ( $t_M$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{ГР}$ )

На рисунке 3.10 представлен график зависимости температуры масла ( $t_M$ ) от температуры окружающей среды ( $t_{oc}$ ), имеющий вид полинома 2-ой степени.

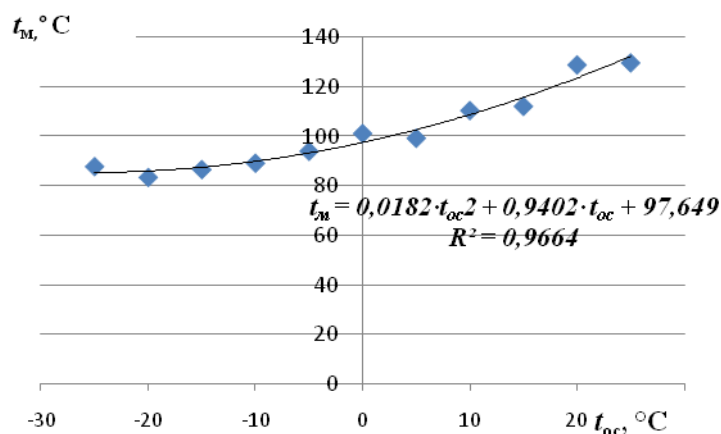


Рисунок 3.10 – График зависимости температуры масла ( $t_M$ ) от температуры окружающей среды ( $t_{oc}$ )

Температура масла РМК изменяется в пределах 82-138° С. Минимальная температура масла  $\text{Min}t_M$  ( $t_{oc} = -20$  °C) = 82 °C. С увеличением температуры окружающей среды температура масла РМК повышается и достигает значительных величин при  $t_{oc} > +15$  °C.

При изменении  $t_{oc}$  от -25 °C до +25 °C  $t_M$  изменяется на 56,3 %, а при изменении  $\gamma_{ГР}$  от 0,6 до 1,3  $t_M$  – на 16,8 %.

Для получения достоверной зависимости, способной отразить изменение любого из рассматриваемых показателей, необходимо создание модели регрессии.

### 3.2 Разработка модели регрессии температуры масла РМК от эксплуатационных показателей

Простейшей системой корреляционной связи является линейная связь между двумя признаками – парная линейная корреляция.

Практическое ее значение в том, что есть системы, в которых среди всех факторов, влияющих на результативный признак, выделяется один важнейший фактор. Измерение парных корреляций составляет необходимый этап в изучении сложных, многофакторных связей. Статистическое исследование ставит своей конечной целью получение модели зависимости для ее практического использования. Решение этой задачи осуществляется в следующей последовательности.

Логический анализ сущности изучаемого явления и причинно-следственных связей. В результате устанавливаются результативный показатель ( $y$ , в нашем случае это  $t_m$  – температура масла РМК), факторы его изменения, характеризующиеся показателями ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , в данном случае это  $L_{ег}$  – длина ездки с грузом,  $i$  – продольный уклон,  $t_{окр}$  – температура окружающей среды,  $\gamma_{гр}$  – коэффициент использования грузоподъемности).

Сбор первичной информации и проверка его на однородность и нормальность распределения. Для оценки однородности совокупности используется коэффициент вариации ( $V$ ) по факторным признакам. Совокупность считается однородной, если коэффициент вариации не превышает 33%.

Таблица 3.7 – Значения коэффициента вариации для различных выборок

№	Группа выборки	Коэффициент вариации $V$ , %
1.	Обобщенная (все БелАЗы)	9
2.	БелАЗ-75131	8
3	БелАЗ-75302	7
4.	БелАЗ-75306	8

В данном случае коэффициент вариации для различных выборок находится в диапазоне 7–9 %, что меньше 33 %, следова-

тельно, гипотеза о нормальности выборки подтверждается, и исследуемые совокупности считаются однородными.

Основным методом выявления наличия корреляционной связи является метод аналитической группировки и определения групповых средних.

Изучение множественной корреляционной зависимости начато с анализа матрицы парных коэффициентов корреляции.

Для определения степени тесноты парной линейной зависимости служит линейный коэффициент корреляции ( $r$ )<sup>46</sup>:

$$r = \frac{\sum x \cdot y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right] \cdot \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right]}} \quad (3.3)$$

где  $n$  – число замеров.

Расчеты проведены по четырем выборкам автосамосвалов: I – Все БелАЗы; II – БелАЗ-75131; III – БелАЗ-75302; IV – БелАЗ-75306.

Результаты определения значений линейного коэффициента корреляции для различных групп выборок для оценки значимости исследуемых параметров приведены в табл. 3.8–3.11 и представлены в графическом виде на рис. 3.11–3.14.

Таблица 3.8 – Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «Все БелАЗы»<sup>47</sup>.

Параметры	$L_{ер}$ , км	$i$ , ‰	$t_{oc}$ , °C	$\gamma_{ГР}$	$t_m$ , °C
$L_{ер}$ , км	–	-0,0511	-0,159	0,012	-0,068
$i$ , ‰	-0,0511	–	0,0826	0,0157	0,162
$t_{oc}$ , °C	-0,159	0,0826	–	0,043	0,774
$\gamma_{ГР}$	0,012	0,0157	0,043	–	0,433
$t_m$ , °C	-0,068	0,162	0,774	0,433	–

<sup>46</sup> Ефимова, М.Р. Практикум по общей теории статистики: учебник / М. Р. Ефимова, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.

<sup>47</sup> Стенин, Д.В. Загруженность карьерных самосвалов и тепловое состояние редукторов их мотор-колес / Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Автомобильная промышленность, 2012. – № 10. – С. 26-28.

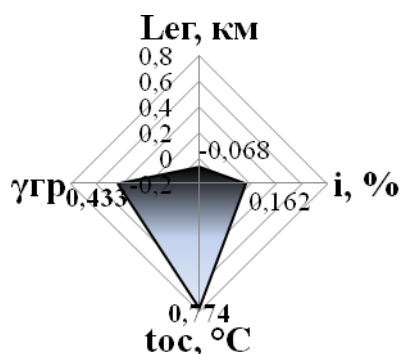


Рисунок 3.11 – Значения линейного коэффициента корреляции для всех БелАЗов

Как видно из графика, изображенного на рис. 3.11, линейный коэффициент корреляции принимает наибольшие значения 0,774 и 0,433 соответственно для температуры окружающей среды и коэффициента использования грузоподъемности, что говорит о наибольшей корреляции с температурой масла РМК данных показателей.

Таблица 3.9 – Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «БелАЗ-75131».

5	$L_{ер}, км$	$i, \%$	$t_{ос}, °C$	$\gamma_{ГР}$	$t_{м}, °C$
$L_{ер}, км$	–	-0,084	-0,059	-0,047	0,099
$i, \%$	-0,084	–	0,211	0,056	0,298
$t_{ос}, °C$	-0,059	0,211	–	0,118	0,705
$\gamma_{ГР}$	-0,047	0,056	0,118	–	0,516
$t_{м}, °C$	0,099	0,298	0,705	0,516	–

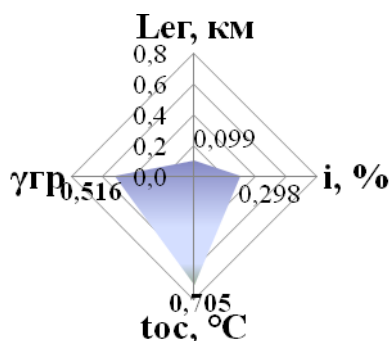


Рисунок 3.12 – Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «БелАЗ-75131»



Как видно из графика, изображенного на рис. 3.12, линейный коэффициент корреляции принимает наибольшие значения 0,705 и 0,516 соответственно для температуры окружающей среды и коэффициента использования грузоподъемности, что говорит о наибольшей корреляции с температурой масла РМК данных показателей<sup>48</sup>.

Таблица 3.10 – Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «БелАЗ-75302».

Параметры	$L_{ег}$ , км	$i$ , ‰	$t_{ос}$ , °С	$\gamma_{ГР}$	$t_m$ , °С
$L_{ег}$ , км	–	-0,009	-0,205	0,013	-0,071
$i$ , ‰	-0,009	–	-0,189	0,008	0,009
$t_{ос}$ , °С	-0,205	-0,189	–	0,007	0,790
$\gamma_{ГР}$	0,013	0,008	0,007	–	0,384
$t_m$ , °С	-0,071	0,009	0,790	0,384	–

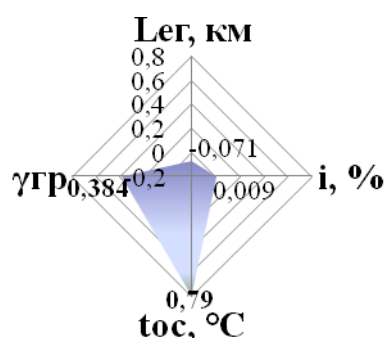


Рисунок 3.13 – Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «БелАЗ-75302»

Как видно из графика, изображенного на рис. 3.13, линейный коэффициент корреляции принимает наибольшие значения 0,79 и 0,384 соответственно для температуры окружающей среды и коэффициента использования грузоподъемности, что говорит о наибольшей корреляции с температурой масла РМК данных показателей.

<sup>48</sup>Стенина, Н.А. Оценка значимости исследуемых параметров, влияющих на теплонагруженность редукторов мотор-колес (РМК) карьерных автосамосвалов / Н.А. Стенина, Д.В. Стенин, А.А. Хорешок // Россия молодая: Материалы IV Всероссийской, 57 научно-практической конференции молодых ученых. – КузГТУ, Кемерово, 2012. – С. 319-321.

Таблица 3.11– Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «БелАЗ-75306».

Параметры	$L_{ег}$ , км	$i$ , ‰	$t_{ос}$ , °С	$\gamma_{ГР}$	$t_m$ , °С
$L_{ег}$ , км	–	-0,049	-0,246	0,079	0,040
$i$ , ‰	-0,049	–	0,229	-0,010	0,275
$t_{ос}$ , °С	-0,246	0,229	–	0,025	0,751
$\gamma_{ГР}$	0,079	-0,010	0,025	–	0,361
$t_m$ , °С	0,040	0,275	0,751	0,361	–

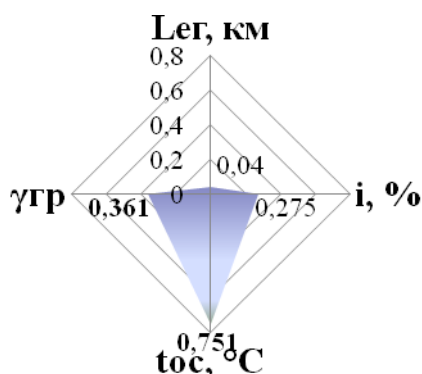


Рисунок 3.14 – Значения линейного коэффициента корреляции для выборки «БелАЗ-75306»

Как видно из графика, изображенного на рис. 3.14, линейный коэффициент корреляции принимает наибольшие значения 0,751 и 0,361 соответственно для температуры окружающей среды и коэффициента использования грузоподъемности, что говорит о наибольшей корреляции с температурой масла РМК данных показателей.

Проанализировав данные графиков можно отметить, что наиболее тесная связь наблюдается между температурой масла РМК и температурой окружающей среды (линейный коэффициент корреляции принимает значения в пределах 0,705-0,774) и между температурой масла РМК и коэффициентом использования грузоподъемности (линейный коэффициент корреляции принимает значения в пределах 0,361-0,516).

Так как температура окружающей среды – это показатель, на который повлиять нельзя, то основным показателем для дальнейших исследований является коэффициент использования грузоподъемности. Таким образом, оперативное управление этим

показателем позволит для любых условий эксплуатации разработать такие рекомендации, при которых эффективность использования карьерных автосамосвалов будет максимальной. Оставшиеся три показателя также оказывают влияние на температуру масла. Поэтому наиболее достоверным будет рассмотрение влияния всей совокупности показателей, для чего необходимо создание модели регрессии. Все показатели включаются в модель регрессии. Линейное уравнение регрессии имеет следующий общий вид:

$$y_{x_1, x_2, \dots, x_n} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_n \cdot x_n, \quad (3.4)$$

Линейное уравнение регрессии применительно к исследуемым показателям имеет вид:

$$t_m = a + b_1 \cdot L_{er} + b_2 \cdot i + b_3 \cdot t_{oc} + b_4 \cdot \gamma_{гр}, \quad (3.5)$$

Далее измеряется степень тесноты связи и проводится оценка ее существенности.

Коэффициенты линейного уравнения регрессии определялись с помощью приложения Microsoft Excel, а далее был выполнен поиск решения.

Далее необходимо подобрать коэффициенты уравнения так, чтобы это уравнение наилучшим образом соответствовало экспериментальным данным.

Определение неизвестных коэффициентов уравнения регрессии осуществлялось методом наименьших квадратов. Неизвестные значения подбирались из условия минимизации суммы квадратов отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - f(a, b_1, b_2, b_3, b_4)]^2 \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

Определение выборочных коэффициентов корреляции методом наименьших квадратов выполнено для всех исследуемых групп: БелАЗ-75131, -75302, -75306 и группы «Все БелАЗы».

В результате расчетов и обработки данных получены следующие модели регрессии для определения температуры масла РМК при эксплуатации автосамосвалов в различных условиях<sup>49</sup>.

---

<sup>49</sup>Стенин, Д.В. Использование корреляционного анализа при оценке теплового состояния редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов БелАЗ / Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Материалы IX Международной научно-практической конференции «СИБРЕСУРС 2012». – Кемерово, 2012. – С.133-137.

Таблица 3.12 – Уравнения регрессии для выборок автосамосвалов «БелАЗ» по группам и обобщенной совокупности.

№	Группа выборки	Уравнения регрессии
1.	Обобщенная (все БелАЗы)	$t_M = 70,83 + 27,09 \cdot \gamma_{гр} + 1,04 \cdot t_{oc} + 0,38 \cdot L_{ег} + 1,43 \cdot i$
2.	БелАЗ-75131	$t_M = 51,74 + 35,9 \cdot \gamma_{гр} + 0,77 \cdot t_{oc} + 1,03 \cdot L_{ег} + 1,95 \cdot i$
3.	БелАЗ-75302	$t_M = 89,77 + 27,07 \cdot \gamma_{гр} + 0,92 \cdot t_{oc} + 1,38 \cdot L_{ег} + 1,73 \cdot i$
4.	БелАЗ-75306	$t_M = 70,72 + 22,99 \cdot \gamma_{гр} + 0,94 \cdot t_{oc} + 1,12 \cdot L_{ег} + 1,28 \cdot i$

Оценим качество уравнения регрессии с помощью ошибки абсолютной аппроксимации. *Средняя ошибка аппроксимации* – среднее отклонение расчетных значений от фактических:

$$\bar{A} = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n-l}} \div \bar{y} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

где  $y$  – фактическое значение температуры масла РМК;

$\hat{y}$  – значение температуры масла РМК, рассчитанное по уравнению множественной регрессии;

$n$  – число замеров температуры масла РМК для разных групп выборок;

$l$  – число параметров в уравнении регрессии ( $l = 4$ )

Если средняя ошибка аппроксимации не превышает 15 %, то уравнение множественной регрессии достаточно хорошо отображает изучаемую взаимосвязь.

Таблица 3.13 – Значения средней ошибки аппроксимации для всех групп выборок.

№	Группа выборки	Средняя ошибка аппроксимации – $\bar{A}$ , %
1.	Обобщенная (все БелАЗы)	10,0
2.	БелАЗ-75131	9,16
3.	БелАЗ-75302	5,11
4.	БелАЗ-75306	7,7

Для всех групп выборок значение средней ошибки аппроксимации не превышает 15 %, следовательно, уравнения регрессии достаточно хорошо отображают изучаемую взаимосвязь и данные уравнения можно использовать в качестве регрессии.

Для проверки значимости модели регрессии используется критерий Фишера, расчетное значение которого находится как отношение дисперсии исходного ряда наблюдений изучаемого показателя и несмещенной оценки дисперсии остаточной последовательности для данной модели. Если расчетное значение с  $f_1=(m)$  и  $f_2=(n-m-1)$  степенями свободы больше табличного при заданном уровне значимости, то модель считается значимой.

По таблице F-распределения<sup>50</sup> найдено табличное значение  $F_{\text{табл}}$  при числе степеней свободы  $f_1=4$  и уровне значимости  $\alpha=0,05$  ( $P=0,95$ ).

Нулевая гипотеза  $H_0$ : уравнение регрессии статистически незначимо.

$$F_{\text{расч}} = \frac{Q_x / f_1}{Q_{\text{ост}} / f_2}, \quad (3.8)$$

где  $Q_x$  – сумма квадратов, характеризующая влиянием полезного признака;

$Q_{\text{ост}}$  – сумма квадратов остаточной дисперсии;

$f_1$  и  $f_2$  – число степеней свободы.

Для линейной модели вида:

$$t_m = a + b_1 \cdot \gamma_{\text{гр}} + b_2 \cdot t_{\text{ос}} + b_3 \cdot L_{\text{ег}} + b_4 \cdot i_{f_1} = 4.$$

Число степеней свободы  $f_2 = n - m - 1$ , где  $n$  – количество экспериментальных точек.

Таблица 3.14 – Расчетные данные определения значимости по критерию Фишера.

Выборка	$F_{\text{табл}}$	$F_{\text{расч}}$
БелАЗ-75131	2,37	3971
БелАЗ-75302		6555
БелАЗ-75306		4230
Все БелАЗы		13387

Вывод: так как  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$ , то с вероятностью 0,95 можно утверждать, что нулевая гипотеза отклоняется и уравнение регрессии статистически значимо.

<sup>50</sup> Ефимова, М.Р. Практикум по общей теории статистики: учебник / М.Р. Ефимова, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.

Для расчетов используем общую формулу, которая описывает температурный режим РМК всех моделей автосамосвалов особо большой грузоподъемности.

Зная зависимость продолжительности простоя автосамосвалов в ремонте ( $D_{рем}$ ) (по причине отказа редукторов) от температуры масла в РМК ( $t_m$ ), с помощью представленных уравнений можно получить зависимость  $D_{рем} = f(\gamma_{зр})$  и определить рациональный коэффициент использования грузоподъемности, при котором продолжительность простоев в ремонте и затраты на ремонт будут минимальными, а производительность автосамосвалов – максимальной.

В результате проведенного исследования было выявлено, что:

1. Температура масла РМК карьерных автосамосвалов, эксплуатируемых в ОАО «Талдинский угольный разрез», превышает критическое значение в +120 °С уже при температуре окружающей среды более +15 °С. Причиной этого является нерациональное использование грузоподъемности карьерных автосамосвалов.

2. Наиболее тесная связь наблюдается между температурой масла РМК и температурой окружающей среды (линейный коэффициент корреляции изменяется в пределах 0,705-0,774), а также температурой масла РМК и коэффициентом использования грузоподъемности (линейный коэффициент корреляции изменяется в пределах 0,361-0,516).

3. Коэффициенты вариации для различных групп выборок находятся в диапазоне 7-9 % что меньше чем 33 %, следовательно, гипотеза о нормальности выборки подтверждается, и исследуемые совокупности считаются однородными.

4. Зависимость температуры масла в РМК от показателей, характеризующих условия эксплуатации, для всех марок автосамосвалов имеет линейный вид:

$$t_m = 70,83 + 27,09 \cdot \gamma_{зр} + 1,04 \cdot t_{oc} + 0,38 \cdot L_{зз} + 1,43 \cdot i.$$

Данное уравнение регрессии является адекватным экспериментальным данным с вероятностью 95 %.

## 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РМК КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

### 4.1 Определение производительности транспортного оборудования с учетом температурного режима РМК

Под режимом эксплуатации карьерных автосамосвалов с ЭМТ понимают комплекс технологических, технических и организационных факторов, обеспечивающий наивысшую эффективность эксплуатации автосамосвалов в определенных условиях.

Одним из основных путей снижения транспортных расходов является повышение производительности большегрузных автомобилей. Основным показателем качества работы автомобильного транспорта и ЭАК большинство авторов считают производительность транспортного процесса.

Одним из основных условий достижения максимальной производительности автомобилей является согласованная их работа.

На практике производительность автомобиля принято оценивать его выработкой в тоннах и тонно-километрах за час работы. Изменение этих показателей при прочих равных условиях (характере груза, расстоянии перевозки, условиях перевозки) отражает соответствующее изменение производительности труда.

Одним из ведущих ученых в области грузовых автомобильных перевозок А. И. Воркутом предложено рассчитывать по следующим формулам часовую выработку в тоннах<sup>51</sup>:

$$P_{\text{ч}} = \frac{q \cdot \gamma_{\text{ст}}}{\frac{l_{\text{г.е.}}}{V_{\text{т}} \cdot \beta} + t_{\text{пр}}}, \quad (4.1)$$

и в Т·км:

$$W_{\text{ч}} = \frac{q \cdot \gamma_{\text{д}}}{\frac{1}{V_{\text{т}} \cdot \beta} + \frac{t_{\text{пр}}}{l_{\text{г.е}}}}, \quad (4.2)$$

---

<sup>51</sup>Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вицашк., 1986. – 447 с.

где  $q$  – номинальная грузоподъемность автомобиля, т;  $\gamma_{ст}$  – статический коэффициент использования грузоподъемности;  $\gamma_{д}$  – динамический коэффициент использования грузоподъемности;

$$\gamma_{ст} = \frac{P_e}{q}, \quad (4.3)$$

где  $P_e$  – масса груза, перевезенного за одну езду, т;  $l_{г.е.}$  – расстояние груженого пробега автомобиля за езду, км;  $V_T$  – техническая скорость автомобиля, км/ч;

$\beta$  – коэффициент использования пробега;  $t_{пр}$  – время на погрузочно-разгрузочные операции, ч.

$$\gamma_{д} = \frac{W_e}{q \cdot l_{г.е.}}, \quad (4.4)$$

где  $W_e$  – количество тонно-километров, выполненных за езду, т·км.

При выборе оптимальных экскаваторно-автомобильных комплексов большую роль играет такой показатель, как производительность автосамосвалов и экскаватора.

Производительность автосамосвала определяется<sup>52</sup>:

$$W_a = \frac{T_{см} - T_{п-з}}{\Delta t_o + t_{погр} + t_{мп} + t'_{дв} + t''_{дв} + t_{разгр}} \cdot q \cdot k_q, \text{ т/ч} \quad (4.5)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность смены, час;  $T_{п-з}$  – продолжительность подготовительно-заключительных операций, час;  $\Delta t_o$  – продолжительность ожидания погрузки, час;  $t_{погр}$  – продолжительность погрузки, час;  $t_{мп}$  – продолжительность маневрирования автосамосвала под погрузку, час;  $t'_{дв} + t''_{дв}$  – продолжительность движения автосамосвала в обоих направлениях, час;  $t_{разгр}$  – время на маневры и разгрузку автосамосвала, час;  $q$  – грузоподъемность автосамосвала, т;  $k_q$  – коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала.

В работе авторы для определения производительности предлагают следующую формулу<sup>53</sup>:

$$W_a = \frac{T_{см} - T_{п-з}}{t_{ц}} \cdot q_a \cdot k_q \cdot k_{на}, \text{ т/ч} \quad (4.6)$$

<sup>52</sup>Васильев, М.В. Совершенствование организации транспортных работ на карьерах / М. В. Васильев, Б.В. Яковенко, Б.А. Егин, А.К. Сухов. – Ленинград, 1976. – 69 с.

<sup>53</sup>Фирсов, В.И. Исследование долговечности кузовов карьерных автосамосвалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1978. – 22 с.



где  $t_{ц}$  – продолжительность транспортного цикла, час;  $k_{на}$  – коэффициент использования автосамосвалов.

$$k_{на} = \frac{[n - \sum_{k=2}^n (k-1) \cdot P_k]}{n}, \quad (4.7)$$

где  $n$  – число автосамосвалов у экскаватора;  $P_k$  – вероятность того, что в любой момент времени у экскаватора будет находиться  $k$  автосамосвалов.

Оценивать эффективность работы карьерных автосамосвалов одной только производительностью нельзя. Зависимость годовой производительности от степени загрузки носит параболический характер и имеет экстремум<sup>54</sup>.

К комплексным показателям надежности относятся: коэффициент технической готовности, коэффициент стоимости эксплуатации и ряд других показателей.

Основными показателями надежности восстанавливаемых изделий являются коэффициент готовности и коэффициент использования. Согласно ГОСТ 27.002 – 89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», эти коэффициенты определяются следующим образом:

$$K_{Г} = \frac{T_{Р}}{T_{Р} + T_{В}}; \quad (4.8)$$

$$K_{Г.И} = \frac{T_{Р}}{T_{Р} + T_{В} + T_{ТОР}}; \quad (4.9)$$

где  $T_{Р}$  – средняя наработка изделия на отказ;  $T_{В}$  – среднее время восстановления после отказа;  $T_{ТОР}$  – затраты времени на техническое обслуживание (ТО) и ремонт изделия за период календарного времени, в течение которого выполняется наработка  $T_{Р}$ .

Коэффициент готовности различают как нестационарный (вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольный момент времени, исключая периоды плановых простоев), так и стационарный, определяемый по формуле (4.8). Также следует учесть, что наработка в моточасах не всегда равна времени работоспособного состояния машины, даже в период ее планового использования.

<sup>54</sup>Хорешок, А.А. Загрузка, производительность и ресурс несущей системы карьерного самосвала / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Автомобильная промышленность, 2008. – № 3. – С. 18-19.

Так, в практике работы автотранспортных предприятий используются два коэффициента, характеризующие эффективность работы технической и производственной служб соответственно – коэффициент готовности и коэффициент использования оборудования:

$$k_{\Gamma} = \frac{\Phi_{И}}{\Phi_{СП}}; \quad (4.10)$$

$$k_{ио} = \frac{\Phi_{\Phi}}{\Phi_{СП}}; \quad (4.11)$$

где  $\Phi_{И}$  – фонд рабочего времени «исправных» машин (не состоящих в плановых ТО и ремонтах – при восстановлении после отказа);  $\Phi_{СП}$  – фонд рабочего времени списочного парка машин;

Надежность ЭАК в целом, определяемая как надежность входящих в него звеньев, оценивается коэффициентами их готовности:

$$k_{\Gamma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \cdot (n-1)}, \quad (4.12)$$

где  $k_i$  – коэффициент готовности  $i$ -го звена (экскаватора, автосамосвала, транспортных коммуникаций, приемных пунктов);  $n$  – число звеньев (для ЭАК  $n = 4$ ).

Так как при современном уровне автомобилестроения увеличение грузоподъемности не сопровождается соответствующим повышением его надежности, то использование автосамосвалов большой грузоподъемности приводит к снижению надежности всего комплекса. Чтобы иметь такую же эксплуатационную производительность комплекса при использовании автосамосвалов большой грузоподъемности, они должны быть надежнее, а коэффициент их готовности должен быть не менее величины, определенной по формуле<sup>55</sup>:

$$k_{\Gamma} = \frac{t_p}{(t_p + t_{\text{в}}) \cdot \frac{q_i}{q_{\text{б}}}}, \quad (4.13)$$

где  $t_p$  – чистое время работы автосамосвала за период  $T$ ;  $t_{\text{в}}$  – суммарное время восстановления работоспособности автосамосвала после отказов за этот период;  $q_i, q_{\text{б}}$  – грузоподъемность сравниваемого и базового автосамосвалов.

<sup>55</sup> Кулешов, А.А. Выбор оптимальной типажной структуры экскаваторно-автомобильных комплексов для условий конкретного карьера. – Ленинград, 1989. – 70 с.

Оценка средств, затрачиваемых на поддержание надежности горных машин, комплексов или агрегатов в процессе эксплуатации, может производиться с помощью коэффициента стоимости эксплуатации  $K_{C.Э}$ <sup>56</sup>. [135]:

$$K_{C.Э} = \frac{C_{Э}}{C_{РМК}}, \quad (4.14)$$

где  $C_{Э}$  – стоимость эксплуатации до капитального ремонта, состоящая из затрат на проведение ремонтно-профилактических работ и затрат, связанных с возникновением и ликвидацией отказов (стоимость запасных частей и ремонтов, убытки из-за простоев лавы во время устранения отказов и другие эксплуатационные расходы);  $C_{РМК}$  – стоимость РМК.

В отдельных случаях в качестве целевой функции может быть принята максимальная производительность по комплексу с учетом всех вспомогательных процессов.

Однако данная функция не имеет оптимума, то есть производительность будет постепенно расти с ростом рабочих параметров машин.

В каждом конкретном случае необходимо решить, что важнее на данном этапе для горного предприятия – минимальные приведенные затраты или производительность по комплексу. Повышение производительности на погрузочно-транспортных работах может привести в отдельных случаях к увеличению приведенных затрат и себестоимости продукции из-за большой стоимости оборудования и технической базы его эксплуатации<sup>57</sup>.

В качестве целевой функции эффективности комплекса приняты минимальные удельные приведенные затраты ( $C_{ПТО}$ ) на погрузку и транспортирование одной тонны горной массы с учетом капиталовложений в непроизводительную сферу горного предприятия:

$$C_{ПТО} = [\Delta_{ПТ} + (K_1 \cdot E_{K1} + K_2 \cdot E_{K2})] \rightarrow \min, \quad (4.15)$$

где  $\Delta_{ПТ}$  – эксплуатационные расходы на погрузку и транспортирование одной тонны горной массы, руб.;  $K_1, K_2$  – соответственно

<sup>56</sup>Хорешок, А.А. Надежность горных машин и оборудования: Учеб. пособие / А.А. Хорешок, Г.Д. Буялич, Е.В. Прейс, М.Ю. Блашук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 128 с.

<sup>57</sup>Стенин, Д.В. Обоснование влияния ресурса несущих систем и степени загрузки на производительность карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2008. – 127 с.

капитальные затраты в производственной и непроизводственной сферах предприятия, необходимые для создания погрузочно-транспортной системы карьера, приходящиеся на одну тонну горной массы, руб.;  $E_{к1}$ ,  $E_{к2}$  – нормативный коэффициент окупаемости капиталовложений.

Надежность автосамосвалов и другого горного оборудования зависит от их конструктивных особенностей, качества изготовления и от многочисленных факторов, характеризующих условия эксплуатации, таких как горнотехнические факторы, качество дорожных покрытий, организованность процессов технической эксплуатации, режимы и качество технического обслуживания.

По степени нагрева можно определить нарушение регулировки подшипников или изменение уровня масла в редукторе<sup>58</sup>.

Температура нагрева масла имеет большое значение при эксплуатации редуктора, так как при повышенных температурах трансмиссионное масло теряет свои смазывающие свойства. Вследствие этого, происходит повышенный износ шестерен и подшипников редукторов.

На практике нагрев редуктора определяется на ощупь, что зачастую не дает достоверной информации.

Масло является наиболее эффективным, гибким, изменяемым и контролируемым элементом и накопителем информационных признаков состояния техники и ее систем.

Трансмиссионные масла применяются в редукторах моторколес, где вращающий момент передается либо зубчатыми парами (масло выполняет только функции смазки), либо посредством самого масла, как, например, в гидромеханических передачах (масло является рабочим телом).

К трансмиссионным маслам предъявляются довольно жесткие требования.

---

<sup>58</sup> Кудреватых, А.В. Обоснование методов и параметров диагностирования редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2010. – 187 с.

Таблица 4.1 – Технические характеристики трансмиссионных масел применяемых в редукторах мотор-колес карьерных автосамосвалов

Наименование показателя	Норма по ГОСТ (ТУ) ТАП-15В
Вязкость:	
Кинематическая, мм <sup>2</sup> /с:	
при 50°С	–
при 100°С	15,0±1
Динамическая, Па·с, при -15 (-20)°С, не более	180

При высоких температурах ухудшаются свойства трансмиссионного масла, и надежность РМК снижается.

#### **4.2 Определение влияния температуры масла РМК на надежность и техническое состояние карьерных автосамосвалов**

Основной причиной изменения технического состояния редукторов является износ. Поэтому все, что влияет на износ, вызывает изменение технического состояния эксплуатационных показателей. Измерить эксплуатационный показатель практически более удобно, чем износ. Поэтому изменение технического состояния редуктора оценивается изменением величины эксплуатационного показателя.

Неизбежность и значительность влияния режимов и условий работы на изменение технического состояния карьерных автосамосвалов понятны и ясны всем. Условия эксплуатации (дорожные, климатические, вид груза, расстояние перевозки, простой под погрузкой-разгрузкой) являются заданными. Влиять можно только на режим работы агрегатов, по-разному добиваться одной и той же величины средней скорости передвижения, создавать оптимальный режим работы деталей, лимитирующих техническое состояние узла.

Благодаря использованию температуры масла как параметра для определения температурного режима РМК карьерных автосамосвалов можно решить такие задачи как:

- сокращение простоев карьерных автосамосвалов из-за отказа РМК;
- уменьшение затрат на текущий ремонт РМК;
- уменьшение дней простоя в ремонте.

Надежность агрегатов карьерного автосамосвала и экскаватора закладывается при их проектировании, обеспечивается в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации.

Масло по существу является одним из основных материалов, определяющих надежность и эффективность работы редуктора мотор-колеса. Качество масла и конструкция редуктора взаимосвязаны и дополняют друг друга.

На гистограммах, представленных на рис. 4.1, 4.2 изображено количество отказов РМК за год, величина средней температуры масла РМК и затрат на ремонт, приходящихся на один автосамосвал по маркам.

Наибольшее количество отказов в год приходится на автосамосвал БелАЗ-75302 (5,88), наименьшее на БелАЗ-75131 (2,56).

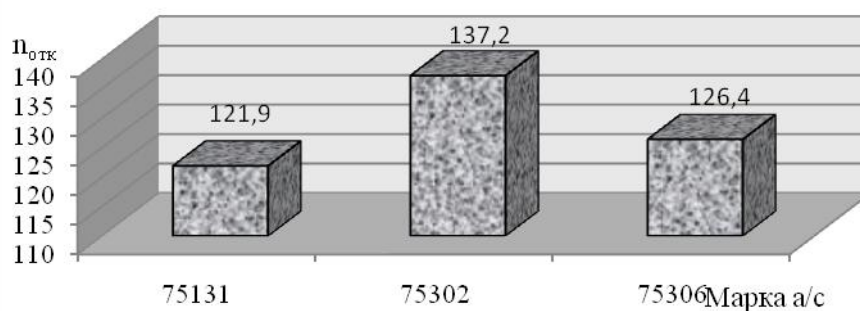


Рисунок 4.1 – Количество отказов РМК, приходящихся на один автосамосвал, за год

Наибольшее число отказов в год приходится на «БелАЗ-75302»<sup>59</sup>.

<sup>59</sup>Стенин, Д.В. К вопросу исследования влияния условий эксплуатации на надежность редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов/ Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: Материалы II Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк, 2012. С. 93-95.

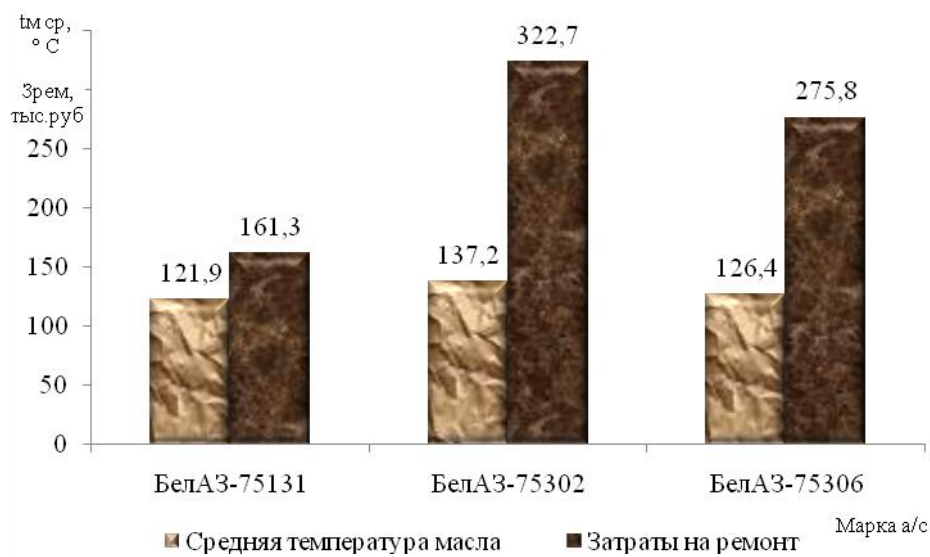


Рисунок 4.2 – Величина средней температуры масла и затрат на ремонт, приходящихся на один автосамосвал

Средняя температура масла РМК имеет максимальные значения для карьерного автосамосвала «БелАЗ-75302» (137,2 °С), затраты на ремонт РМК также максимальные для этой же марки автосамосвала.

Эмпирические зависимости затрат на ремонт РМК, количества отказов РМК, количество дней простоя автосамосвалов в ремонте от температуры масла представлены на графиках, изображенных на рис. 4.3-4.5.

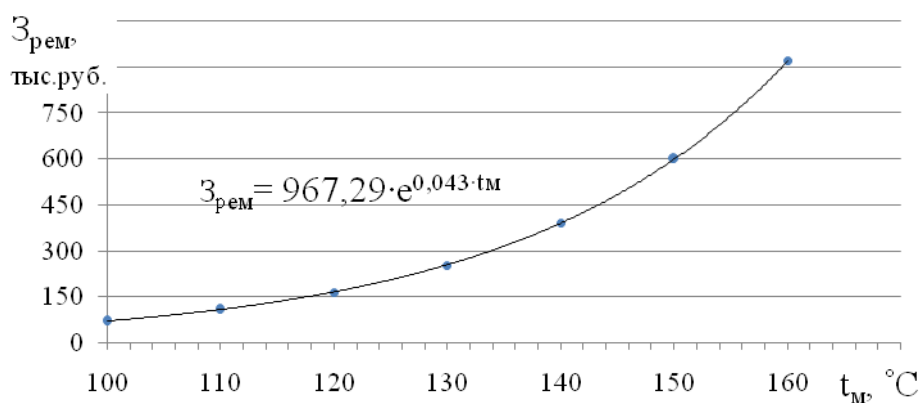


Рисунок 4.3 – Зависимость затрат на ремонт РМК ( $Z_{рем}$ ) от температуры масла ( $t_M$ )

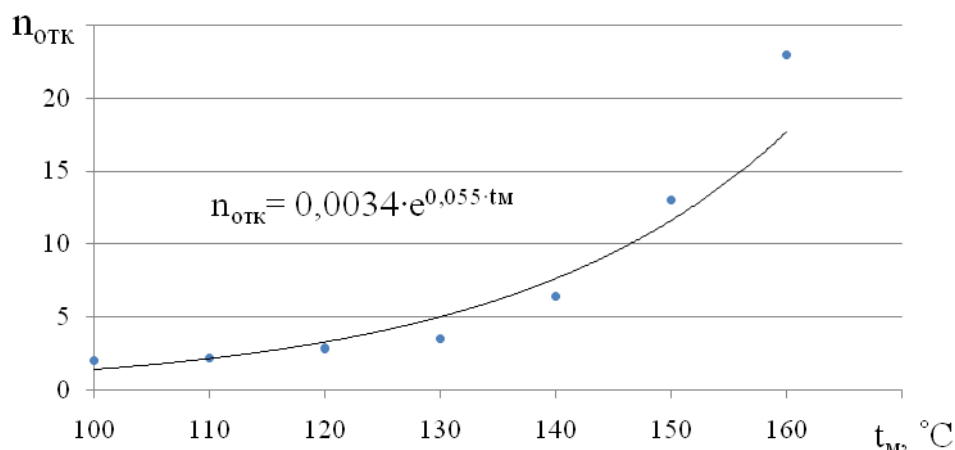


Рисунок 4.4 – Зависимость количества отказов РМК ( $n_{OTK}$ ) от температуры масла в редукторе ( $t_M$ )

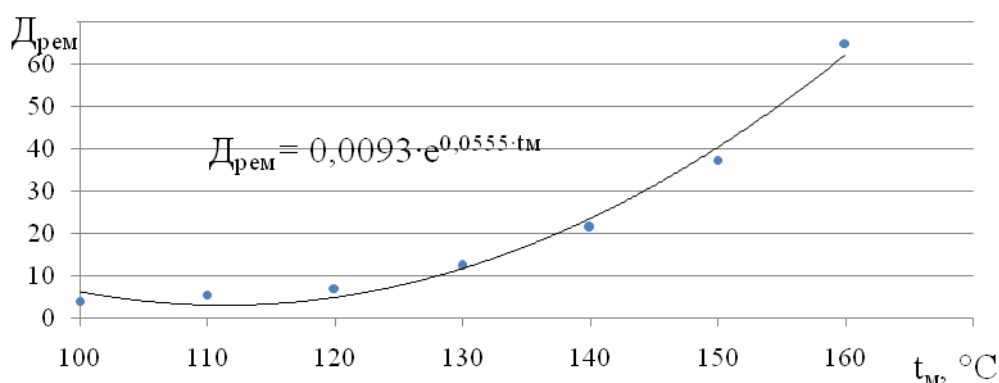


Рисунок 4.5 – Зависимость количества дней простоя автосамосвалов в ремонте ( $D_{рем}$ ) по причине отказов РМК из-за перегрева ( $t_M$ )

Для описания полученных зависимостей выбрана экспоненциальная функция:

$$y = a_1 \cdot e^{a_2 \cdot x} \quad (4.16)$$

Для определения численных значений параметров уравнения связи (линии регрессии) использован метод наименьших квадратов в приложении Microsoft Excel выполнен поиск решения и решается система нормальных уравнений.

Для определения параметров  $a_1$  и  $a_2$  уравнения экспоненциальной корреляционной связи система нормальных уравнений следующая:

$$\begin{cases} \sum \ln y = n \cdot \ln a_1 + a_2 \cdot \sum x, \\ \sum x \ln y = \ln a_1 \cdot \sum x + a_2 \cdot \sum x^2 \end{cases} \quad (4.17)$$



где  $n$  – количество замеров.

Затраты на ремонт определяются по формуле:

$$Z_{\text{рем}} = 967,2916 \cdot e^{0,043 \cdot t_{\text{м}}}, \text{ руб.} \quad (4.18)$$

Количество отказов определяются по формуле:

$$n_{\text{отк}} = 0,0034 \cdot e^{0,055 \cdot t_{\text{м}}}, \quad (4.19)$$

Дни простоя в ремонте определяются по формуле:

$$D_{\text{рем}} = 0,0093 \cdot e^{0,0555 \cdot t_{\text{м}}}, \quad (4.20)$$

Далее измеряется степень тесноты связи и проведена оценка ее существенности.

Данные уравнения описывают совокупность, по шкале Чеддока связь весьма высокая  $0,9 < r_{xy} < 1$ :

для количества отказов ( $r_{\text{тм}n_{\text{отк}}}=0,928$ );

затрат на ремонт ( $r_{\text{тм}Z_{\text{рем}}}=0,991$ );

дней простоя в ремонте ( $r_{\text{тм}D_{\text{рем}}}=0,987$ ).

Это еще раз подтверждает наличие экспоненциальной зависимости.

При отклонении температуры масла от критического значения  $120^\circ$  до минимального  $95^\circ$ , количество отказов снижается на 25 %, при увеличении до максимального значения  $161^\circ$  – увеличивается в 9 раз.

### **4.3 Определение влияния коэффициента использования грузоподъемности с учетом температурного режима РМК на показатели эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов**

Наиболее показательным критерием определения рационального коэффициента использования грузоподъемности (КИГ) являются удельные затраты на ремонт, которые позволяют оценить влияние КИГ одновременно как на производительность автосамосвалов, так и на величину затрат на ремонт редулятора.

Методика определения рациональной загрузки карьерных автосамосвалов с учетом температурного режима РМК по минимальному удельных затрат следующая:

Удельные затраты определяются по формуле:

$$Z_{\text{уд}} = \frac{Z_{\text{рем}}}{Q_{\text{г}}}, \text{ руб/т}, \quad (4.21)$$

где  $Z_{\text{рем}}$  – годовые затраты на ремонт РМК, руб/год.;  $Q_{\text{г}}$  – годовая производительность, т/год.

Для определения затрат на ремонт и числа отказов РМК в работе были получены зависимости (формула 4.18, 4.19).

Затраты на ремонт РМК определяются по формуле 4.18.

Среднее число отказов РМК, приходящихся на один автомобиль за год определяется по формуле 4.19.

Температура масла РМК для всех марок автосамосвалов определяется по формуле:

$t_{\text{м}} = 70,83 + 27,09 \cdot \gamma_{\text{гр}} + 1,04 \cdot t_{\text{ос}} + 0,38 \cdot L_{\text{ег}} + 1,43 \cdot i, \text{ } ^\circ\text{C}$  (4.22)  
где  $\gamma_{\text{гр}}$  – коэффициент использования грузоподъемности<sup>60</sup>.

$$\gamma_{\text{гр}} = \frac{q_{\text{ф}}}{q_{\text{н}}}, \quad (4.23)$$

где  $q_{\text{ф}}$  – фактическая грузоподъемность, т;  $q_{\text{н}}$  – номинальная грузоподъемность, т.

Фактическая грузоподъемность определяется по формуле<sup>61</sup>:

$$q_{\text{ф}} = \frac{n_{\text{к}} \cdot V_{\text{э}} \cdot k_{\text{нк}} \cdot \rho_{\text{ц}}}{k_{\text{р}}}, \quad (4.24)$$

где  $n_{\text{к}}$  – количество загружаемых ковшей;  $V_{\text{э}}$  – вместимость ковша экскаватора;  $k_{\text{нк}}$  – коэффициент наполнения ковша;  $\rho_{\text{ц}}$  – плотность горной массы, т/м<sup>3</sup>;  $k_{\text{р}}$  – коэффициент разрыхления горной массы.

Коэффициент наполнения ковша ( $k_{\text{нк}}$ ) зависит от характеристик горной массы и определяется по формуле<sup>62</sup>:

$$k_{\text{нк}} = k_{\text{э}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.25)$$

где  $k_{\text{э}}$  – коэффициент экскавации.

Годовая производительность зависит от режимов и продолжительности работы автосамосвалов за год. Годовую производительность ( $Q_{\text{г}}$ ) определяют по формуле:

$$Q_{\text{г}} = Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{р.г.}} \quad (4.26)$$

<sup>60</sup>Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вицашк., 1986. – 447 с.

<sup>61</sup> Дадонов, М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1999. – 293 с.

<sup>62</sup> Дадонов, М. В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1999. – 293 с.

где  $Q_{\text{ч}}$  – часовая производительность автосамосвала, т/час;  $T_{\text{р.г.}}$  – время работы в год, ч.

Время работы в год определяют по формуле:

$$T_{\text{р.г.}} = D_{\text{р.г.}} \cdot T_{\text{сут.}} \quad (4.27)$$

где  $D_{\text{р.г.}}$  – дни работы в год;  $T_{\text{сут.}}$  – время работы в сутки, ч.

Дни работы в год определяют по формуле<sup>63</sup>:

$$D_{\text{р.г.}} = D_{\text{к}} - D_{\text{в}} - D_{\text{рем}} \quad (3.28)$$

где  $D_{\text{к}}$  – дни работы календарные в год;  $D_{\text{в}}$  – выходные дни в году;  $D_{\text{рем}}$  – дни простоя в ремонте в год (формула 4.20).

Часовую производительность автосамосвала определяют по формуле<sup>64</sup>:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{q \cdot \gamma_{\text{гр}} \cdot V_{\text{т}} \cdot \beta}{L_{\text{ез}} + T_{\text{пр}} \cdot V_{\text{т}} \cdot \beta}, \text{ т/ч} \quad (4.29)$$

где  $q$  – грузоподъемность автосамосвала, т;  $\gamma_{\text{гр}}$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $V_{\text{т}}$  – техническая скорость, км/ч;  $L_{\text{ез}}$  – длина ездки с грузом, км;  $T_{\text{пр}}$  – время простоя автосамосвала за один рейс, ч.;  $\beta$  – коэффициент использования пробега ( $\beta = 0,5$  для маятниковых маршрутов<sup>65</sup>).

Время простоя автосамосвала за один рейс определяют по формуле<sup>66</sup>

$$T_{\text{пр}} = t_{\text{погр}} + t_{\text{разгр}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{др}}, \text{ ч.} \quad (4.30)$$

где  $t_{\text{погр}}$  – время погрузки автосамосвала, час.;  $t_{\text{разгр}}$  – время разгрузки автосамосвала, час.;  $t_{\text{ож}}$  – время ожидания погрузки и разгрузки, час.;  $t_{\text{др}}$  – время других простоев, час.

Коэффициент готовности определяют по формуле:

<sup>63</sup>Стенин, Д.В. Обоснование влияния ресурса несущих систем и степени загрузки на производительность карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2008. – 127 с.

<sup>64</sup> Дадонов, М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1999. – 293 с.

<sup>65</sup>Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вицашк., 1986. – 447 с.

<sup>66</sup> Дадонов, М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1999. – 293 с.

$$k_{\Gamma} = \frac{D_{\kappa} - D_{\text{рем}}}{D_{\kappa}}, \quad (4.31)$$

Коэффициент стоимости эксплуатации  $K_{\text{с.э.}}$  определяется по формуле<sup>67</sup>:

$$k_{\text{с.э.}} = \frac{Z_{\text{рем}}}{C_{\text{РМК}}}, \quad (4.32)$$

где  $Z_{\text{рем}}$  – стоимость эксплуатации до капитального ремонта, состоящая из затрат на проведение ремонтно-профилактических работ и затрат, связанных с возникновением и ликвидацией отказов (стоимость запасных частей и ремонтов, убытки из-за простоев лавы во время устранения отказов и другие эксплуатационные расходы);  $C_{\text{РМК}}$  – стоимость РМК.

*Результаты определения рационального коэффициента использования грузоподъемности для конкретного маршрута на ОАО «Талдинский угольный разрез» представлены в табл. 4.2 и на рис. 4.6.*

Исходные данные:

- марка автосамосвала – БелАЗ-75302;
- длина груженой ездки – 11 км;
- средняя техническая скорость – 14 км/ч;
- средний продольный уклон дороги – 5 %;
- температура окружающей среды – +30 °С.

Таблица 4.2 – Результаты определения рационального коэффициента использования грузоподъемности

$Y_{\Gamma}$	$Q_{\text{ч}}$ т/ч	$t_{\text{тв}}$ , °С	$D_{\text{рем}}$ дни	$D_{\text{р.г.}}$ дни	$T_{\text{р.г.}}$ ч.	$Q_{\Gamma}$ т	$Z_{\text{рем}}$ руб.	$Z_{\text{уд}}$ руб/т	$k_{\Gamma}$	$k_{\text{с.э.}}$
0,5	62,1	126,9	10,6	332,3	7976,4	495309,9	226707,3	0,457708	0,97	0,011
0,6	74,5	129,6	12,4	330,6	7934,9	591281,9	254715,4	0,430785	0,966	0,013
0,7	86,9	132,3	14,4	328,6	7886,8	685638,8	286183,6	0,417397	0,960	0,014
0,8	99,3	135,0	16,7	326,3	7830,7	778022,5	321539,6	0,413278	0,954	0,016
0,9	111,7	137,7	19,4	323,6	7765,6	864266,7	361263,5	0,418	0,947	0,018
1	124,2	140,4	22,6	320,5	7689,9	955074,0	405895,1	0,427	0,938	0,020
1,1	136,6	143,2	26,2	316,7	7602,0	1034105,4	456040,5	0,441	0,928	0,023
1,2	149,0	145,9	30,5	312,5	7499,8	1116298,7	512381,1	0,459	0,916	0,025

При определенном значении коэффициента использования

<sup>67</sup>Хорешок, А.А. Надежность горных машин и оборудования: Учеб.пособие / А.А. Хорешок, Г.Д. Буялич, Е.В. Прейс, М.Ю. Блашук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 128 с.

грузоподъемности соотношение затрат на ремонт РМК и производительности автосамосвала будет таковым, что зависимость удельных затрат от КИГ примет вид параболы, а значит будет иметь минимум, при котором коэффициент использования грузоподъемности является рациональным (рис. 4.6).

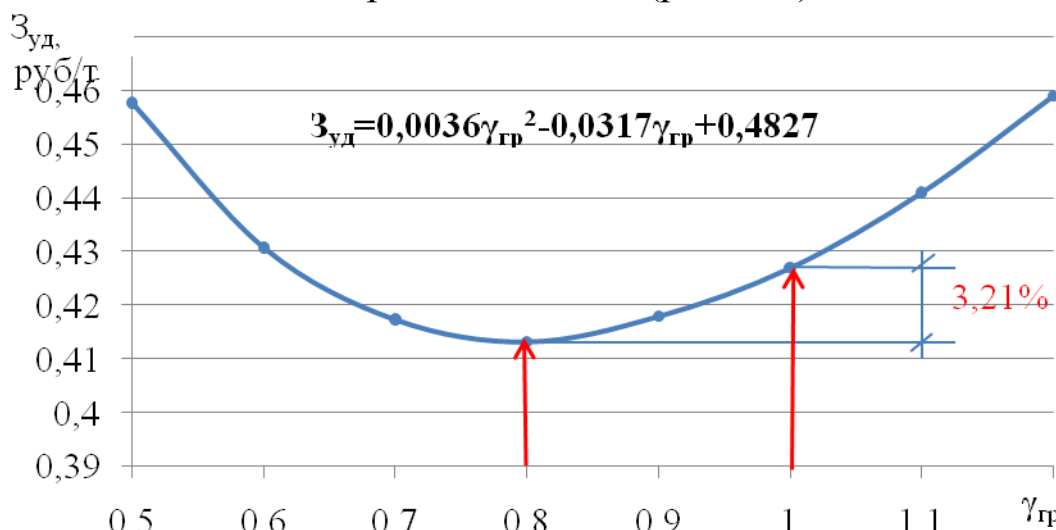


Рисунок 4.6 – Зависимость удельных затрат ( $Z_{уд}$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ) (1-ый пример)

Таким образом, при эксплуатации автосамосвалов при данных условиях рациональным по минимуму удельных затрат, является коэффициент использования грузоподъемности, равный 0,8. То есть при уменьшении КИГ с 1,0 до 0,8: температура масла снизилась на 3,86 %, продолжительность простоя в ремонте за год сократилась на 6 дней; коэффициент технической готовности вырос на 1,68 %, а удельные затраты сократились на 3,21 %<sup>68</sup>.

Далее оценим влияния коэффициента использования грузоподъемности на рассчитанные показатели (рис. 4.7 – 4.10).

На графике, изображенном на рисунке 4.7 прямопропорциональная возрастающая зависимость годовой производительности автосамосвала ( $Q_2$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ).

<sup>68</sup>Стенина, Н.А. Оценка влияния коэффициента использования грузоподъемности на показатели эффективности эксплуатации автосамосвалов / Н.А. Стенина, Д.В. Стенин, А.А. Хорешок // Современные проблемы методологии и инновационной деятельности: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции ученых, аспирантов, специалистов и студентов. – Новокузнецк, филиал КузГТУ, 2012. – С. 123-126.

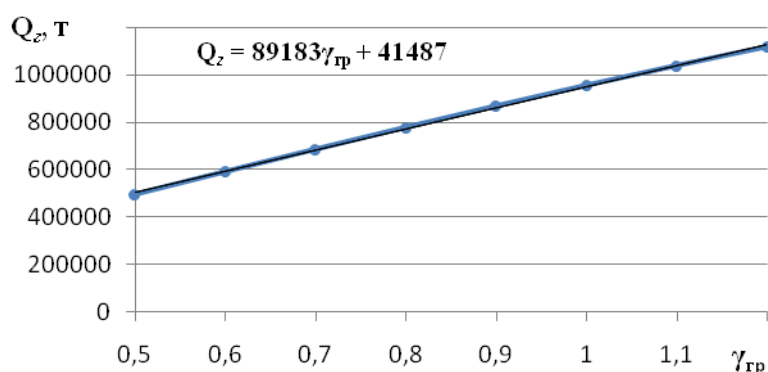


Рисунок 4.7 – Зависимость годовой производительности автосамосвала ( $Q_z$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ )

На графике, изображенном на рисунке 4.8 прямопропорциональная возрастающая зависимость продолжительности простоя автосамосвалов в ремонте ( $D_{рем}$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ).

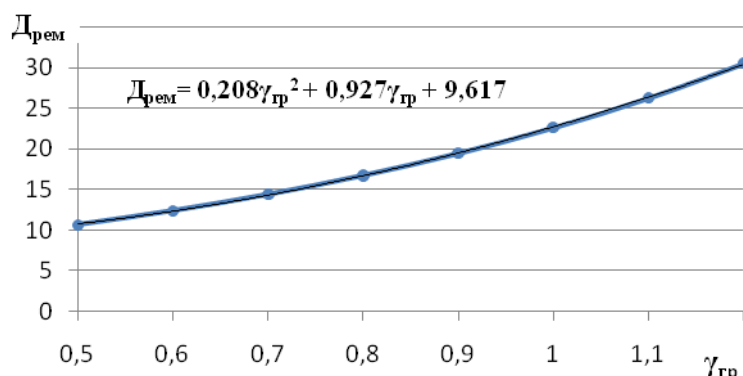


Рисунок 4.8 – Зависимость продолжительности простоя автосамосвалов в ремонте ( $D_{рем}$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ )

На графике, изображенном на рисунке 4.9 прямопропорциональная возрастающая зависимость затрат на ремонт автосамосвалов ( $Z_{рем}$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ).

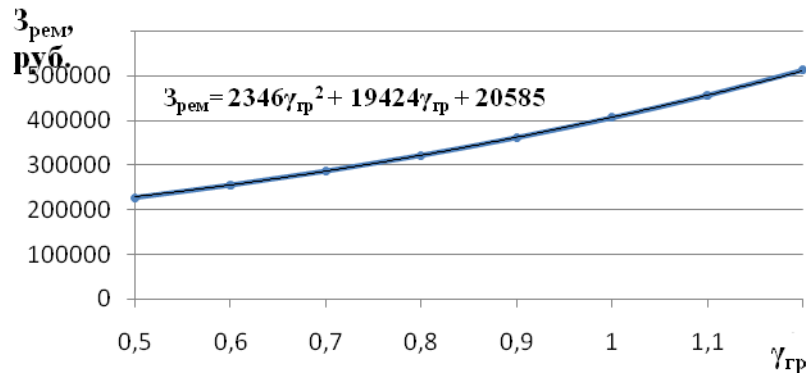


Рисунок 4.9 – Зависимость затрат на ремонт автосамосвалов ( $Z_{рем}$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ )

На графике, изображенном на рисунке 3.10 прямопропорциональная убывающая зависимость коэффициента готовности ( $k_r$ ) автосамосвалов от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ).

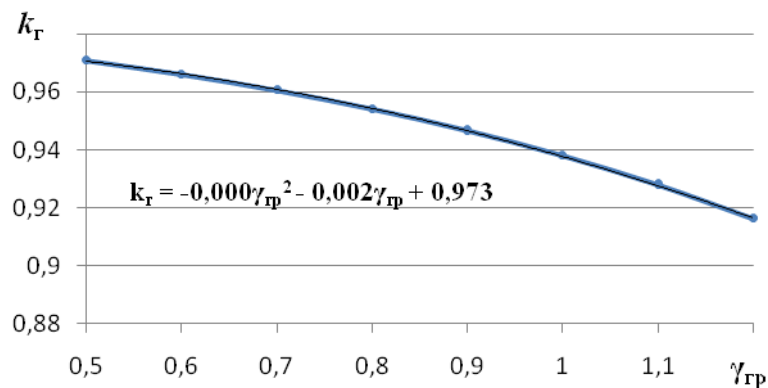


Рисунок 4.10 – Зависимость коэффициента готовности ( $k_r$ ) автосамосвалов от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ).

С одной стороны, увеличение КИГ влечет за собой рост производительности. Но только часовой, сменной или суточной, т. е. за небольшой период времени, когда на величину производительности еще не влияет надежность РМК (рис.4.7). С другой стороны, рост коэффициента использования грузоподъемности (а в некоторых случаях и перегруз автосамосвалов) вызывает увеличение температуры масла в редукторах, и, как следствие, снижение их надежности, рост числа отказов, а значит повышение простоев в ремонте, затрат на ремонт и уменьшение коэффици-

ента готовности (табл. 4.2).

Таким образом, чем меньше КИГ, тем лучше перечисленные показатели эффективности использования автосамосвалов. Однако при недогрузе автосамосвалов значительно снижается их производительность.

Рассчитаем и приведем пример расчета рационального коэффициента загрузки по минимуму удельных затрат по разработанной методике.

*Результаты определения рационального коэффициента использования грузоподъемности для другого маршрута на ОАО «Талдинский угольный разрез» представлен в табл. 4.3 и на рис. 4.11.*

Исходные данные:

- марка автосамосвала – БелАЗ-75302;
- средняя техническая скорость – 14 км/ч;
- длина груженой ездки – 3 км;
- средний продольный уклон дороги – 3 %;
- температура окружающей среды – -10 °С.

Таблица 4.3 – Результаты определения рационального коэффициента использования грузоподъемности

$U_{гр}$	$Q_{ч}$ , т/ч	$t_{д}$ , °С	$D_{рен}$ , дни	$D_{рл}$ , дни	$T_{рл}$ , ч.	$Q_{г}$ , т	$Z_{рен}$ , руб.	$Z_{уд}$ , руб./т	$k_{г}$	$k_{с.э.}$
0,5	175	79,4	0,8	342,2	8213,7	140693,1	29404,85	0,209	0,998	0,0017
0,6	210	82,1	0,9	342,1	8210,7	166018,1	33037,61	0,199	0,997	0,0016
0,7	245	84,8	1,0	341,9	8207,3	193833,8	37119,18	0,1915	0,997	0,0018
0,8	280	87,5	1,2	341,8	8203,3	225432,4	41704,99	0,185	0,996	0,0020
0,9	315	90,2	1,4	341,6	8198,6	258252,5	46857,34	0,18144	0,996	0,0023
1	350	92,9	1,6	341,4	8193,2	283044,2	52646,23	0,186	0,995	0,0026
1,1	385	95,7	1,9	341,1	8186,9	301787,2	59150,3	0,196	0,994	0,0029
1,2	420	98,4	2,2	340,8	8179,5	319509,1	66457,9	0,208	0,994	0,0033

Зависимость удельных затрат от коэффициента использования грузоподъемности представлена на графике, изображенном на рис. 4.11.



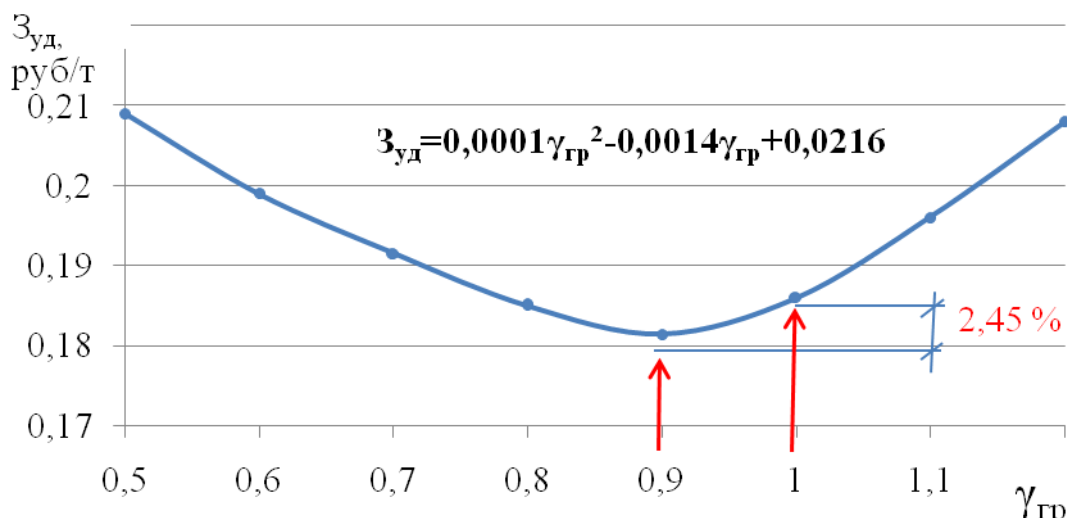


Рисунок 4.11 – Зависимость удельных затрат ( $Z_{уд}$ ) от коэффициента использования грузоподъемности ( $\gamma_{гр}$ ) (2-ой пример)

Таким образом, при эксплуатации автосамосвалов в данных условиях рациональным по минимуму удельных затрат является коэффициент использования грузоподъемности, равный 0,9. При этом температура масла повысилась на 3 %, продолжительность простоя в ремонте за год не изменилась; коэффициент технической готовности снизился на 0,1 %, но за счет роста производительности удельные затраты сократились на 2,45 %.

Необходимо отметить, что в каждом конкретном случае значение рационального коэффициента использования грузоподъемности свое и зависит от условий эксплуатации.

Таким образом зависимость удельных затрат от КИГ описывается уравнением 2-ого порядка:

$$Z_{уд} = a \cdot \gamma_{гр}^2 - b \cdot \gamma_{гр} + c, \quad (4.33)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, учитывающие условия эксплуатации горнотранспортного оборудования.

Следовательно, критерий выбора рационального коэффициента использования грузоподъемности выглядит следующим образом:

$$\frac{Z_{рем}}{Q_r} = \min \rightarrow \gamma_{гр}^{рац}, \quad (4.34)$$

По методике определения рационального коэффициента использования грузоподъемности были рассчитаны следующие показатели:

Для марки автосамосвала *БелАЗ-75131* ( $q_n=130\text{ т}$ )

При минимальных удельных затратах и температуре масла не превышающей критическое значение  $t_m=120\text{ }^\circ\text{C}$ :

Для минимальных значений исследуемых показателей:

длина ездки с грузом  $L_{ег}=2\text{ км}$ ;

продольный уклон  $i=1\text{ }^\circ\text{‰}$ ;

Рациональный коэффициент использования грузоподъемности примет значение  $\gamma_{зр}=0,8$ ; при  $t_{oc}$  до  $+25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для средних значений исследуемых показателей:

длина ездки с грузом  $L_{ег}=4\text{ км}$ ;

продольный уклон  $i=3\text{ }^\circ\text{‰}$ ;

Рациональный коэффициент использования грузоподъемности примет значение  $\gamma_{зр}=0,8$ ; при  $t_{oc}$  до  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для максимальных значений исследуемых показателей:

длина ездки с грузом  $L_{ег}=11\text{ км}$ ;

продольный уклон  $i=5\text{ }^\circ\text{‰}$ ;

Рациональный коэффициент использования грузоподъемности примет значение  $\gamma_{зр}=0,8$ ; при  $t_{oc}$  до  $+15\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для марок автосамосвалов *БелАЗ-75302, -306* ( $q_n=220\text{ т}$ )

Для минимальных значений исследуемых показателей:

длина ездки с грузом  $L_{ег}=2\text{ км}$ ;

продольный уклон  $i=1\text{ }^\circ\text{‰}$ ;

Рациональный коэффициент использования грузоподъемности примет значение  $\gamma_{зр}=0,8$ ; при  $t_{oc}$  до  $+22\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для средних значений исследуемых показателей:

длина ездки с грузом  $L_{ег}=4\text{ км}$ ;

продольный уклон  $i=3\text{ }^\circ\text{‰}$ ;

Рациональный коэффициент использования грузоподъемности примет значение  $\gamma_{зр}=0,8$ ; при  $t_{oc}$  до  $+21\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для максимальных значений исследуемых показателей:

длина ездки с грузом  $L_{ег}=11\text{ км}$ ;

продольный уклон  $i=5\text{ }^\circ\text{‰}$ ;

Рациональный коэффициент использования грузоподъемности примет значение  $\gamma_{зр}=0,8$ ; при  $t_{oc}$  до  $+16\text{ }^\circ\text{C}$ .

Полученные данные сведем в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Расчетные данные для исследуемых марок автосамосвалов исследуемых показателей

Показатель	БелАЗ-75131			БелАЗ-75302, -306		
	Мин.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.	Макс.
$L_{гр}$ , км	2	4	11	2	4	11
$i$ , ‰	1	3	5	1	3	5
$\gamma_{гр}$	0,8			0,9	0,8	
$t_{ос}$ , °С	до +25	до +20	до +15	до +22	до +21	до +16

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Зависимости удельных затрат, количества отказов и дней простоя в ремонте от температуры масла в РМК карьерных автосамосвалов описываются экспоненциальными функциями:

$$n_{отк} = 0,0034 \cdot e^{0,055 \cdot t_M}$$

$$D_{рем} = 0,0093 \cdot e^{0,0555 \cdot t_M}$$

$$Z_{рем} = 967,2916 \cdot e^{0,043 \cdot t_M}$$

2. При отклонении температуры масла от критического значения 120° до минимального 95°, количество отказов снижается на 25 %, при увеличении до максимального значения 161° – увеличивается в 9 раз.

3. Зависимость удельных затрат от коэффициента использования грузоподъемности является параболической, имеет минимум при рациональном значении коэффициента и описывается уравнением второго порядка:

$$Z_{уд} = a \cdot \gamma_{гр}^2 - b \cdot \gamma_{гр} + c$$

4. Рациональное значение коэффициента использования грузоподъемности с учетом температурного режима РМК и условий эксплуатации выбирается по минимуму удельных затрат, учитывающих производительность и надежность карьерных автосамосвалов. При уменьшении коэффициента использования грузоподъемности до 0,8 снижается количество отказов на 25,7 %, затраты на ремонт РМК на 20,8 %, температура масла РМК на 3,21 % (от 140,4 °С до 135 °С).

## 5 ВЛИЯНИЕ ПРИСАДОК И ДОБАВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЕЙ

### 5.1 Влияние продуктов сгорания автомобильных двигателей на окружающую среду

Во всех экономически развитых странах мира автомобильный транспорт по объему перевозок занимает ведущее место; в большинстве стран он даже лидирует по транспортной работе. Автомобильный парк мира непрерывно увеличивается и превышает 400 млн. ед. Однако при таком значительном увеличении масштабов и росте темпов автомобилизации возникает ряд серьезных проблем, связанных с вредными для окружающей среды и общества последствиями, которые сопровождают этот процесс.

Многогранность автомобилизации как сложной социально-технико-экономической системы определяет многосторонность ее взаимных связей с окружающей средой. Подход современной науки к общим проблемам отношений человека и природы позволил классифицировать эти связи на три основных направления: потребление ресурсов, загрязнение окружающей среды и негативные социальные последствия. Основные фрагменты данной классификации показаны на рис. 5.1.<sup>69</sup>



Рисунок 5.1 –Классификация отрицательных последствий автомобилизации

<sup>69</sup> Дьяков, А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А.Б. Дьяков, Ю.В. Игнатъев, Е.П. Коншин и др.; Под ред. А.Б. Дьякова. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.

Далее построено дерево целей и дерево систем (рис. 5.2. и 5.3.) повышения экологичности автомобильного автотранспортных средств (АТС) и проследим их взаимодействие. Выявим наиболее подвижные, управляемые и ресурсосберегающие факторы из дерева систем. Как видно из рисунка такими факторами будут добавление присадочных материалов при производстве ГСМ и совершенствование существующих систем питания двигателей.

Снижение отрицательного последствия автомобилизации прежде всего прерогатива государства и движение в этом направлении в странах мирового сообщества идет.

В последние годы, начиная с 80-х и особенно в 90-е и начале XXI века, к физико-химическим, эксплуатационным и главным образом к экологическим свойствам автомобильных бензинов стали предъявлять очень жесткие требования. Были последовательно утверждены стандарты EN 228/1993 и EN 228/1999, в которых жестко регламентированы такие показатели моторных топлив, как содержание свинца, серы, ароматических углеводородов, и особенно бензола, установлены классы испаряемости, а также европейские нормы на содержание токсичных веществ в отработавших газах автомобилей, начиная от EURO-1 и до EURO-5, в которых определены предельно допустимые выбросы оксида углерода, оксидов азота, несгоревших углеводородов в отработавших газах<sup>70</sup>.

В 2004 г. в странах Западной Европы действовали нормы EURO-3, с 2005 г. введены нормы EURO-4 и с 2008 г. – EURO-5. В нашей стране качественные показатели бензинов регламентируются ГОСТ 51105 – 97, который с некоторыми приближениями соответствует нормам EURO-2 и ГОСТ 51866 – 2002, который является аутентичным переводом EURO-3. Внедрение европейских норм в России отстает от европейских стран на 5 – 6 лет.

---

<sup>70</sup>Луканин, В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда – 2: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яшина; Под ред. В.Н. Луканина. – М.: ИН-ФРА-М, 2001. – 646 с.

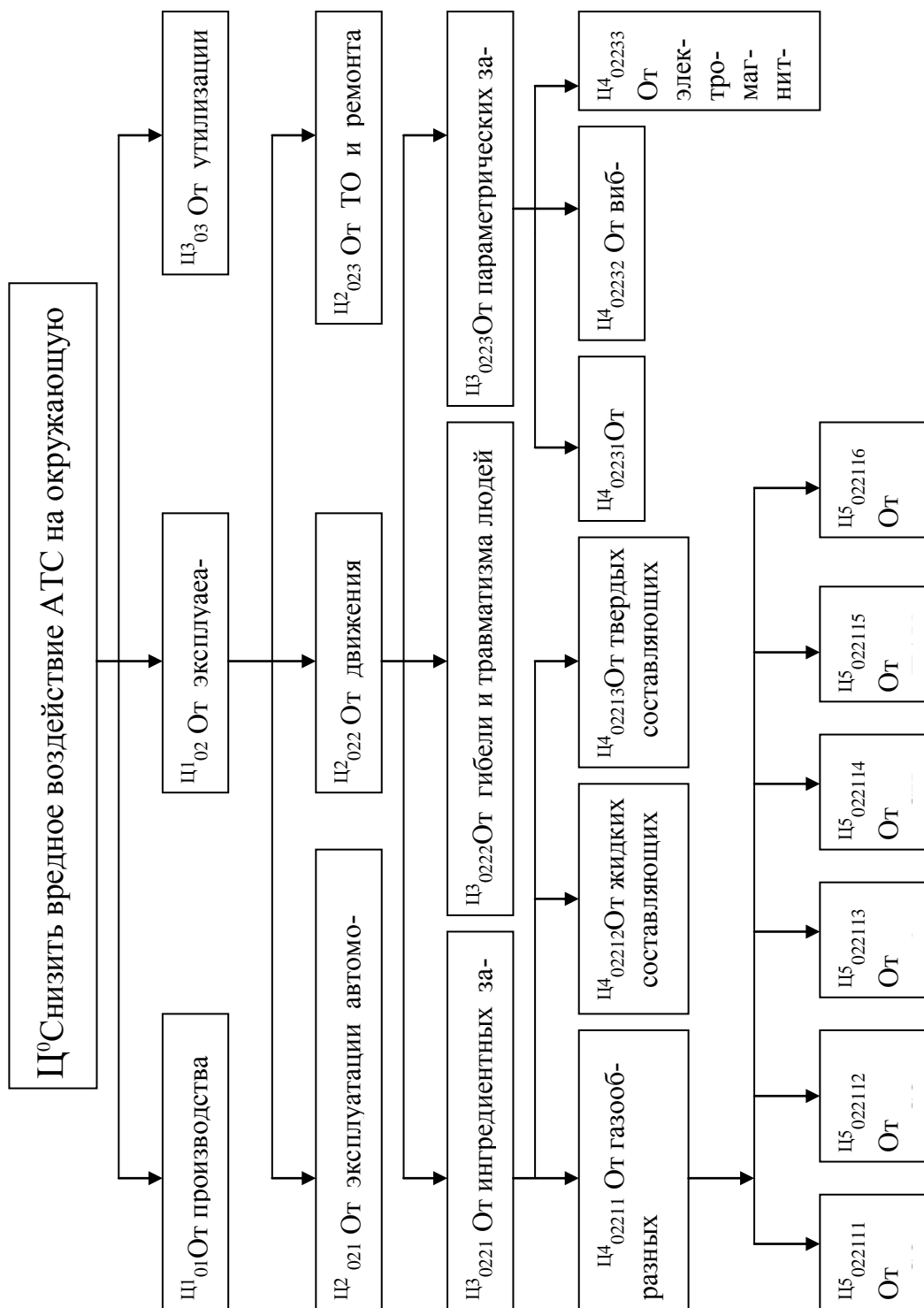


Рисунок 5.2 – Дерево целей повышения экологичности автомобильного транспорта



В США министерство энергетики создало фонд (70 млн долл.) и выбрало 16 фирм и институтов в 9 штатах для проведения исследований в области топливных камер и двигателей<sup>71</sup>. Политика США в настоящее время направлена на развитие топливного этанола. Преимущество этанола состоит в том, что он хорошо заменяет МТВЕ-присадку и к тому же разлагается микроорганизмами. Он отвечает всем стандартам по озоновым загрязнениям.

В связи с непрерывным увеличением парка автомобилей все большее значение приобретает проблема уменьшения токсичности отработавших газов автомобилей. Общая мощность автомобильных двигателей в мире около 25 млрд кВт, для приведения их в движение расходуется топлива примерно 200 г/кВт-ч. В воздухе крупных городов мира от 50 до 90 % вредных веществ составляют отработавшие газы автомобилей. В среднем один легковой автомобиль в окружающую среду выбрасывает около 60 м<sup>3</sup>/ч, а грузовой – 120 м<sup>3</sup>/ч отработавших газов. В отработавших газах автомобилей содержится до 200 веществ, часть из которых токсична. Токсичность отработавших газов обусловлена не полным сгоранием топлива и окислением азота воздуха. Среди токсичных веществ в выхлопных газах у карбюраторного двигателя преобладает окись углерода (CO) 60 – 75 %, окись и двуокись азота (NO<sub>x</sub>) 20 – 30 %, углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) 5 – 15 % и сернистый (SO<sub>2</sub>) и серный (SO<sub>3</sub>) газы 3 – 7 %. Только чрезвычайно ядовитой окиси углерода (CO) одна тысяча автомобилей выбрасывает более 5000 м<sup>3</sup>/ч. При сжигании в автомобильном двигателе 1 т бензина образуется 180 – 300 кг окиси углерода, 20 – 40 кг углеводородов и 25 – 45 кг оксидов азота.

Окись углерода – газ без цвета и запаха; образуется в результате неполного сгорания топлива в двигателе. В отработавших газах двигателей с искровым зажиганием в зависимости от регулировки карбюратора и технического состояния двигателя содержание окиси углерода (CO) колеблется в пределах 0,1 – 10 % по объему.

Оксиды азота состоят в основном из окиси (NO) и двуокиси (NO<sub>2</sub>) азота. Окись азота – бесцветный газ, двуокись азота – газ

---

<sup>71</sup> Michael, P. Walsh. Car lines, Virginia, 1999.



красновато-бурого цвета с характерным запахом. Оксиды азота образуются в двигателе при высокой температуре сгорания топлива. С окисью углерода окислы азота находятся в обратной зависимости: при увеличении количества окиси углерода количество окислов азота уменьшается и наоборот.

Серный и сернистый газы; их количество в выхлопных газах зависит от содержания в топливе серы и сернистых соединений

Углеводороды подразделяются на предельные, непредельные и ароматические, в их числе есть и канцерогенные. Среди канцерогенов наиболее опасным является 3,4-бенз- $\alpha$ -пирен. Появление углеводородов в отработавших газах связано с разложением и неполным окислением углеводородов топлива в двигателе. Содержание углеводородов в отработавших газах во многом зависит от технического состояния и регулировки двигателя. На холостом ходу их содержание колеблется от 100 до 5000 млн<sup>-1</sup> и более<sup>72</sup>.

Предельно допустимое содержание окиси углерода и углеводородов нормируется ГОСТ 17.2.2.03-87 «Охрана природы. Атмосфера» (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Предельно допустимое содержание токсичных веществ в отработавших газах

Режим проверки по частоте вращения коленчатого вала двигателя	Окись углерода, объемная доля в % (при регулировке)	Углеводороды (объемная доля, млн <sup>-1</sup> ) для двигателей с числом цилиндров	
		до четырех (включительно)	более четырех
Минимальная	1,5	1200	3000
Повышенная	2,0	600	1000

## 5.2 Способы улучшения эксплуатационных свойств моторных топлив

Для улучшения эксплуатационных свойств бензинов существует два направления:

- 1) изомеризация алканов в процессе каталитического реформинга на НПЗ с целью повышения октанового числа;
- 2) введение добавок и присадок к низкооктановым бензинам.

<sup>72</sup> Масленников, Р.Р. Эксплуатационные материалы. – Кемерово, 2002. – 215с.

Ассортимент добавок и присадок к топливам необычайно расширился и включает около сорока типов присадок к топливам. Их общий ассортимент насчитывает несколько десятков тысяч товарных марок. В России присадки к топливам стали применяться позже, чем в других странах, поэтому их число не так велико, а возможности используются не в полной мере.

В связи с этим предложена классификация, объединяющая известные присадки в несколько основных групп<sup>73</sup>:

I. Присадки, улучшающие энергетические свойства топлив и процесс их сгорания в двигателях: антидетонаторы и сопровождающие их противонагарные присадки к бензинам («модификаторы» нагаров); улучшающие процесс сгорания среднедистиллятных и остаточных топлив (повышающие полноту сгорания среднедистиллятных топлив, уменьшающие количество отложений при сгорании остаточных топлив, противодымные присадки, присадки для уменьшения периода задержки самовоспламенения топлив).

II. Присадки, способствующие сохранению свойств топлив при их хранении, транспортировке и использовании в двигателях; антиокислительные; деактиваторы металлов; диспергирующие.

III. Присадки, предотвращающие вредное воздействие топлив на топливную аппаратуру, трубопроводы и емкости: противоизносные; противокоррозионные.

IV. Присадки, облегчающие эксплуатацию двигателей при низких температурах: противообледенительные, в том числе предотвращающие образование кристаллов льда в авиационных топливах; улучшающие низкотемпературные свойства топлив (депрессорные).

V. Присадки различного назначения: повышающие электропроводность топлив (антистатические), биоциды, красители, коагулянты, присадки для ускорения приработки деталей двигателей и др.

Известны присадки, способные выполнять в топливе несколько функций, например противокоррозионные, антиокисли-

---

<sup>73</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей. – М.: Химия, 2000. – 232 с.

тельные, противоизносные или диспергирующие одновременно. Однако соединить в одном веществе все желательные свойства вряд ли возможно, Поэтому все большую роль приобретает разработка композиции присадок. Эти композиции должны быть эффективными и экономичными; при этом желательно, чтобы содержание компонентов было минимальным. Ключом к решению такой проблемы может служить явление синергизма, которое в последние годы привлекает все большее внимание исследователей. Создание присадок – синергистов, имеющих в смеси эффект, больший, чем можно ожидать по правилу аддитивности, позволяет подобрать композиции, в которых очень малые количества компонентов позволяют решить несколько химмотологических проблем.

В работе коллектива авторов под руководством Вишняковой Т.П.<sup>74</sup> предложена несколько иная классификация присадок. Предлагается подразделять присадки на *стабилизаторы* (позволяющие сохранять физико-химические и эксплуатационные свойства, присущие самим топливам) и *модификаторы*, придающие топливам новые качества. Последние, кроме того, разделяются на модификаторы радикального и коллоидно-химического характера, что удобно при подробном изучении механизма действия.

Применение эффективных присадок и их композиций к топливам часто ограничивается второстепенными, но практически важными требованиями к ним. Присадка должна: быть доступной и недорогой; сгорать в топливе без отложений; растворяться в топливе или его компонентах; не ухудшать другие свойства топлива; быть устойчивой в топливе при любых эксплуатационных условиях; совмещаться с другими присадками, необходимыми для топлива данного типа.

Спецификациями на некоторые топлива уже допускается добавление к ним нескольких присадок различного или одного и того же назначения, а в ряде спецификаций содержатся требования об обязательном добавлении присадок того или иного типа

---

<sup>74</sup> Вишнякова, Т.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив / Т.П. Вишняков, И.А. Голубева, И.Ф. Крылов, О.П. Лыков // М.: Химия. – 1990. – 152с.

(например, противообледенительной, антиокислительной, антистатической, противокоррозионной и т. д.)

Производство современных высококачественных топлив без добавления присадок вряд ли можно признать рациональным.

Далее представлена характеристика присадок.

### *Антидетонационные присадки*

Антидетонаторами называют вещества, которые при добавлении к бензину в относительно небольших количествах значительно повышают его детонационную стойкость<sup>75</sup>.

Наиболее эффективные антидетонаторы найдены среди органических производных свинца, олова, таллия, висмута, селена, теллура, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, хрома и других металлов. В частности, как антидетонаторы были изучены алкилы металлов, их карбонилы, внутриккомплексные соли, соединения «сэндвичевого» строения и т.д.<sup>76</sup>

Принцип действия антидетонаторов заключается в предотвращении взрывного разложения продуктов предпламенного окисления топлива, происходящего до начала нормального горения топливной смеси. При ее сжатии в камере сгорания развивается высокая температура, углеводороды начинают окисляться и образуют большое количество пероксидов. Будучи химически неустойчивыми, пероксиды со взрывом разлагаются. Антидетонаторы разрушают пероксиды и препятствуют их накоплению. Механизм реакций, протекающих в присутствии антидетонаторов, до конца не выяснен<sup>77</sup>. Полагают, что соединения переходных металлов в камере сгорания образуют ультрадисперсные (1,5 – 30 мкм) оксиды, взаимодействующие с пероксидами<sup>78</sup>. Правда, пока не удалось объяснить тот факт, что некоторые металлы (германий, хром) выступают как продетонаторы.

Поэтому следует принять во внимание и другую гипотезу, которая основывается на известной связи между антидетонаци-

---

<sup>75</sup> Емельянов, В.Е. Антидетонационные присадки к автомобильным бензинам / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов // «Мир нефтепродуктов». – 2004. – №5. – С. 44-45.

<sup>76</sup> Гуреев, А.А. Автомобильные эксплуатационные материалы / А.А. Гуреев, Р.Я. Иванова, Н.В. Щеголев. – М.: «Транспорт», 1974. – 275 с.

<sup>77</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.

<sup>78</sup> Гуреев, А.А. Применение автомобильных бензинов. – М.: Химия, 1972. – 364 с.

онным эффектом металлов и их потенциалом ионизации<sup>79</sup>: чем этот потенциал меньше, тем легче продукты сгорания образуют слабоионизированную плазму, обладающую высокой теплопроводностью. Это, в свою очередь, предотвращает местные перегревы горючей смеси и ее взрывное горение. Механизм действия антидетонаторов на основе щелочных металлов иной, так как они, в отличие от переходных металлов, не могут образовывать несколько оксидов разного состава.

Характеристикой антидетонатора является также его влияние на коэффициент распределения детонационной стойкости ( $K_{рдс}$ ) бензина, который представляет собой отношение ОЧ фракции бензина, выкипающей от начала кипения до 100 °С, к ОЧ фракции, выкипающей от 100 °С до конца кипения. Важность этого показателя обусловлена фракционированием бензина во впускной системе, вследствие которого в разные цилиндры попадают порции бензина, различающиеся между собой по температуре выкипания. В идеале  $K_{рдс}$  приближается к 1. Приходится учитывать влияние разных антидетонаторов на  $K_{рдс}$ . Например, МЦТМ, выкипающий при 233 °С, концентрируется в тяжелых фракциях бензина, которые и без того имеют достаточно высокое октановое число (за счет более высокого содержания ароматических углеводородов), и тем самым понижает  $K_{рдс}$ . Метанол, этанол и окись пропиленов кипят до 100 °С, поэтому они повышают  $K_{рдс}$ . Показатель  $K_{рдс}$  важен при использовании бензинов в карбюраторных двигателях и практически не имеет значения для двигателей с непосредственным впрыском топлива<sup>80</sup>.

*Антидетонаторы на основе переходных металлов.*

Наибольшее распространение получили алкилсвинцовые, марганцевые и антидетонаторы на основе соединений железа. Принцип их действия одинаков и может быть описан уравнением



*Алкилсвинцовые антидетонаторы.* Наиболее эффективной антидетонационной присадкой до конца XX столетия являлся

<sup>79</sup>Лернер, М.О. Химические регуляторы горения моторных топлив. – М.: Химия. – 1979. – 221 с.

<sup>80</sup>Данилов, А. М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.

тетраэтилсвинец (ТЭС). Способность ТЭС подавлять детонацию была открыта в 1921 г., а с 1923 г. начался массовый промышленный выпуск этого антидетонатора. В настоящее время в интересах экологической безопасности применение ТЭС повсеместно прекращается.

Соединения свинца, попадая с отработавшими газами в атмосферу, наносили невосполнимый ущерб людям, животному миру, памятникам культуры, одним словом, окружающей среде. Кроме того, они дезактивировали каталитические нейтрализаторы выхлопных газов. Поэтому применение этилированных бензинов в России с 2000 г. было приостановлено, а с 1 июня 2003г. указом президента РФ запрещено.

*Марганцевые антидетонаторы.* Относятся к новым, так называемым «сэндвичевым» соединениям, представляющим собой два циклопентадиенильных кольца, между которыми расположены атомы переходного металла – марганца, никеля, кобальта, железа и др. В марганцевых антидетонаторах переходным металлом является марганец. Наиболее эффективны два марганцевых «полусэндвича» – циклопентадиенилтрикарбонилмарганец (ЦТМ) –  $C_5H_5Mn(CO)_3$  и его метильное производное (МЦТМ).

Марганцевые антидетонаторы (МА) в 300 раз менее токсичны, чем ТЭС. Хорошо растворимы в бензине и практически нерастворимы в воде. При низких температурах из бензиновых растворов не выпадают.

Эффективность МА в различных бензинах приблизительно одинакова со свинцовыми антидетонаторами. В присутствии МА увеличивается полнота сгорания бензинов и снижается токсичность отработавших газов. Общий износ и коррозия деталей от введения в бензин МА не изменяются. Нагарообразование в двигателе незначительно, преждевременное воспламенение почти отсутствует. Однако при работе на бензине с МА образующийся нагар вызывает перебой в работе свечей зажигания за счет утечки тока по поверхности изолятора свечи и образование токопроводящих нитей между электродами свечи. Продукты сгорания марганца имеют высокую электропроводность, возрастающую с повышением температуры. Проводятся исследования по изысканию преобразователей нагара, изменению конструкции свечей, применению новых материалов для изоляторов и электродов свечей.

Марганецсодержащие антидетонаторы в сочетании с преобразователями нагара и антидетонационными спиртовыми добавками, и азотосодержащими соединениями рассматриваются как перспективные средства улучшения качеств товарных бензинов.

*Антидетонаторы на основе соединений железа.* Высокими антидетонационными свойствами обладает пентакарбонилжелезо (ПКЖ), которое представляет собой не растворимую в воде жидкость бледно-желтого цвета с температурой кипения 102,5°C и температурой плавления – 21°C. На свету соединение разлагается с выделением твердого нерастворимого осадка Fe(CO)<sub>5</sub>, который при соприкосновении с воздухом самовоспламеняется. Эффективность ПКЖ как антидетонатора на 15 – 20% ниже, чем ТЭС. При сгорании ПКЖ образуется окись железа, отлагающаяся в камере сгорания в виде легкоподвижного осадка с высокими абразивными свойствами, увеличивающими износ<sup>81</sup>.

В качестве антидетонаторов исследуются комплекс диизобутилена с пентакарбонилжелезом (ДИБ-ПКЖ) и дициклопентадиенилжелезо (ферроцен).

Ферроцен (C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)Fe – металлоорганическое соединение, так называемого «сэндвичевого строения». Это легковоспламеняющаяся кристаллический порошок с температурой плавления 174°C. Ферроцен более активен, чем ДИБ-ПКЖ и ПКЖ. Внедрению ферроцена препятствует отсутствие эффективных выносителей для окиси железа. При использовании железосодержащих антидетонаторов без выносителей концентрация Fe в бензине не должна превышать 37 мг на 1 дм<sup>3</sup><sup>82</sup>.

Железосодержащие присадки на сегодня являются одним из наиболее приемлемых способов повышения антидетонационной стойкости бензинов. Они экологичны, относительно дешевы, прошли испытания на ведущих автозаводах АМО «ЗИЛ» и АО «АвтоВАЗ», в институтах НАМИ и НИИАТ. *Антидетонаторы на основе аминов.* Антидетонационный эффект аминсоединений проявляется при больших концентрациях их в бензинах. На первом месте стоят ароматические амины – производные анилина.

---

<sup>81</sup>Сафонов, А.С. Автомобильные топлива / А.С. Сафонов, А.И. Ушаков, И.В. Чечкеев. – С.-Петербург, 2002. – 264с.

<sup>82</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей. – М.: Химия, 2000. – 232 с.

Анилин  $C_6H_5NH_2$  представляет собой жидкость с температурой кипения  $184^{\circ}C$  и температурой плавления  $-6^{\circ}C$ . Долгое время служил эталоном для оценки антидетонационной стойкости бензинов («анилиновый эквивалент»). Существенный недостаток анилина – ограниченная растворимость в бензине и токсичность.

Для улучшения растворимости анилина в бензинах применяются стабилизаторы. Наилучшим стабилизатором является бутиловый спирт<sup>83</sup>.

Производные анилина (монометиланилин, ксилидины) использовали в качестве ракетного топлива, но в качестве антидетонационной добавки к бензинам их стали применять только в последние годы в связи с ограничениями на металлосодержащие антидетонаторы. Повышение октанового числа с помощью ароматических аминов значительно дороже, чем использование металлоорганических соединений<sup>84</sup>. В конце второй мировой войны ксилидин применялся в США и Англии в качестве антидетонационной присадки к авиационным бензинам в количестве до 2%<sup>85</sup>.

### ***Моющие и многофункциональные присадки***

Одним из наиболее эффективных методов снижения содержания токсичных веществ в отработавших газах автомобилей является использование моющих присадок.

Моющие присадки вводятся в моторное топливо для улучшения их эксплуатационных и экологических свойств, которые принципиально не могут быть улучшены совершенствованием технологических процессов производства автомобильных бензинов.

Моющие присадки были разработаны в США в 50-х годах прошлого века и их применение началось с 1954 г. Они предназначались для предотвращения и смывания смолистых отложений в системе подачи топлива в карбюраторных двигателях. Внедрение принудительной системы вентиляции картера в 60-х годах

---

<sup>83</sup> Чулков, П.В. Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители. Справочник. – М.: Политехника, 1998. – 416 с.

<sup>84</sup> Емельянов, В.Е. Антидетонационные присадки к автомобильным бензинам / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов // «Мир нефтепродуктов». – 2004. – №5. – С. 44-45.

<sup>85</sup> Чулков, П.В. Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители. Справочник. – М.: Политехника, 1998. – 416 с.



привело к резкому увеличению количества смолистых отложений на деталях карбюратора и во всасывающем коллекторе, что вызвало рост производства и потребления моющих присадок.

Основными компонентами в этих присадках были продукты взаимодействия жирных кислот и полиалкиленполиаминов, которые в концентрации 0,005 – 0,05% масс.в топливе за счет смывания смолистых отложений с деталей карбюратора и сохранения оптимального соотношения *топливо: воздух* позволяли существенно снизить выброс токсичных веществ с отработавшими газами: оксид углерода (СО) на 15 – 20 %, несгоревших углеводородов (СН) на 20 – 30 %, и обеспечить сокращение расхода топлива на 5 – 7 %.

Кроме того существенно сокращались затраты по обслуживанию автомобилей, связанные с необходимостью периодической очистки системы подачи топлива (карбюратора и всасывающего коллектора) и ее регулировки.

В 80-х годах автомобилестроение за рубежом перешло на выпуск двигателей с инжекторной подачей топлива и системой рециркуляции части отработавших газов, позволяющей снизить содержание токсических веществ в отработавших газах. В таких двигателях на впускных клапанах и распылителях форсунок, работающих в жестком тепловом режиме, образуются губчатые отложения, что приводит к нарушению работы системы подачи топлива, увеличению количества токсичных веществ и несгоревшего топлива в отработавших газах, нарушению работы нейтрализаторов и их преждевременному выходу из строя. Существовавшие в то время моющие присадки с очисткой таких систем подачи топлива не справлялись. Зарубежными компаниями были разработаны моющие присадки, предназначенные для устранения отложений на впускных клапанах, инжекторах и других элементов двигателей с непосредственной подачей топлива. Основными компонентами, обеспечивающими моющее действие этих присадок, являются полибутенамины и полиэфирамины с молекулярной массой 600 – 800, а также минеральные синтетические масла в качестве масел-носителей, усиливающих функциональное действие активных компонентов.

Все эти соединения имеют следующую структуру: полярная голова, маслорастворимая часть и соединительная группа. Все

они беззольны, не содержат металлов и безвредны для катализаторов<sup>86</sup>.

*Пакеты присадок Keropur* (компания BASF) включают несколько компонентов: моющая, антикоррозионная, антиобледенительная присадки, деэмульгатор и растворитель, обладающей высокой термической стабильностью. В совокупности эти компоненты предотвращают образование отложений во впускном патрубке, на инжекторах и впускных клапанах, защищают оборудование и детали автомобиля от коррозии, предотвращают образование эмульсий, т. е. по существу присадки Keropur являются многофункциональными.

Основной компонент – моющий, его содержание в пакете не превышает 25%, и он полибутенамин, не содержащий хлор, с молекулярной массой около 1000 при узком молекулярно-массовом распределении. Рекомендуемая концентрация присадок Keropur составляет от 200 до 600 мг/кг автомобильного бензина (0,02 – 0,06% масс.). В качестве растворителя применяются полиэфир, обеспечивающие растворимость всех компонентов и в определенной степени сами обладающие функциональным действием.

Аналогичными свойствами обладают многофункциональные присадки других компаний (Lubrisol, Shell, Ethil и др.).

В настоящее время за рубежом начинается широкое применение многофункциональных присадок, которые не только обеспечивают чистоту системы подачи топлива, но и снижают отложения непосредственно в камере сгорания двигателя – на стенках цилиндра, на поршнях и т. п. Это позволяет не только сохранять оптимальные условия работы системы подачи топлива, но и приводит к стабилизации требований к октановому числу топлива в процессе эксплуатации двигателя. В состав этих присадок наряду с вышеперечисленными компонентами входят модификаторы нагара, обеспечивающие очистку камеры сгорания от нагара и тем самым позволяющие сохранять степень сжатия топливовоздушной смеси на заданном уровне.

В промышленно развитых странах применение моющих присадок к автомобильным бензинам носит массовый характер, а в

---

<sup>86</sup>Чулков, П. В. Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители. Справочник. – М.: Политехника, 1998. – 416 с.

некоторых является обязательным. Так, в США в соответствии с поправкой к «Закону о чистом воздухе» с января 1995 г. согласно федеральным требованиям все продаваемые в стране автомобильные бензины должны содержать моющие присадки.

В России промышленное производство моющих присадок для автобензинов отсутствовало до середины 90-х годов прошлого века. В эти годы во ВНИИ НП был разработан ряд моющих присадок для автомобильных бензинов – АФЕН, АФЕН-1, АВТОМАГ; в других организациях были разработаны присадки Павлин, Неолин и др. Сравнительные испытания присадки АВТОМАГ с некоторыми зарубежными аналогами показали достаточно высокую эффективность ее моющего действия в карбюраторных двигателях и незначительное влияние этой присадки на отложения в двигателях с инжекторной подачей топлива. Применение присадки АВТОМАГ позволяло снизить в отработавших газах содержание СО на 30 – 50%, СН на 15 – 20%. В ОАО «ВНИИ НП» взамен присадки АВТОМАГ разработаны моющие присадки Автомаг Т и Алькор АВТО и организовано их промышленное производство. По эффективности они превосходят присадку АВТОМАГ.

Вместе с тем актуальной является задача разработки многофункциональных присадок на отечественном сырье для современных двигателей с непосредственной подачей топлива в камеру сгорания<sup>87</sup>. Эта проблема в ближайшие годы станет особенно актуальной в связи с необходимостью организации производства автомобильных бензинов, отвечающих требованиям ЕВРО-3 и ЕВРО-4, в соответствии с которыми применение моющих и многофункциональных присадок в составе автобензинов является обязательным<sup>88</sup>.

### ***Кислородосодержащие добавки (оксигенаты)***

Оксигенаты – собирательное название кислородсодержащих соединений, применяемых в качестве высокооктановых компонентов моторных топлив; оно принято в химмотологической ли-

---

<sup>87</sup> Здоровье населения и окружающая среда г. Кемерово. – Кемерово. – 2002. – 214 с.

<sup>88</sup> Емельянов, В.Е. Производство автомобильных бензинов в России – проблемы и пути их решения / В.Е. Емельянов, С.Р. Лебедев // «Мир нефтепродуктов». – 2000. – №3. – С. 1-2.

температуре. Их вырабатывают из альтернативного нефтяным топливам сырья: метанола, этанола, фракций бутиленов и амиленов, получаемых из угля, газа, растительных продуктов и тяжелых нефтяных остатков. Использование оксигенатов расширяет ресурсы топлив, часто позволяет повысить их качество и снизить токсичность продуктов сгорания. Бензины с оксигенатами характеризуются улучшенными моющими свойствами, характеристиками горения, при сгорании образуют меньше оксида углерода и углеводородов. Основным оксигенатом является МТБЭ, мировое производство и потребление которого составило 26,5 млн.т.

В России оксигенаты вводятся только в автомобильные бензины, чему способствуют их хорошие антидетонационные свойства и температуры кипения, вписывающиеся во фракционный состав бензинов. В других странах, испытывающих недостаток нефтяного сырья, их используют и в дизельных топливах, несмотря на плохую воспламеняемость (исключение составляют диметиловый и диэтиловый эфиры), повышенную коррозионную агрессивность и низкую смазывающую способность. В последние годы в России и за рубежом возник большой интерес к диметиловому эфиру как топливу или компоненту топлив для дизельных двигателей.

Рекомендуемая концентрация оксигенатов в бензинах составляет 3–15 об. % и выбирается с таким расчетом, чтобы содержание кислорода в топливе не превышало 2,7%. Установлено, что добавка такого количества оксигенатов не требует дополнительной регулировки и тем более изменения конструкции существующих двигателей. В 2001 г. в России был введен в действие ГОСТ Р.51866, представляющий собой аутентичный перевод еuronормали EN-228. Согласно этим документам содержание оксигенатов в автомобильных бензинах не может превышать следующих значений (%): метанол – 3, этанол – 5, изопропиловый и изобутиловый спирты – 10, *трет*бутиловый спирт – 7, эфиры C<sub>5</sub> и выше – 15, другие оксигенаты – 10<sup>89</sup>. Ограничение содержания оксигенатов актуально только для карбюраторных двигателей,

---

<sup>89</sup> ГОСТ Р 51866 – 2002 (ЕН 228 – 99) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия».

требующих перерегулировки. Высказывается мнение<sup>90</sup>, что с увеличением парка автомобилей, оборудованных системами электронного впрыска, концентрация этанола в бензинах всех типов может быть доведена до 10% (как в газохоле, используемом в США).

Хотя этиловый спирт в ДВС используется с конца 19 века, его действие как оксигената отдельно не рассматривалось. Считалось, что содержание кислорода в составе кислородсодержащих добавках (спирты, эфиры, альдегиды) не должно превышать 2,5 – 3 %.

В составе так называемых спиртовых топлив этиловый спирт выполняет две основные функции: повышение октанового числа бензина (основной прирост октанового числа наблюдается при содержании спирта в топливе до 10 – 15 %), является горючим компонентом топлива. Содержание спирта в спиртовых топливах варьировалось в широком интервале 10 – 50 % масс.

При переходе на метанол стабилизация смесового топлива усложнялась, даже практически свободный от воды метанол (воды не более 0,05 % масс.) требовал стабилизации с помощью бутиловых спиртов. Особое внимание обращалось на крепость спирта (содержание воды) и способность образовывать гомогенные растворы с бензином при низких температурах. Широко использовали смеси авиабензинов с абсолютизированным этиловым спиртом крепостью 99,9<sup>0</sup>, которые не расслаивались при отрицательных температурах до минус 75 °С.

Рост октанового числа спиртов в ряду C<sub>8</sub> – C<sub>4</sub>– C<sub>1</sub> можно связать с повышением доли кислорода в молекуле спирта. Это хорошо согласуется с действием воды, имеющей максимальную долю кислорода в молекуле, на снижение детонации. Было известно, что спирты и спиртобензиновые смеси мало восприимчивы к добавке тетраэтилсвинца, что могло означать несовпадение маршрутов окисления<sup>91</sup>.

---

<sup>90</sup> Онойченко, С.Н. Новое в применении топлив на автомобильном транспорте / С.Н. Онойченко, В.Е. Емельянов // Сб. статей. М.: НИИАТ, НПСТ «Трансконсалтинг», 2003. – С. 102-105.

<sup>91</sup> Чулков, П.В. Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители. Справочник. – М.: Политехника, 1998. – 416 с.

Николис Г. и Пригожин И.<sup>92</sup> относили процессы горения углеводородов, в том числе этилена и пропилена, к автокаталитическим процессам со сложной системой самоорганизации, включая колебательные циклы по типу реакции Белоусова-Жаботинского. Воздействие на систему достигается изменением концентраций промежуточных продуктов по этапам реакций, а также скорости реакции или температуры. На сегодняшний день не описан механизм действия оксигенатов. Известно только, что метанол улучшает процесс сгорания благодаря образованию радикалов, активизирующих цепные реакции окисления.

Высокое содержание спиртов в спиртобензиновых смесях затрудняет воспламеняемость топлива, поэтому спирты стали заменять эфирами, имеющими большую летучесть (МТБЭ) и низкую температуру воспламенения. В качестве однокомпонентных топлив были изучены циклические эфиры олефинов: окиси этилена и пропилена. Скорость их горения оказалась на много больше, чем углеводородов и превышала таковую для спиртов. Есть американский патент 1963 г.<sup>93</sup>, в котором модификатор воспламенения метилнитрат заменен на окись этилена. При умеренных температурах 300-400 °С окись этилена, по данным Л.Д. Степуховича<sup>94</sup>, ускоряет крекинг алканов до непредельных соединений.

При разработке процессов прямого окисления этилена и пропилена в окиси наряду с целевыми эпоксидами образуется большое количество альдегидов, оксиды углерода и вода. Выход окиси пропилена на много ниже, чем окиси этилена вследствие появления дополнительных цепей окисления. Окисление циклогексена в барьерном разряде может заканчиваться концентрацией эпоксида до 62%<sup>95</sup>.

Предпламенное окисление топлива на примере пропана по Г.Ф. Большакову (рис. 5.4.) проходит стадии первичного и вторичного радикалов пропила, перекисей типа  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OO}\cdot)\text{CH}_3$ ,

<sup>92</sup> Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1990. – 344с.

<sup>93</sup> Altwicker E., Garriett A., пат. США 3106582, 8/X 1963.

<sup>94</sup> Степухович, А.Д. Кинетика и механизм термического крекинга алканов. – Саратов: из-во Саратовского университета, 1965. – 302 с.

<sup>95</sup> Кудряшов, С.В. Окисление углеводородов в реакторе с барьерным разрядом / С.В. Кудряшов, Г.С. Щеглов, Е.Е. Сиротина, А.Ю. Рябов // Материалы IV Международной конференции «Химия нефти и газа» Том 2 // Томск. – 2002. – С. 272-275.

эпокси и метокси радикалов метилового и этилового спиртов, пропилена.

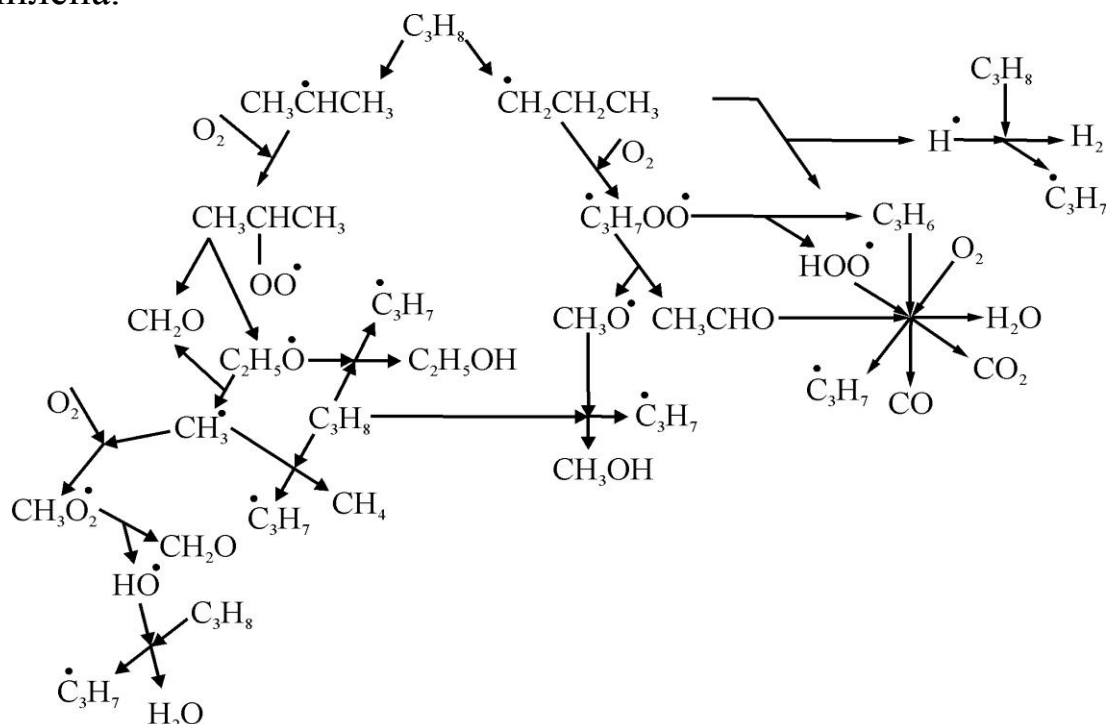


Рисунок 5.4 – Схема предпламенного окисления пропана кислородом<sup>96</sup>

Для объяснения высоких антидетонационных свойств добавок оксигенатов и воды привлечены данные по низким потенциалам ионизации этих соединений. Окись пропилена и спирты работают на этапах предпламенного горения, а вода при пламенном горении.

Оксигенаты как компоненты автомобильных бензинов характеризуются прежде всего **октановыми числами смешения, давлением насыщенных паров ( $p_{нас}$ ) и теплотворной способностью**. Эти показатели определяются стандартными методами.

Имеет практическое значение также **гигроскопичность** оксигенатов, т. е. их способность «притягивать» влагу из воздуха. Она влияет на фазовую стабильность содержащих их топливных смесей, что проявляется как помутнение топлив при пониженных температурах с последующим расслаиванием.

<sup>96</sup> Большаков, Г.Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические основы химмотологии. – Новосибирск: Наука, 1987. – 208с.

На практике используют спирты, простые эфиры, их смеси, спиртосодержащие отходы пищевых и нефтехимических производств. Встречаются также рецептуры, содержащие ацетон, эфиры альдегидные фракции и разнообразные отходы нефтехимии. Как правило, композиции подобного типа используются малыми предприятиями, выпускающими сравнительно небольшие количества топлив. Спирты характеризуются показателями, приведенными в таблице 5.2.

Октановые числа смешения спиртов понижаются с увеличением длины углеводородного радикала.

Таблица 5.2 – Основные физико-химические характеристики спиртов<sup>97</sup>

Показатели	MeOH	EtOH	втор- BuOH	трет- BuOH
Температура кипения, °С	65	78	100	83
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	792	794	806	789
Октановое число моторный метод	94	92	95	95
исследовательский метод	111	108	117	106
Теплота, кДж/кг испарения (для бензина - 200)	1100	840	666	536
сгорания (низшая) (для бензина - 42 000)	22707	26945	33300	35590
Теплота сгорания (низшая), кДж/л	15700	21200	26840	28080
Стехиометрическое массовое соотношение воздух-топливо (для бензина составляет 14-15)	6,4	8,95	11,7	11,7
Теплота сгорания стехиомет- смеси (низшая), кДж/кг	2660	2674	2514	2700
ПДК паров, мг/м <sup>3</sup>	5	1000	980	100
Давление насыщенных паров, при 20 °С	11,8	5,8	1,7	4,9
при 38 °С	32	16	5,5	12
Растворимость в воде, %	∞	∞	22,5 (20 °С)	∞
Свойства азеотропной смеси с температура кипения, °С	азеотроп не	78,15	88,5	79,9
содержание воды, масс. %	образуется	4,4	32,0	11,8

<sup>97</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.



MeOH – метанол, EtOH – этанол, втор-*BuOH* – втор-бутанол, трет-*BuOH* – трет-бутанол.

**Метанол** MeOH выпускают по ГОСТ 2222-78Е (метанол технический синтетический) в виде продуктов двух марок: А – как сырье для органического синтеза и поставок на экспорт; Б – для других целей. В качестве добавки к бензинам метанол используется нечасто. Этому препятствуют его токсичность, плохая растворимость в углеводородах и высокая гигроскопичность. Как и все спирты, он отрицательно действует на материалы уплотнений и коррозионно агрессивен по отношению к цветным металлам. Последнее приводит, с одной стороны, к снижению ресурса деталей двигателя, а с другой – к ухудшению качества топлива. В бензин можно вводить около 5 об. % безводного метанола; при этом бензинометанольная смесь (БМС) остается гомогенной. При использовании БМС приходится решать проблему ее высокой чувствительности к влаге. БМС может растворить не более 0,1 масс. % воды, при больших ее концентрациях смесь расслаивается, причем объем водно – метанольной фазы превышает объем добавленной воды. При охлаждении БМС сначала мутнеет, а затем также расслаивается. Поэтому существует минимальная температура, при которой БМС может использоваться на практике.

Чтобы бензометанольные смеси не расслаивались, в них добавляют в качестве стабилизаторов высшие спирты, например *трет*-бутиловый спирт (смесь примерно равных количеств *трет*-бутилового спирта и метанола называется оксинолом) или *изобутиловый* спирт. В России исследовались бензометанольные смеси БМС-5 и БМС-15 с содержанием метанола соответственно 5 и 15 об. %, но к применению они допущены не были<sup>98</sup>.

**БМС-5**, в принципе, может использоваться в двигателях, но его стабильность невысока: срок хранения наиболее оптимальных составов, содержащих около 50% ароматических углеводородов, не превышает 3 мес. При этом должны обеспечиваться условия, исключающие попадание влаги. Если же БМС-5 хранится в контакте с атмосферным воздухом, то расслаивание наблюдается уже через несколько суток. Перед расслаиванием БМС мутнеет. Температура помутнения также зависит от концентрации аро-

---

<sup>98</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.

матических углеводородов. Поэтому надо иметь в виду, что для приготовления БМС-5 следует использовать метанол, практически не содержащий влаги<sup>99</sup>.

Все вышесказанное исключает использование БМС-5 как топлива для автомобилей.

**БМС-15** представляет собой товарный бензин, содержащий 15% метанола и 7–9% стабилизатора – изобутилового спирта. Его стабильность достаточно высока. На БМС-15 были разработаны временные ТУ 6.21-13-82 «Бензин метанольный», в которых предусматривались те же требования к БМС, что и к бензину. Дополнительно устанавливались показатели: содержание воды – не более 0,1 об.%; температура помутнения – не выше –45 °С. Введение 15 об.% метанола в бензин несколько повышает давление насыщенных паров, плотность и увеличивает ОЧ. Другие показатели остаются практически неизменными<sup>100</sup>.

Метанол, содержащийся в БМС-15, окисляется до муравьиной кислоты, которая вместе с бензином может попадать в смазочное масло. Кислота разрушает щелочные присадки, хотя и в разной степени. Наиболее подвержены разложению алкилсалицилаты, наименее – алкилсульфонаты<sup>101</sup>. Однако испытания показали, что при использовании БМС-5 за весь срок службы масел (были взяты М8В, М6/10В, М6<sub>3</sub>/10Г) заметного снижения их качества не происходит. Наблюдалась лишь тенденция к снижению щелочности и повышению сульфонатной зольности масел. В связи с приведенными выше ограничениями на содержание спиртов в автомобильных бензинах смеси типа БМС-15 практического применения найти не могут<sup>102</sup>.

В настоящее время во **ВНИИНП** на базе метанола разработана добавка **ОДЭ-М** (ТУ 0258-072- 11726438-2000), представляющая собой композицию 80% метанола и 8–17% N-метиланилина с добавками антидетонаторов – соединений железа или марганца.

---

<sup>99</sup> Тереньтев, Г.А. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г.А. Тереньтев, В.М. Тюков, Ф.В. Смаль. – М.: Химия, 1989. – 272 с.

<sup>100</sup> Звонов, В.А. Метанол как топливо для транспортных двигателей / В.А. Звонов, В. Н. Черных, В. К. Балакин. Харьков: Основа, 1990. – 150 с.

<sup>101</sup> Лашхи, В.Л. Химия и технология топлив и масел / В.Л. Лашхи [и др.]. – 1985. – №11. – С. 11-13.

<sup>102</sup> Данилов, А. М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.

**Этанол** EtOH в России выпускается по нескольким нормативно-техническим документам. Технический этанол вырабатывают по ГОСТ 17299-78 (марки А и Б), синтетический денатурированный этанол – по ТУ 2421-117-00151727-98, гидролизный с содержанием этанола не менее 96,2 об.% – по ГОСТ 18300-87.

В качестве добавки к топливам этанол представляет больший интерес, чем метанол, так как лучше растворяется в углеводородах и менее гигроскопичен. Смеси этанола с бензином менее токсичны по сравнению с БМС, менее коррозионно агрессивны и лучше совмещаются с герметиками. Широко известны газохол (смесь бензина с 10% этанола) в США и Бразилии и этанолсодержащие топлива E-10 и E-15 (соответственно с 10 и 15% этанола), продаваемые в США и странах Западной Европы. С 2004 г. в России действует стандарт на «бензанол» (ГОСТ Р 52201), содержащий 5–10% этанола. Вообще этанол представляет интерес в качестве добавки к топливу в странах, богатых растительными ресурсами, например в Бразилии или Украине. В России допущено к применению несколько бензинов, вырабатываемых в небольшом количестве с этанолсодержащими добавками. Показано, что добавка 5% этанола к бензину не приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик двигателя и не требует предварительной регулировки карбюратора. Одновременно наблюдается существенное снижение выбросов CO и небольшое – углеводородов. С другой стороны, растут выбросы альдегидов и наблюдается тенденция к увеличению эмиссии оксидов азота. Увеличение концентрации этанола в бензине до 10% приводит к обеднению бензовоздушной смеси и ухудшает ездовые характеристики автомобиля практически на всех режимах.

Сравнительно невысокая фазовая стабильность спиртобензиновых смесей повышается при использовании стабилизаторов, наиболее эффективными из которых являются, как показали исследования ВНИИНП, алифатические спирты C<sub>4</sub>–C<sub>5</sub>, в частности сивушные масла и композиции на их основе, дополнительно содержащие ароматический амин, оксиэтилированные ПАВ. Во ВНИИНП разработан ряд спиртобензиновых топлив, содержащих бензин, этанол, стабилизатор, а также антикоррозионную добавку.

Этанолу в нашей стране не слишком повезло. Работа с этанолом в России обставляется рядом строгих правил и ограничений. Основным является Федеральный закон «О государственной регистрации производства и оборота этилового спирта и алкогольной продукции», согласно которому бензины, содержащие более 1,5 об.% этанола, подпадают под определение *спиртсодержащей пищевой продукции*, что требует соблюдения соответствующих законодательных норм.

Спирт, используемый для производства бензинов, должен быть денатурирован специальными добавками, делающими невозможным его применение в качестве алкогольного напитка. Перечень денатурирующих добавок утвержден постановлением Правительства РФ № 303 от 16.03.1999 г.

Денатурирующие добавки используются в композициях кислородсодержащих присадок к бензинам. Например, в присадке ОДЭ содержатся кротоновый или уксусный альдегиды, а в ВОКЭ – диэтилфталат. Денатурированный спирт может также содержать красители в концентрации не менее 0,01 %.

*Ассортимент* добавок к бензину на основе этанола, используемых в России, достаточно обширен, но суммарный объем их производства невелик, поскольку они вырабатываются на большом количестве мелких (по сравнению с нефтеперерабатывающими) гидролизных и бродильных предприятий.

Часто появление этих добавок объясняется стремлением заводов выгодно утилизировать отходы собственного производства.

**ОДЭ** (ТУ 0258-072-11726438-2000) – композиция этанола с N-метиланилином, иногда – с добавками соединений железа или марганца для усиления антидетонационного эффекта. Требования к добавкам ОДЭ (на базе этанола) и ОДЭ - М (на базе метанола) за единственным исключением одинаковы.

**ВОКЭ** (продукт спиртосодержащий для повышения октанового числа бензина) представляет собой технический этанол с содержанием воды до 5% и сивушных масел (высших спиртов) до 10%.

**Многофункциональная добавка на основе этанола** (ТУ 38.401- 58- 260- 2000) представляет собой смеси этанола и N-метиланилина и выпускается в виде продукта трех марок.

**Высокооктановая кислородсодержащая добавка к автомобильным бензинам «Гидрохол»** (ТУ 38.401-58-318-2002) представляет собой этанол или смесь этанола с N -метиланилином, с добавкой стабилизатора СТЭ-1.

В 2001 г. организовано производство многофункциональной присадки к автобензинам **СТЭ-1** (ОАО «Волгасинтез»), предназначенной для стабилизации бензоэтанольных смесей при температурах до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Основу **СТЭ-1** составляет изобутиловый спирт с добавкой моющей присадки Автомаг. СТЭ-1 выпускается как продукт трех марок. Марка А представляет собой непосредственно стабилизатор, а марки Б и В дополнительно содержат N-метиланилин, улучшающий их антидетонационные свойства.

Доставка СТЭ-1 к смесям бензина и этанола, содержащим воду, позволяет снизить их температуру помутнения на 15 ... 20  $^{\circ}\text{C}$ .

**Изопропиловый спирт (ИПС)** вырабатывается по ГОСТ 9805-84 как продукт двух марок: абсолютизированный и технический.

Добавка ИПС в модельные смеси «70» (70 об.% изооктана и 30 об.% *n*-гептана) и КТ-2 (62 об. % толуола и 38 об.% *n*-гептана) позволяет получить следующие значения ОЧ, приведенных в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Повышение октановых чисел при добавке изопропилового спирта

Содержание ИПС в композиции, масс. %	ОЧМ/ОЧИ	
	смесь «70»	смесь КТ-2
0	70/70	71,3/80,8
5	72,8/74,0	73,4/83,0
10	76/77,3	74,9/85,5

На основе ИПС во ВНИИНП и ОАО «Синтез» (г. Дзержинск) разработаны добавки **ОДИС** и **ОКДИ**, содержащие, кроме ИПС, N-метиланилин, моющую и антикоррозионную присадки.

**Вторбутиловый спирт** *s*-BuOH допущен к применению в отечественных автобензинах совместно с МТБЭ в концентрации до 10 об.%.

**Третбутиловый спирт** *t*-BuOH самостоятельно в качестве добавки к топливам не применяется, но является компонентом фэтерола, а также стабилизатором топливометанольных смесей.

**Лазурип** – смесь сивушных масел с N-метиланилином и моющей присадкой, маркированная синим красителем и обладающая, помимо антидетонационных, моющими и антикоррозионными свойствами. Предполагалось выпускать ее как продукт двух марок.

Используются в Белоруссии и головные фракции ректификации этанола, отличающиеся от сивушных продуктов наличием метанола и меньшей концентрацией высших спиртов.

Аналогичная добавка под названием ВКД (высокооктановая кислородсодержащая добавка) выпускается в Украине по ТУ У 30183376.001-2000.

*Недостатки и ограничения применения спиртов.* Спирты плохо растворимы в углеводородах, гигроскопичны, отрицательно действуют на материалы уплотнений и коррозионно агрессивны по отношению к цветным металлам.

Последнее приводит, с одной стороны, к снижению ресурса деталей двигателя, а с другой – к ухудшению качества топлива. Метанол, помимо прочего, очень токсичен.

*Вымываемость* спиртов из топлив водой может быть оценена путем сравнения коэффициентов их распределения *P* между водной и углеводородной фазами.

В справочной литературе имеются значения *P* для индивидуальных углеводородов.

В таблице 5.4 приводятся значения *P* для распределения спиртов между водой и ароматическими углеводородами, между водой и парафиновыми углеводородами (*n*-алканами).

Таблица 5.4 – Коэффициенты распределения спиртов между водной и углеводородной фазами

Оксигенат	Ароматический углеводород / во-	<i>n</i> -алкан / вода
Метанол	0,007 (толуол)	0,0016 (гептан)
Этанол	0,02 (толуол)	0,008 (гексан)
Изопропиловый спирт	0,21 (толуол)	–
<i>n</i> -бутанол	0,5 (толуол)	0,2 (гептан)
Изобутанол	0,09 (толуол)	–
<i>втор</i> -бутанол	0,55 (бензол)	0,17 (гексан)
<i>трет</i> -бутанол	0,26 (бензол)	0,09 (гексан)

$R$  для топлив имеют промежуточные значения. Величина  $R$  является отношением концентрации спирта в углеводороде к концентрации спирта в воде.

*Эмульгируемость.* Спирты и отходы спиртового производства служат стабилизаторами водотопливных эмульсий. В зависимости от состава топлива, природы кислородсодержащего продукта и условий окружающей среды такие эмульсии могут содержать до 0,15% воды и быть стабильными в течение нескольких часов. На примере эфирной головки производства бутиловых спиртов (представляющей собой смесь спиртов, эфиров, альдегидов и ацеталей) было показано, что седиментационная устойчивость эмульсий увеличивается в присутствии олефиновых и ароматических углеводородов. Большое влияние на стабильность эмульсий оказывают также диеновые углеводороды и образующиеся при их окислении смолы. Исходя из этого можно заключить, что наибольшую стабильность, например, будут иметь эмульсии на основе бензиновых фракций пиролиза. Разрушение эмульсий отстаиванием и нагреванием – дорогая и длительная операция. С этой целью рекомендуется фильтрование через гидрофобные материалы.

**Эфиры**, используемые в топливах, и их физико-химические характеристики представлены ниже в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Основные физико-химические характеристики эфиров<sup>103</sup>

Показатели	ДИПЭ	МТБЭ	ЭТБЭ	МТАЭ	ЭТАЭ	ОП
Температура кипения, °С	68	55	73	86	101	35
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	724	740	770	740	766	859
Октановое число смешения						
моторный метод	100	110	105	98	100	–
исследовательский метод	110	125	118	111	–	–
Теплота испарения, кДж/кг	314	337	315	329		–
Теплота сгорания (низшая), кДж/л	26400	26040	26750	27 900	–	28 059
Давление насыщенных паров при 38 °С, кПа	–	55,2	20,7	27,6	13,8	125,0
Количество эфира (об.%), требуемого для обеспечения указанной концентрации кислорода в бензине						
2,7%	17,2	15,1	17,2	17,2	19,4	8,54
2,0%	12,7	11,0	12,7	12,4	13,0	6,33

ДИПЭ – диизопропиловый эфир, МТБЭ - метил*трет*бутиловый эфир, ЭТБЭ – этил*трет*бутиловый, МТАЭ - метил*трет*амиловый эфир, ЭТАЭ – этил*трет*амиловый эфир, ОП – окись пропилена.

ОЧС эфиров, так же как и спиртов, зависят от их концентрации в бензине.

МТБЭ (метил*трет*бутиловый) эфир по объему применения является основным оксигенатом в нашей стране и за рубежом. Это единственный эфир, допущенный к применению в России в качестве компонента автомобильных бензинов. Он вырабатывается на ряде предприятий по различным техническим условиям. Тем не менее, технические требования к МТБЭ повсюду близки.

Температура кипения МТБЭ – около 55 °С. В определенной степени это недостаток. Желательные температуры кипения оксигенатов составляют 70 ... 90 °С, поскольку в этих пределах выкипают фракции товарных бензинов с наименьшим ОЧ. Этим требованиям удовлетворяет **метил*трет*амиловый эфир**

<sup>103</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.



(МТАЭ), который к применению в российских бензинах пока не допущен, хотя и испытан с положительным результатом.

**Фэтерол** (смесь МТБЭ и третбутилового спирта) вырабатывается заводами синтетического каучука по ТУ 2421-009-04749189-95 как продукт марок А (для поставки на экспорт) и Б (ДЛЯ производства автобензинов).

Под торговым названием «Октан-115» фэтерол можно встретить в розничной продаже.

**Диизопропиловый эфир (ДИПЭ)** является побочным продуктом производства изопропилового спирта и потому сравнительно дешев. У него есть преимущества перед МТБЭ: он менее агрессивен к резинам, а смеси бензина с 10% ДИПЭ имеют КРДС, равный единице<sup>104</sup>. Недостатком является легкое образование взрывоопасных пероксидов при хранении. Бензины, содержащие до 11 % ДИПЭ, допущены в России к производству и применению. ДИПЭ выпускается по ТУ 38.402-62-133-92 как продукт двух сортов.

**Окись пропилена (ОП)** является полупродуктом в производстве тормозной жидкости, и в качестве эфира для добавки в бензин неизвестна.

### *Смесевые добавки*

Оксигенаты хорошо сочетаются с антидетонационными присадками, что используют при создании смесевых добавок, позволяющих существенно повысить ОЧ бензинов. К таким добавкам относятся фэтеролы марок В, Г и Д, различные композиции, представленные ниже.

**Фэтеролы В, Г и Д** изготавливаются на базе фэтерола Б с добавлением марганцевого антидетонатора. Марки различаются содержанием марганца и соответственно разным антидетонационным эффектом.

**БВД** (беззольная высокооктановая добавка) представляет собой смесь N-метиланилина, МТБЭ и моющей присадки Автомаг. Существует разновидность присадки – марка БВД-Э, содержащая этанол и антикоррозионную присадку.

---

<sup>104</sup> Онойченко, С.Н. Применение оксигенатов при производстве перспективных автомобильных бензинов. М.: Техника: ООО «ТУМА-ГРУПП», 2003. – 64 с.

Отмечают, что применение БВД позволяет снизить эмиссию углеводородов и СО соответственно на 8 и 30 отн. %.

**Каскад-3** (ТУ 0257-009-56491903-2003) – смесь N-метиланилина, моющей добавки (амидаалкилсалициловых кислот), производных железа и марганца и МТБЭ.

**АДА-КМ и АДА-СМ**, вырабатываемые ОАО «Пигмент», представляют собой смесь кислородсодержащего соединения с добавкой МЦТМ.

**ВОД** (высокооктановая добавка) вырабатывается Стерлитамакским НХЗ по ТУ 0000-1-12751119-95 и представляет собой смесь МТБЭ и абсорбента, стабилизированную антиоксидантом фенольного типа.

**Абсорбент** (ТУ 0000-418-05742686-95) на Стерлитамакском НХЗ – отход производства диеновых каучуков, представляющий собой прозрачную жидкость желтоватого цвета, выкипающую при температурах от 27 до 220 °С. Он используется в качестве компонента автомобильных бензинов. Однако массовая доля фактических смол (до 50 мг/100 см<sup>3</sup>) не позволяет вводить его в бензины в концентрациях, превышающих 10%.

**ДАКС** (добавка антидетонационная кислородсодержащая) – это композиция присадки АДА с высшими алифатическими спиртами, которая, по заявлению ее авторов, проявляет синергические эффекты.

**ДАКС-2** (ТУ 0251-005-02066612-96) – смесь равных объемов прямогонного бензина и ДАКС. Используется в качестве компонента товарных бензинов. При этом достигается некоторое снижение токсичности выхлопа ОГ: содержание СО и СН уменьшается на 15–20 отн. %.

Максимальная концентрация ДАКС в бензине – 5 об. %. Выше этой концентрации дальнейший прирост антидетонационного эффекта очень мал.

**Литон** (композиция ликара и ацетона). Разработчик рекомендует вводить эту добавку в бензин в концентрации до 3 об. %. При этом достигаемый прирост ОЧ составляет 1,5–2 (тем больше, чем ниже ОЧ исходного бензина).

**Ацетон**, являющийся компонентом опытной присадки Литон, выпускается рядом предприятий по ГОСТ 2768-84.

### ***Ограничения и недостатки применение оксигенатов***

Общим для всех оксигенатов является то, что их теплота сгорания ниже, чем углеводородов, поэтому их количество в топливе ограничивается возможностью работы двигателя без дополнительной регулировки. Соответствующая концентрация в расчете на кислород не превышает 2,7%. Несколько уменьшается и пробег автомобиля на одной заправке, однако это уменьшение невелико.

Большим недостатком является высокая гигроскопичность оксигенатов, прежде всего спиртов. Связанные с ней проблемы и технические решения обсуждались выше. БМС, как отмечалось выше, характеризуются повышенным давлением насыщенных паров. Поэтому при испытаниях в Ворошиловграде (Луганске) летом отмечались случаи отказов двигателя из-за паровых пробок. При использовании оксигенатов в 2-4 раза возрастают выбросы альдегидов и наблюдается тенденция к увеличению эмиссии оксидов азота. Метанол легко диффундирует через некоторые полимеры. С учетом этого необходимо подбирать материал топливопроводов.

Нельзя обойти вниманием полемику о коррозионной агрессивности МТБЭ и его попадании в грунтовые воды из протекающих резервуаров. Эта полемика привела к тому, что согласно решению сената США от 5 июня 2003 г. с 2012 г. этанол должен будет полностью заменить МТБЭ при производстве автомобильных бензинов, для чего ежегодно будет вырабатываться около 15 млн т. этанола<sup>105</sup>. Вместе с тем имеются основания полагать, что запрет на применение МТБЭ инициирован аграрным лобби в законодательных учреждениях. В Евросоюзе, например, опасностей от использования МТБЭ не видят и рекомендуют, прежде всего заботиться о техническом состоянии резервуаров. Пока же МТБЭ в США продолжают применять, и его применение обуславливают определенными требованиями. Например, регламентировано, чтобы трубопроводы и заправочные станции, работающие с МТБЭ, располагались не ближе 300 м от источников питьевой воды<sup>106</sup>. Власти Калифорнии предложили жесткое огра-

---

<sup>105</sup> Oil & Gas J. 2003. V. 101. № 24. P. 40-41.

<sup>106</sup> Parkinsoп G. // Chem. Eng. 1998. V. 105. № 1. P. 48.

ничение нормы на содержание МТБЭ в питьевой воде (не более 5 млн<sup>-1</sup>), которое базируется не на медицинских показаниях, а на органолептических характеристиках воды (присутствие МТБЭ начинает ощущаться при концентрации 40 млн<sup>-1</sup>)<sup>107</sup>.

Еще одним недостатком, как отмечалось выше, является повышенная коррозионная агрессивность низших спиртов по отношению к цветным металлам. И хотя при эксплуатационных испытаниях существенной коррозии не замечалось, этому вопросу уделено достаточно много внимания. Установлено<sup>108</sup>, что по интенсивности коррозии в спиртосодержащих топливах металлы располагаются следующим образом: РЬ >> Сталь-3 > Си > А1.

На присутствие спиртов в бензине они также реагируют неоднозначно. В таблице 5.6 представлены данные по скорости коррозии металлов (г/(м<sup>2</sup>ч) в условиях испытания в прямогонном бензине, содержащем 25% спиртовой композиции состава, %: метанол – 40 ... 65; этанол – 9 ... 24; пропанола – 6 ... 16; спирты С<sub>4</sub> ... С<sub>5</sub> – 20 ... 45:

Таблица 5.6 – Скорость коррозии металлов (г/(м<sup>2</sup>ч) в прямогонном бензине в присутствие спиртовой композиции

Металл	Спирты	Бензин	Бензоспиртовая смесь
Сталь	0,32	0,02	0,12
Медь	0,08	0,18	0,07
Алюминий	0,09	0,009	0,034
Свинец	3,88	1,75	1,55

Показано, что коррозию можно эффективно подавить специально подобранными присадками<sup>109</sup>.

В отработавших газах двигателей, работающих на метаноле, при холодном пуске обнаружен метилнитрит, который образуется в результате реакции между метанолом и NO<sub>2</sub> в присутствии катализатора. Чем ниже температура пуска, тем его концентрация

<sup>107</sup> Vautrain J. H. // Oil & Gas J. 1999. V. 97. № 3.Р. 18-22.

<sup>108</sup> Шевченко, Е.Б. Исследование коррозионной агрессивности и ингибирование спиртов и топлив на их основе. Автореф. дисс. к. т. н. М.: ВНИИ НП, 1997. – 28 с.

<sup>109</sup> Шевченко, Е.Б. Исследование коррозионной агрессивности и ингибирование спиртов и топлив на их основе. Автореф. дисс. к. т. н. М.: ВНИИ НП, 1997. – 28 с.

выше. С прогревом двигателя концентрация метилнитрита в ОГ снижается, а через 180 с после пуска он в ОГ не обнаруживается.

Все простые эфиры в процессе хранения при доступе воздуха образуют взрывоопасные пероксиды, которые иногда можно заметить визуально в виде осадка. Поэтому содержание пероксидов в эфирных добавках часто контролируют, нормируя их отсутствие. Наиболее склонен к образованию пероксидов диизопропиловый эфир, наименее – МТБЭ.

### ***Токсичность и пожароопасные свойства***

Спирты, за исключением метанола, не особенно ядовиты. Низшие спирты обладают наркотическим действием. Метанол чрезвычайно опасен в обращении. Он действует на нервную и сосудистую системы, обладает сильным кумулятивным действием. Хотя по сравнению с другими ядами это не слишком сильный яд, метанол представляет опасность из-за внешней для неопытного человека схожести с этиловым спиртом, а также вследствие больших количеств, с которыми приходится иметь дело.

Для человека прием внутрь 5–10 мл вызывает тяжелое отравление, а 30 мл могут привести к смерти. Первая помощь заключается в удалении метанола из организма всеми возможными способами, в частности промыванием желудка.

Наиболее доступное и эффективное противоядие – этиловый спирт, вводимый внутривенно, а затем перорально малыми порциями. Он вытесняет метанол из реакций с окисляющими ферментами. Чаще всего отравление происходит при приеме внутрь, вредными являются также вдыхание паров и проникновение через неповрежденную кожу.

ПДК спиртов ( $\text{мг/м}^3$ ), принятые в России, представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – ПДК спиртов,  $\text{мг/м}^3$

Метанол	5
Этанол	1000
Изопропиловый спирт:	
вторбутанол	150
третбутанол	100

Для МТБЭ: ПДК<sub>р.з</sub> – 100 мг/м<sup>3</sup>, ПДК<sub>с.с</sub> – 0,5 мг/ м<sup>3</sup>, ПДК в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения – 0,3 мг/л, в рыбохозяйственных водоемах - 0,001 мг/л. ПДК паров фэтерола – 10 мг/м<sup>3</sup> (по *трет*бутиловому спирту), 100 мг/м<sup>3</sup> (по МТБЭ). Установлено<sup>110</sup>, что в природных условиях МТБЭ медленно подвергается биоразложению до *трет*бутилового спирта. Частично процесс протекает через стадию образования *трет*бутилформиата.

В плане пожарной опасности спирты и эфиры не более опасны, чем бензин, исключение составляет метанол.

### **Применение и перспективы для оксигенатных добавок**

Объемы применения оксигенатов в России сравнительно с зарубежными странами невелики, но быстро увеличиваются и в перспективе приблизятся к значениям, определяемым их максимально допустимыми в топливах концентрациями. Производство МТБЭ отечественными заводами составляет 250–300 тыс. т/год и в ближайшее время сохранится на этом уровне, определяемом количеством доступного изобутилена. Производство других эфиров сравнительно невелико. Хорошие перспективы у этанола. Отметим, что в США этанол постепенно становится основным оксигенатом. Что касается России, то имеющиеся технологии позволяют получать несколько сотен тысяч тонн гидролизного этанола в год. Введение этанола в бензин допускается в концентрации до 5%, при этом достигается прирост ОЧ на 2–5 ед. Всего для производства автобензинов (с учетом других оксигенатов) требуется до 1 млн т/год этанола. Добавка этанола в бензин потребует ряда технических и организационных мер: обеспечения чистоты резервуаров и топливных систем, защиты их от коррозии, выработки специальных норм расхода топлива и его потерь, наконец, урегулирования налоговых вопросов. Использование метанола сопряжено с большими техническими проблемами и вряд ли имеет будущее, несмотря на заманчивые экономические перспективы.

---

<sup>110</sup> Chem. Eng. News, 1997. V. 75. № 18. P. 54-56.

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИГЕНАТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛУЧШЕННОГО ЭКОЛОГИЧНОГО БЕНЗИНА

### 6.1 Аналитическое исследование механизма действия оксигенатных добавок

Горение углеводородов оценено нами с позиции механизма реакций окисления-восстановления, принятого в органической химии. Окисление органических соединений оценивается как переход функциональных групп по категориям окисления в соответствии со степенью окисления атома углерода<sup>111</sup>. Наряду с введением в молекулу атома кислорода идут процессы дегидрирования с образованием алкенов, альдегидов и других соединений.

Важное значение в процессе окисления углеводородов, имеет потенциал ионизации молекул. Этот показатель в электрон-вольтах (эВ)<sup>112</sup> внесен нами в таблицу категорий окисления (Табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Степени окисления углеводородов

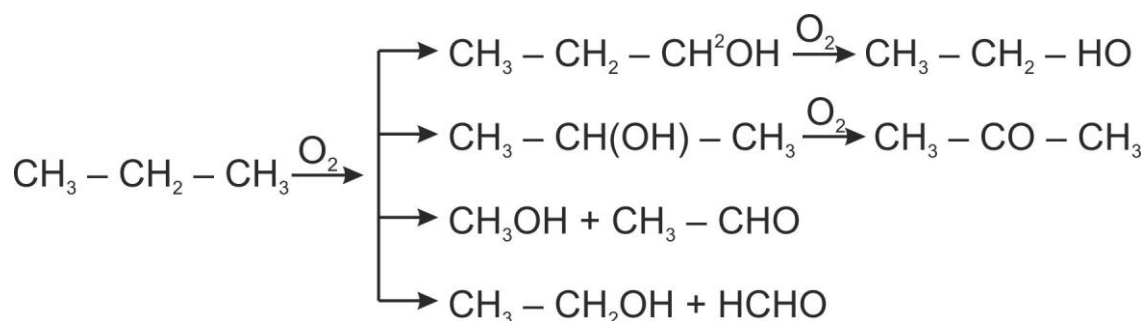
Категории окисления-восстановления				
- 4	- 2	0	+ 2	+ 4
$\text{CH}_3 - \text{CH}_3$ алканы (11,65)	$\begin{array}{c}   \quad   \\ - \text{C} = \text{C} - \\ (10,5) \end{array}$ $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 -$ OH спирты (10,25)	$- \text{C} \equiv \text{C} -$ (11,41) $\begin{array}{c} \text{O} \quad / \\ \quad \quad \backslash \\ \text{CH}_3 - \text{C} \quad \backslash \\ \text{H} \end{array}$ альдегид (кетон) (10,28)	$\text{CO}$ окись углерода (14,01) $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{CH}_3 - \text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ карбоновая кислота (10,35)	$\text{CO}_2$ двуокись углерода (13,79) $\text{H}_2\text{O}$ (12,59)

<sup>111</sup> Марч, Дж. Органическая химия. Реакция, механизмы и структура. Углубленный курс для университетов и химических вузов: В 4-х т. Т. 4. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 468 с.

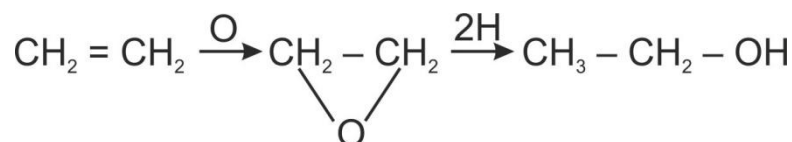
<sup>112</sup> Справочник химика: В 2-х т. Т.1. – М.: Госхимиздат, 1963.

На примере этана и пропана нами прослежен переход из категории окисления -4 в +4 с образованием этилена (пропилена), этанола (пропанола-1 и пропанола-2), уксусного альдегида (пропионовый альдегид, ацетон), уксусная (пропионовая) кислоты CO и CO<sub>2</sub>. Спирты относятся к первичным продуктам окисления и наряду с этиленовыми углеводородами располагаются в категории окисления минус два.

В технике спирты получают окислением алканов в газовой фазе, что приводит к смеси спиртов, альдегидов, кетонов с сохранением или деструкцией углеводородных цепей. Предшественниками спиртов являются перекиси и гидроперекиси углеводородов.



Часть продуктов окисления алканов можно выделить по ступеням в чистом виде, например спирты (по А. Н. Башкирову)<sup>113</sup>. Для этилена как промежуточный продукт выделяют окись этилена



При окислении этилена<sup>114</sup> наряду с образованием окиси этилена идет процесс окисления (горения) до двуокиси углерода и воды. Для пропилена так же отмечено параллельное образование окиси пропилена и продуктов полного горения (CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O), но выход окиси пропилена намного меньше, чем окиси этилена.

Другие авторы также указывают на образование окисей в процессе окисления этиленовых (непредельных) углеводоро-

<sup>113</sup> Гаранин, В.И. Органическая химия / В.И. Гаранин, Л.Д. Тюлина, А.М. Шкизов. – М.: Высш. шк., 1989. – 143 с.

<sup>114</sup> Окись этилена / под ред. П.В. Зимакова, О.Н. Дымента. – М.: «Химия», 1967. – 320 с.



дов<sup>115</sup>. Из циклогексена в барьерном разряде образуется около 62 масс.% эпоксида циклогексана.

Таким образом, можно с уверенностью говорить, что при горении углеводородов одна из «ветвей окисления» на определенной ступени образует окись. В работе Г.Ф. Большакова представлены «ветви» по окислению пропана, но там не показаны маршруты, по которым образуются окиси.

Горение включает 2 этапа: предпламенное и пламенное горение. Наибольшее количество химических реакций происходит на стадии предпламенного горения при температуре до 500 - 800°C. Прежде всего, идут радикальные реакции крекинга предельных углеводородов с расщеплением длинных углеродных цепей до фрагментов с двумя-тремя атомами углерода. Если реакцию начинать с пропана, как у Г.Ф. Большакова, то по всем маршрутам сначала идет дегидрирование и образование первичного и вторичного радикалов пропила, которые под действием молекулярного кислорода дают пероксидные радикалы. За ними следуют пропен, этиловый или метиловый спирт, уксусный и муравьиный альдегиды.

На основе литературного обзора и приведенной там схемы предпламенного окисления пропана кислородом<sup>116</sup> построена схема предпламенного окисления алкана (пропана) с той цепью, в которой образуются эпоксиды рис. 6.1.

Вводя окиси и спирты в бензин, или осуществляя рецикл продуктов горения, по аналогии с известным возвратом воды в голову процесса, мы изменяем концентрации этих соединений в процессе горения, влияем на маршруты окисления топливозвоздушной смеси и разрываем детонационный фронт пламени, который образуется при горении индивидуального углеводорода. На процесс окисления (горения) и детонацию спирты, а также окись пропиленов оказывают положительное влияние.

---

<sup>115</sup> Кудряшов, С.В. Окисление углеводородов в реакторе с барьерным разрядом / С.В. Кудряшов, Г.С. Щеглов, Е.Е. Сиротина, А.Ю. Рябов // Материалы IV Международной конференции «Химия нефти и газа» Том 2 // Томск. – 2002. – С. 272 – 275.

<sup>116</sup> Большаков, Г.Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические основы химмотологии. – Новосибирск: Наука, 1987. – 208с.

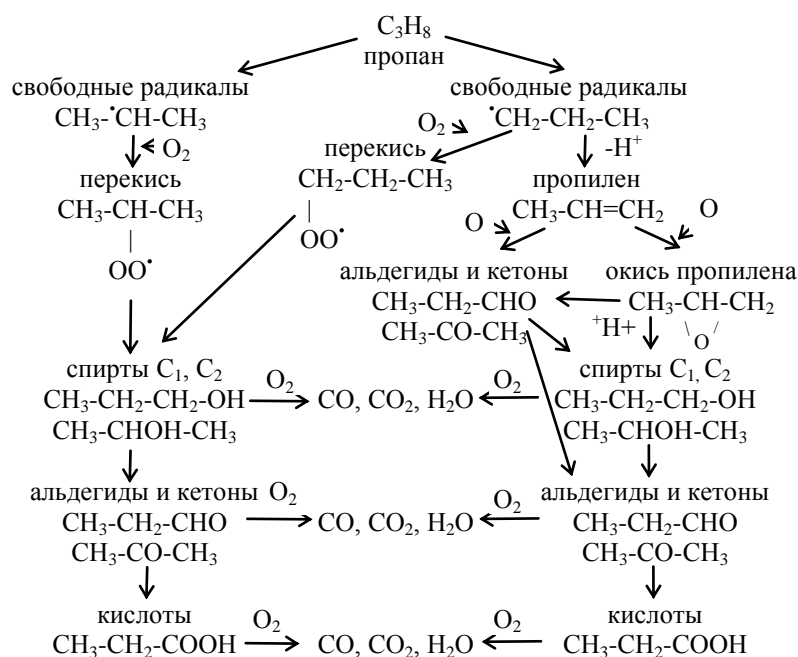


Рисунок 6.1 – Схема предпламенного окисления пропана кислородом с образованием окиси пропилена

Это подтверждается работой Степухович А.Д.<sup>117</sup>, где отмечено, что добавки окиси этилена инициирует термический крекинг алканов (бутанов). Помимо этого, отмечается что положительный эффект возможен только до определенных концентраций окисей, свыше которых эффект снижается, то есть имеется определенный максимум. Поэтому и ОП в бензине будет давать эффект только при определенных достаточно малых концентрациях.

## 6.2 Исследования отходов и полупродуктов химических производств города Кемерово на предмет их использования в составе бензина

Исследовались спиртовые отходы и полупродукты химического производства г. Кемерово и области на предмет их использования в составе окисгенатных добавок к автомобильным бен-

<sup>117</sup> Степухович, А.Д. Кинетика и механизм термического крекинга алканов. – Саратов: из-во Саратовского университета, 1965. – 302 с.

зинам. В качестве спиртовых отходов и полупродуктов рассматривались следующие соединения:

1. Эфирно-альдегидная фракция – отход Мариинского спиртового комбината;
2. Сивушное масло (СМ) – отход Мариинского спиртового комбината;
3. Концентрат пропилового спирта – отход Мариинского спиртового комбината;
4. Обезвоженный синтетический этанол КОО «Химпром»;
5. Фракция спиртов С<sub>4</sub> – С<sub>8</sub> – отход КОО «Химпром».
6. Окиси пропилена (ОП) – полупродукт КОО «Химпром» с содержанием основного вещества 99,0 %, воды 0,1 %.
7. Водный метанол – отход КОО «Азот»;
8. Отходы изопропилового спирта - отход КОО «Азот»;
9. Спиртовая фракция капролактама - отход КОО «Азот»;
10. Кубовый остаток метанола – отход Томского нефтехимического комбината.

Компонентный состав определялся на хроматографе Хром – 5 с детектором ионизации пламени, неподвижная фаза ПЭГ – сукцинат или ПЭГ 150. Воду определяли методом Фишера<sup>118</sup>.

Наличие смолистых и негорючих остатков оценивалось по методу сжигания на часовом стекле.

Компонентный состав веществ по результатам хроматографирования представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Компонентный состав отходов и полупродуктов, %масс<sup>119</sup>

№	компонент\проба	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	легкокипящие	0,2– 1,0	0,1– 0,2	0– 0,1	0,2– 1,2	0,1– 0,2	0,1	0,1– 0,3	0,1– 0,2	0,1– 0,2
2	ацетон							0,5– 1,0		
3	метанол	1– 6					95– 98			75– 85
4	этанол	92,5–	1,5–	30–	97–	0,1–			0,5–	5– 8

<sup>118</sup> Митчелл, Дж. Акватметрия / Дж. Митчелл, Д. Смит. – М.: Химия, 1980. – 600с.

<sup>119</sup> Мирошников, А.М. Анализ спиртов в отходах и полупродуктах химических и спиртовых заводов региона / А.М. Мирошников, Д.В. Цыганков, А.Р. Часовщиков // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. научных работ: выпуск № 9 / Отв. ред. Л.А. Маюрникова; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2005. – 132 с.

№	компонент\проба	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		94,7	7,0	50	98	05			1,5	
5	изопропиловый спирт							90–95	0,1–0,5	
6	н-пропанол		3,2–10	10–28					0,5–1,0	1–2
7	изо + н-бутанол		15–25	10–20		50–55			3–6	1–3
8	изоамиловый спирт		60–75	2–6					5–7	0,1–0,2
9	амиловый спирт					20–30			60–70	0,3–0,4
10	Циклогексанон (циклогексанол)								10–20	0,1–0,2
11	2-этилгексанол					5–12				0,1–0,2
12	х-компоненты	0,5–2	2–3	2–5	0,1–1,2	10–20	0,1–3,0	3–6	6–8	2–10
13	вода	4–6	9–12	28–35	1–2,3	0,1–0,4	20–32	14–18	10–12	25–30

Пробы 1, 2 и 3 Мариинский спиртовой комбинат: 1 – эфиральдегидная фракция; 2 – сивушное масло; 3 – концентрат пропилового спирта.

Пробы 4, 5 КАО «Химпром»: 4 – обезвоженный синтетический этанол; 5 – фракция спиртов C<sub>4</sub> – C<sub>8</sub>.

Пробы 6, 7, 8 КАО «Азот»: 6 – водный метанол; 7 – отходы изопропилового спирта; 8 – спиртовая фракция капролактама (СФК).

Проба 9 ТНХК Томск: 9 – кубовый остаток метанола.

Пробы 6 и 9 подвергались ректификации с выделением фракции метанола. Метанол из пробы 6 содержал 99,9 % основного вещества и 0,09 % воды. Фракция метанола из пробы 9 имела 93,5 % метанола, 6,0 % этанола, 0,28 % н-пропанола, 0,25 % изобутанола и 0,38 % воды.

При сжигании веществ на часовом стекле смолистых веществ и негорючих остатков не обнаружено.

Ежегодно в качестве отходов сжигается до 2000 тонн СФК и более 1000 тонн метанола.

На КАО «Химпром» имеются незагруженные мощности до 8 тыс. м<sup>3</sup>/год по производству обезвоженного синтетического этилового спирта.

### 6.3 Исследование физико-химических свойств отобранных оксигенатов

#### 1. Определение температуры плавления (кристаллизации)

Установка криостата показана на рис. 6.2. Она состоит из пробирки 1, в которую заливается исследуемая смесь 2, вставленной в более широкую пробирку 3 с раствором этилового спирта 4, необходимого для более равномерного распределения градиента температур. В пробирку с исследуемым веществом помещен термометр 5 и мешалка 6 из латунной проволоки. Эти обе пробирки вставлены в крышку криостата 7. Корпус криостата представляет собой колбу 8, сделанную из термостойкого стекла, покрытую асбестовой изоляцией 9. Криостат наполняется охлаждающим агентом – азотом или смесью углекислоты и этилового спирта 10.

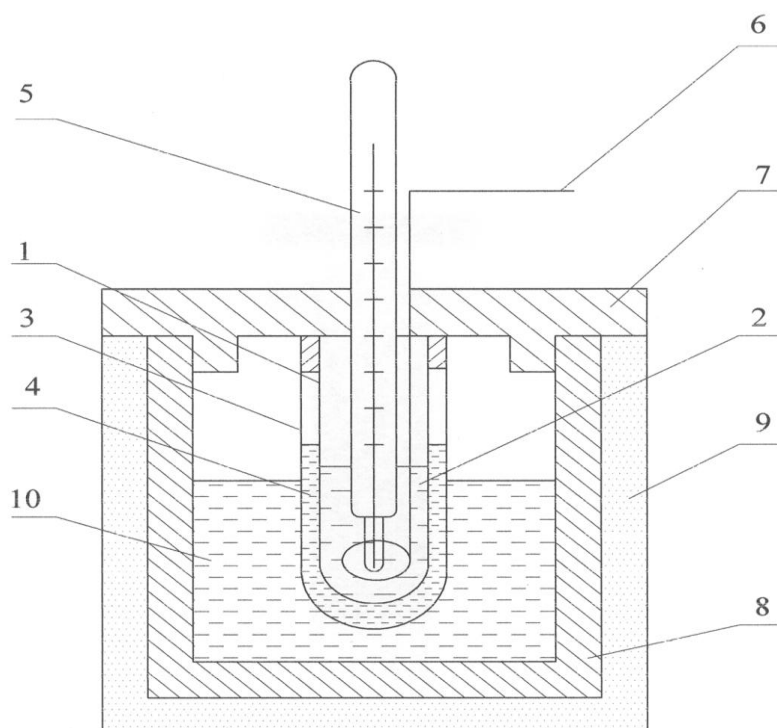


Рисунок 6.2 – Криостат

1, 3 – пробирки, 2 – исследуемая смесь, 4 – этиловый спирт, 5 – термометр, 6 – мешалка, 7 – крышка, 8 – колба, 9 – асбестовая изоляция, 10 – азот (жидкий) (углекислота + спирт)

Также замораживание проб проводилось на промышленной установке, в качестве охлаждающего агента использовалась смесь этилового спирта и глицерина.

Вначале собирают криостат, затем начинают замораживать исследуемое вещество, интенсивно перемешивая исследуемое вещество мешалкой, и ждут появления кристаллов.

Во время операции охлаждения необходимо контролировать процесс появления кристаллов, для этого пробирку с исследуемым веществом через небольшие промежутки времени вынимают из криостата и визуально проверяют появления кристаллов.

При отсутствии кристаллов пробу вставляют обратно в криостат и продолжают наблюдение. При появлении кристаллов пробирку вынимают из криостата и записывают температуру появления кристаллов. Затем при комнатной температуре аналогично визуально определяют температуру плавления образовавшихся кристаллов.

При определении температур кристаллизации и плавления, возможно, переохладение исследуемой жидкости, для предотвращения этой ошибки следует вести определение температур кристаллизации и плавления данного образца до тех пока эти температуры не совпадут и в трех последовательно проведённых опытах останутся постоянными или разница между ними будет составлять не более  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Истинным можно считать тот результат, при получении которого, были учтены все выше перечисленные условия. Аналогично проводится определение температуры расслоения исследуемой жидкости.

## *2 Определение температуры кипения*

Определение температуры кипения проводилось на установке, показанной на рис. 6.3. В двухгорловую колбу 1 загружают 50 мл ОП 2, подсоединяют колбу к обратному холодильнику 3, закреплённому в штативе 4, устанавливают на плитку 5 и нагревают до кипения.

После установления равновесия (1-2 капли конденсата в секунду) снимают показания температуры с термометра 6.

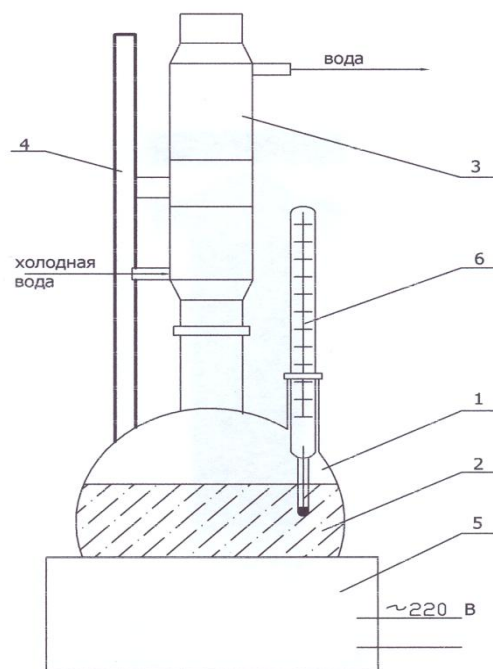


Рисунок 6.3 – Установка для определения температуры кипения  
 1 – двухгорловая колба, 2 – окись пропилена, 3 – обратный холодильник, 4 – штатив, 5 – плитка, 6 – термометр

### *3 Химический метод определения ОП обратным титрованием с HCl*

Метод основан на превращении окиси пропилена в пропиленхлоргидрин. Метод по Деккертю определения эпоксидной, функциональной группы основан на количественном раскрытии эпоксидного кольца в хлористым водородом в водном растворе хлорида натрия. После прилития раствора хлористого водорода необходимо выдержать 10 – 15 мин. Избыток хлористого водорода титруют 0,1 М раствором едкого натра по фенолфталеину до появления розового окрашивания.

### *4 Определение растворимости*

Определение растворимости проводится по известному способу В.Ф. Алексева<sup>120</sup>. Данный метод предназначен для определения взаимной растворимости в тройных системах. Для опреде-

<sup>120</sup> Физическая химия: Учебное пособие для хим. тех. спец. вузов / И.Н. Годнев, К.С. Краснов, Н.К. Воробьев и др. – М.: Высш. школа, 1982. – 687 с.

ления взаимной растворимости готовится ряд проб из двух компонентов, образующими однородную, гомогенную систему с различным их объемным содержанием. Затем эти пробы оттитровываются из микробюретки третьим компонентом, который нерастворим или ограниченно растворим в одном из компонентов или в обоих, до появления порога помутнения. Порог помутнения наблюдается визуально. Затем в точке помутнения определяется весовое соотношение всех трех компонентов.

### 5 Обезвоживание сивушного масла

Установка для обезвоживания показан на рис. 6.4.

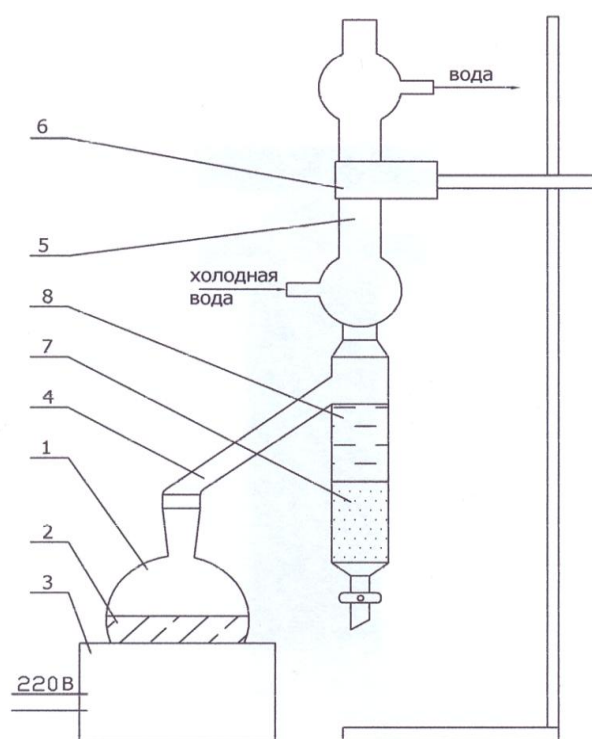


Рисунок 6.4 – Установка для обезвоживания сивушного масла

1 – колба, 2 – сивушное масло (СФК), 3 – плитка, 4 – ловушка Дина-Старка, 5 – холодильник, 6 – штатив, 7 – вода, 8 – - циклогексан (бензин)

Она применялась для обезвоживания сивушного масла, спиртовой фракции капролактама (СФК). Состоит установка из колбы 1 вместимостью 500 мл, которую заполняют на 250 мл СМ



(СФК) 2, для равномерного кипения добавляют кипелок (фарфоровые крошки).

Для создания азеотропа с водой, кипящего ниже температуры кипения аналогичных азеотропов в СМ (СФК) или низкокипящих компонентов входящих в состав СМ (СФК) приливают 40 мл циклогексана (бензина). После добавления циклогексана (бензина) колбу ставят на плитку 3, присоединяют через ловушку Дина-Старка 4 к обратному холодильнику 5, закрепленному на штативе 6. Далее колбу доводят до кипения. В ловушке Дина-Старка улавливается азеотроп из воды и циклогексана (бензина), который расслаивается на два слоя: нижний – вода 7, верхний циклогексан 8 (бензин).

Обезвоживание считают проведенным после прекращения увеличения нижнего слоя. После этого из СМ (СФК) отгоняют заданный объем циклогексана (бензина).

### ***Результаты исследования бинарной смеси окись пропилена (ОП) – вода***

#### ***1. Определение температуры плавления (кристаллизации), расслоения и кипения смеси***

Ранее было отмечено что, основная причина дестабилизации топлив – это присутствие воды. Главная причина появления воды в топливе или так называемого обводнения топлива это контакт бензина с атмосферным воздухом, в котором находится значительное количество воды. Для данной работы в качестве одной из добавок для создания гомогенной топливной смеси решено использовать окись пропилена. В литературе известно, что температура кристаллизации раствора ОП – вода ( $-5,5^{\circ}\text{C}$ ) и состав кристаллогидрата ОП ( $16\text{H}_2\text{O}\cdot\text{ОП}$ ). ОП образует с водой азеотроп ( $98\text{ОП}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  % масс.). Чтобы более полно изучить поведение системы ОП –  $\text{H}_2\text{O}$  необходимо было определить температуры плавления (кристаллизации) и расслоения этой смеси при различных концентрациях. В таблице 6.3 представлены температуры плавления (кристаллизации), расслоения и кипения смеси ОП – вода.

Таблица 6.3 – Температуры плавления и кристаллизации смеси ОП – вода

ОП, масс. %				Вода				Температура		
об. %	мл	гр.	масс. %	об. %	мл	гр.	масс. %	расслоения	кристаллизации	кипения
0	0,00	0,00	0,00	100	5,00	5,00	100,00	0,0	0,0	100,0
5	0,25	0,21	4,19	95	4,75	4,75	95,81	-3,5	-3,5	
10	0,50	0,42	8,44	90	4,50	4,50	91,56	-5,0	-5,0	
15	0,75	0,62	12,78	85	4,25	4,25	87,22	-6,5	-6,5	57,0
20	1,00	0,83	17,18	80	4,00	4,00	82,82	-6,5	-6,5	
25	1,25	1,04	21,67	75	3,75	3,75	78,33	-6,5	-6,5	45,0
30	1,50	1,25	26,24	70	3,50	3,50	73,76	-6,5	-6,5	
35	1,75	1,45	30,89	65	3,25	3,25	69,11	-5,3	-6,5	40,0
40	2,00	1,66	35,62	60	3,00	3,00	64,38	25,0	-6,5	
45	2,25	1,87	40,44	55	2,75	2,75	59,56	36,0	-6,5	
50	2,50	2,08	45,36	50	2,50	2,50	54,65	38,0	-6,5	38,0
55	2,75	2,28	50,36	45	2,25	2,25	49,64	38,0	-6,5	38,0
60	3,00	2,49	55,46	40	2,00	2,00	44,54	38,0	-6,5	38,0
65	3,25	2,70	60,65	35	1,75	1,75	39,35	38,0	-6,5	38,0
70	3,50	2,91	65,95	30	1,50	1,50	34,05	38,0	-6,5	38,0
75	3,75	3,11	71,35	25	1,25	1,25	28,65	38,0	-6,5	38,0
80	4,00	3,32	76,85	20	1,00	1,00	23,15	36,0	-6,5	
85	4,25	3,53	82,47	15	0,75	0,75	17,53	25,0	-6,5	
90	4,50	3,74	88,19	10	0,50	0,50	11,81	10,0	-6,5	
91	4,55	3,78	89,35	9	0,45	0,45	10,65	1,0	-7,0	
92	4,60	3,82	90,52	8	0,40	0,40	9,48	-1,0	-7,0	
93	4,65	3,86	91,69	7	0,35	0,35	8,32	-7,0	-7,5	
94	4,70	3,90	92,86	6	0,30	0,30	7,14	-7,5	-7,5	
95	4,75	3,94	94,04	5	0,25	0,25	5,96	-9,5	-9,5	
96	4,80	3,98	95,22	4	0,20	0,20	4,78	-11,5	-11,5	
97	4,85	4,03	96,41	3	0,15	0,15	3,59	-16,5	-16,5	
98	4,90	4,07	97,60	2	0,10	0,10	2,40	-20,0	-20,0	
100	5,00	4,30	100,00	0	0,00	0,00	0,00	-	-104,0	34,5

Для лучшего понимания полученных результатов построен график на рис. 6.5. Как видно из рисунка, область расслоения этой смеси можно условно разделить на три части. В первой и третьей частях температура расслоения совпадает с температурой плавления (кристаллизации) во второй они различны, однако во второй части температура кипения совпадает с температурой расслоения. Так же характерно то, что в третьей части при увеличении содержания ОП от 95 масс. % и выше идет снижение температуры плавления смеси ОП – вода. При составлении гомогенной топливной композиции необходимо учесть этот факт. При прове-

дении ректификации удалось получить ОП с влажностью 0,03 % масс. Это означает что, ОП с водой не образует азеотропную смесь.

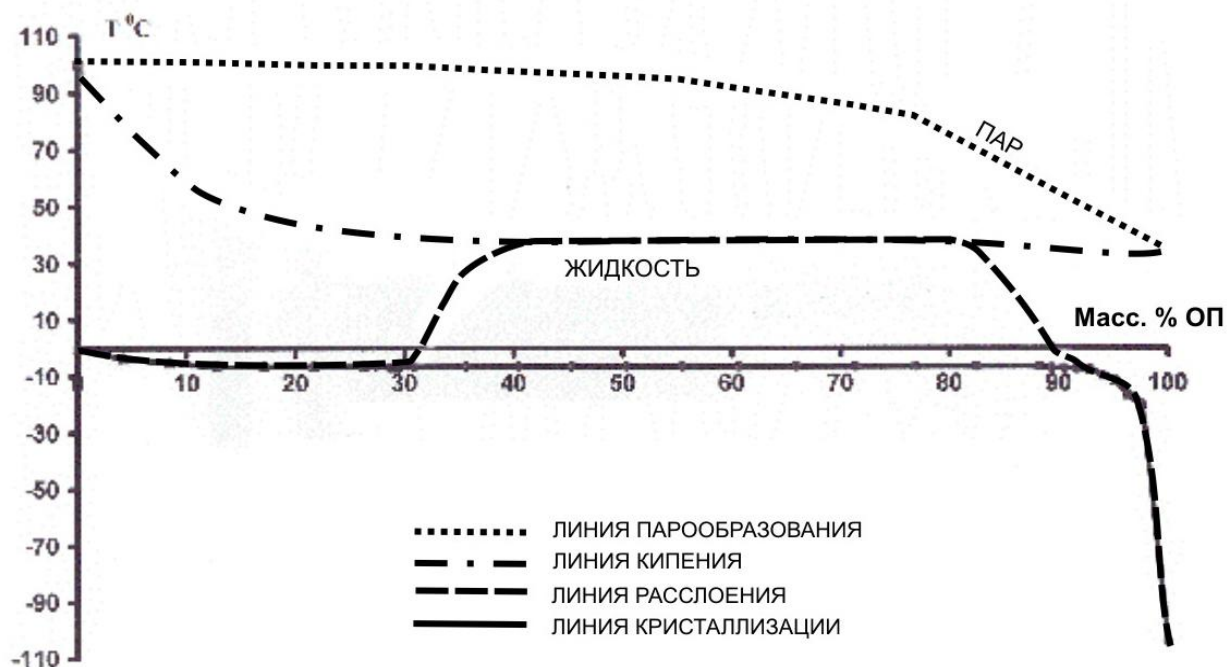


Рисунок 6.5 – Диаграмма состояния системы окись пропилен – вода

## 2. Изучение состава кристаллогидрата ОП

Из диаграммы кристаллизации видно, что в большом промежутке концентраций стабильно выпадает осадок при температуре минус 6,5 °С. Осадок представлял собой кристаллическое вещество белого цвета, которое отделяли на фильтре при температуре минус 10-21 °С. Содержание окиси пропилен в кристаллогидрате определили химическим путем методом реакции с обратным титрованием HCl. Результаты опытов показаны в таблице 6.4. Изучая кристаллизацию водных растворов ОП, мы определили, что на диаграмме плавления точки располагаются параллельно оси концентраций при температуре минус 6-7 °С. Состав кристаллогидрата по содержанию воды меняется от 18 до 5 молей воды на 1 моль ОП. При избытке ОП, низкой температуре окружающей среды (-20 °С) и интенсивном перемешивании (вибрация) наблюдается максимум воды в кристаллогидрате, он приближается к формуле  $ОП \times 17H_2O$ , что соответствует газовому гидрату пропилен или гидрату тетрагидрофурана.

Таблица 6.4 – Состав кристаллогидрата ОП

Окись пропилена, % масс	Вода, % масс	ОП: Вода, молей
95	5	1:5
На следующий день		1:16,6
Через день		1:18
Через 5 дней		1:20
Через 7 дней		1:20
50	50	1:7,7
После перекристаллизации		1:7
На следующий день		1:13,6
		1:13,1
50	50	1:13,6
50	50	1:12,7
После перекристаллизации		1:10,7
70	30	1:5,1
90	10	1:5,4
90	10	1:18,2
90	10	1:8,05
30	70	1:5,9
После сушки на воздухе через 2 часа 40 минут		1:7,9
После сушки на воздухе через 3 часа 40 минут		1:7,3
30	70	1:5
После вакуумной сушки через 2 часа 40 минут		1:6,8
После вакуумной сушки через 3 часа 40 минут		1:8,4

Изучая кристаллизацию водных растворов ОП, определено, что на диаграмме плавления точки располагаются параллельно оси концентраций при температуре минус 6-7 °С. Состав кристаллогидрата по содержанию воды меняется от 18 до 5 молей воды на 1 моль ОП. При избытке ОП, низкой температуре окружающей среды (-20 °С) и интенсивном перемешивании (вибрация) наблюдается максимум воды в кристаллогидрате, он приближается к формуле  $OPx17H_2O$ , что соответствует газовому гидрату пропилена или гидрату тетрагидрофурана. Более мягкие условия охлаждения и кристаллизации приводят к снижению числа молекул воды до 12- 6, приближаясь к гидрату метана, этилена и окиси этилена (ОЭ) с включением 6 молекул воды ( $03x6H_2O$ ). Состав газовых гидратов связан с объемом полостей в

кристаллах льда, мобильность состава  $OPxH_2O$ , указывает на возможность конформационных изменений молекулы ОП.

В жидком состоянии система ОП-Вода расслаивается в интервале концентраций от 36 до 91% масс.и температур от минус 6,5 до 8 °С. Прочность взаимодействия ОП и воды в растворах оценивалась методом высаливания с использованием хлорида натрия и сульфата аммония.

В первом случае в углеводородный слой переходит не более половины ОП, во втором почти вся. Окись слабо захватывает воду, на 1 молекулу воды приходится от 3 до 6 молекул ОП.

### ***Результаты изучения взаимной растворимости в тройной системе прямогонный бензин – ОП – вода***

Для создания гомогенной топливной композиции необходимо знать, при каком содержании воды в бинарном растворе ПБ – ОП будет происходить дестабилизация системы. Известно, что ОП и ПБ неограниченно растворяются, друг в друге значит, эта бинарная композиция будет титроваться водой. В таблице 6.5 представлены результаты опытов.

Таблица 6.5 – Концентрации веществ в точке помутнения

ПБ				ОП				Вода			
об. %	мл	гр.	масс. %	об. %	мл	гр.	масс. %	об. %	мл	гр.	масс. %
0,40	0,02	0,01	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	99,60	5,00	0,73	98,09
0,40	0,02	0,01	1,23	9,96	0,50	0,42	35,80	89,64	4,50	0,73	62,97
0,40	0,02	0,01	0,91	19,92	1,00	0,83	52,72	79,68	4,00	0,13	46,37
0,40	0,02	0,01	0,72	29,88	1,50	1,25	62,59	69,72	3,50	0,73	36,70
4,66	0,50	0,36	3,97	88,54	9,50	7,89	87,89	6,80	0,73	0,73	8,14
9,52	1,00	0,71	8,20	85,71	9,00	7,47	86,04	4,76	0,50	0,50	5,76
14,48	1,50	1,07	12,59	82,05	8,50	7,06	83,17	3,48	0,36	0,36	4,24
19,32	2,00	1,42	16,92	77,30	8,00	6,64	78,92	3,38	0,35	0,35	4,16
29,53	3,00	2,14	26,35	68,90	7,00	5,81	71,68	1,58	0,16	0,16	1,97
49,75	5,00	3,56	45,88	49,75	5,00	4,15	53,48	0,50	0,05	0,05	0,64
69,72	7,00	4,98	66,33	29,88	3,00	2,49	33,14	0,40	0,04	0,04	0,53

По данным таблицы 6.5 строится график тройной системы ПБ – ОП – вода. График приведен на рис. 6.6.

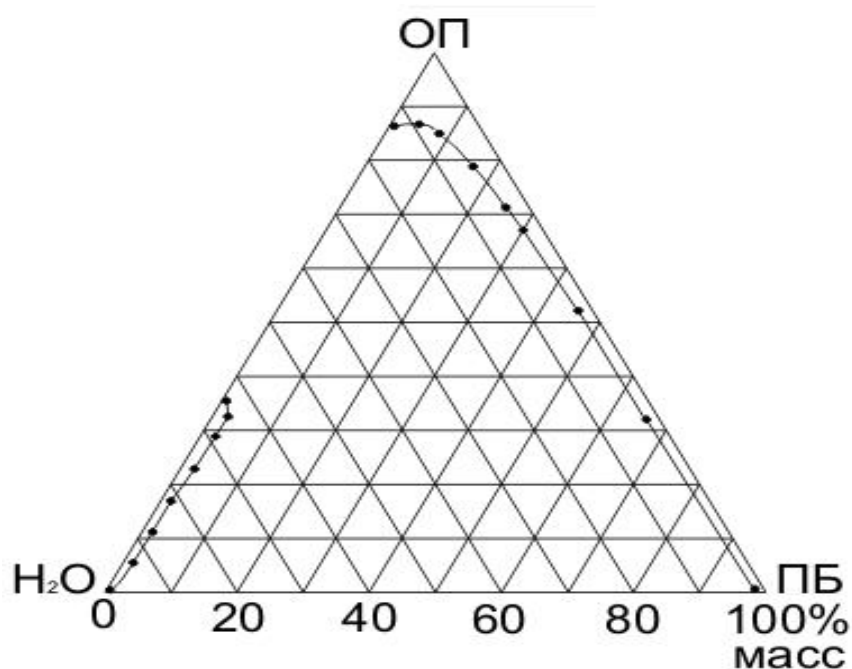


Рисунок 6.6 – Диаграмма расслоения системы ПБ – ОП – вода

Как видно из графика две кривые делят площадь графика на три области. Области, которые находятся правее, левее, выше построенных кривых, это области существования гомогенной системы, а остальные области гетерогенной системы. Кривые представляют собой порог между существованием гомогенной системы и гетерогенной системой. Для создания гомогенного топлива необходима область, в которой содержится наибольшее количество ПБ, небольшое количество ОП и соответственно минимальное количество воды.

### ***Результаты изучения влияния отдельных спиртов на систему ПБ – ОП – вода***

Для составления гомогенной топливной композиции было изучено влияние, оказываемое отдельными спиртами на температуру дестабилизации топлива. Для стабилизации топлива использовались этиловый, изобутиловый и изоамиловый спирты. Содержание ПБ в топливе составило 94,95 масс. %, ОП 4,63 масс. % и воды 0,42 масс. %. Смесь представляла систему, которая расслаивалась при комнатной температуре. Результаты опытов представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Влияние концентрации спирта на температуру дестабилизации системы

Этанол		Изоамиловый спирт		Изобутиловый спирт	
Температура, °C	Масс, %	Температура, °C	Масс, %	Температура, °C	Масс, %
-6	0,28	-8	0,28	-10	0,28
-15	0,56	-20	0,56	-34	0,56
-24	0,84	-34	0,84	-	-
-34	1,12	-	-	-	-

По данным таблицы 6.6 строится график зависимости температуры дестабилизации топлива от содержания спирта. Диаграмма представлена на рис. 6.7.

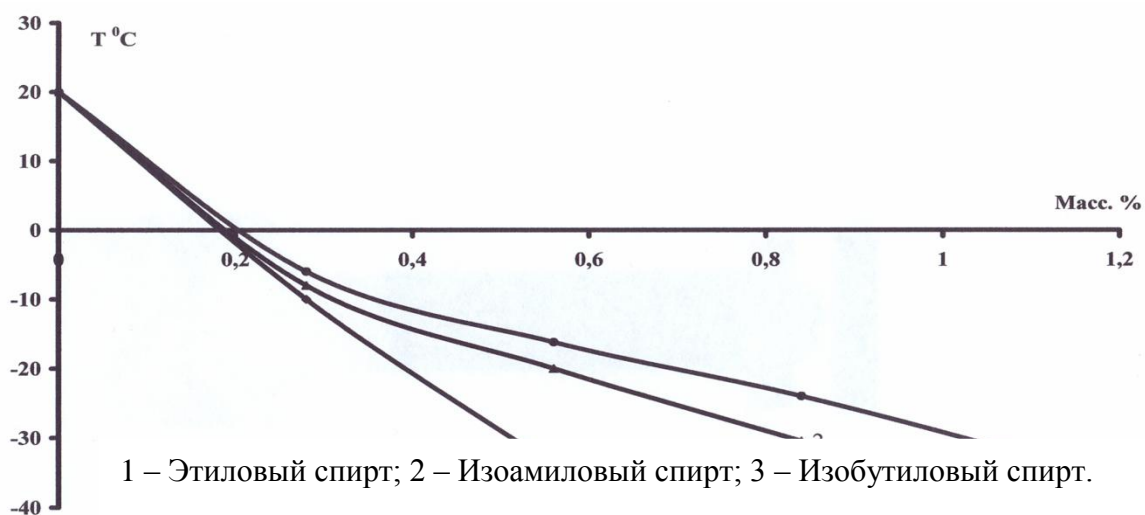


Рисунок 6.7 – Зависимость температуры дестабилизации топлива от содержания спирта

Как видно из графика, эффективность снижения температуры убывает в ряду от изобутилового спирта к этиловому спирту. Наиболее эффективным спиртом, снижающим температуру дестабилизации смеси, будет являться изобутиловый спирт.

#### **6.4 Исследование отдельных спиртов и эфиров на предмет пригодности для топливных композиций по энергетической составляющей**

На данном этапе необходимо было выявить круг веществ наиболее пригодных для использования в качестве улучшающих добавок к автомобильному бензину. Оценивалось влияние отдельных спиртов и эфиров от С1 до С8 на детонационную стойкость бензинов и мощностные показатели работы автомобильного двигателя<sup>121</sup>. Эти характеристики имеют важнейшее значение, поскольку самый значительный экологический эффект будет сводиться на нет, если будут снижены энергетические свойства топлива. Первоначально образцы оксигенатных компонентов поочередно добавлялись в бензин в различных концентрациях и в лаборатории ЦСМ при помощи аналитического прибора (по диэлектрической проницаемости) «ОКТАН-8» определялись октановые числа композиций. Затем для тех же композиций в лаборатории автомобильных двигателей КузГТУ оценивались октановые числа на моторной установке, состоящей из двигателя «Москвич 412 ДЭ» и обкаточно-тормозного стенда КИ-2139-ГОСНИТИ. Данный стенд предназначен для обкатки и испытания автомобильных и тракторных двигателей. Он позволяет задавать и измерять крутящий момент испытуемого двигателя. Помимо этого, данная установка оснащена необходимыми приборами, позволяющими задавать и определять величину оборотов двигателя, углы опережения зажигания, рабочую температуру и давление, а также некоторые другие факторы. Общий вид стенда представлен на рис. 6.8.

Обкаточно-тормозной стенд выполнен на базе асинхронного электродвигателя с фазным ротором. Нагрузка на двигатель определяется током возбуждения, подаваемым на обмотки якоря электродвигателя тормоза. Для изменения тока возбуждения применяется жидкостный реостат.

---

<sup>121</sup> Цыганков, Д.В. Исследование детонационной стойкости бензинов с помощью регулировочных характеристик карбюраторного двигателя / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, Р.Р. Масленников, А.В. Кудреватых // Вестник КузГТУ. – 2002. – №2, С.74-76.



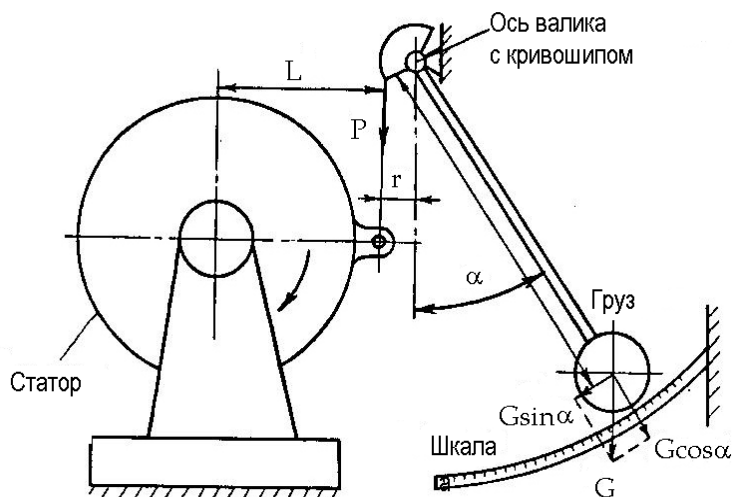


Рисунок 6.8 – Принципиальная схема обкаточно-тормозного стенда

Принцип работы тормоза основан на взаимодействии магнитных полей якоря и статора, вызывающем сопротивление вращению якоря, т.е. торможение; в результате статор увлекается в направлении вращения якоря. Величина усилия ( $P$ ), с которым статор стремится повернуться в подшипниках, равна тяговой силе, развиваемой двигателем. Эта сила прямо пропорциональна углу отклонения маятника ( $\alpha$ ). С маятником связана стрелка, по отклонению которой относительно градуированной шкалы определяется значение силы. Произведение силы ( $P$ ) на плечо тормоза ( $L$ ) дает значение крутящего момента двигателя ( $M_{кр}$ ). Для упрощения определение мощности двигателя плечо тормоза ( $L$ ) специально делают равным  $0,7162\text{м}$ . Таким образом, снимаемая с вала двигателя эффективная мощность ( $N_e$ ), исходя из измеренных тягового усилия на валу ( $P$ ) и количества его оборотов ( $n$ ), определяется как:

$$N_e = Pn/1000, \text{ л.с.} \quad (6.1)$$

Изменение октановых чисел исследовалось сопоставлением характеристик двигателя, работающего на различных образцах композиций. Такая методика оценки октановых чисел была специально разработана авторами. Она позволяет проводить экспресс-оценку и неплохо согласуется с ГОСТ 10373-75 «Бензин автомобильный для двигателей. Методы детонационных испытаний». По методике приведенной в ГОСТе определяются действительные октановые числа, характерные для данных условий экс-

плуатации. Суть предлагаемой методики состоит в определении эффективной мощности двигателя, работающего на разных образцах топлив и каком-то эталонном топливе и сопоставлении этих мощностей.

На эффективную мощность двигателя влияют с одной стороны такие свойства бензинов как фракционный состав и теплотворная способность<sup>122</sup>, а с другой, факторы, определяющие детонационную стойкость бензина. Помимо октанового числа на детонационную стойкость бензина влияют: степень сжатия, нагрузка, состав топливовоздушной смеси, количество оборотов, температура двигателя и угол опережения зажигания<sup>123</sup>. Поэтому, при определении эффективной мощности двигателя предлагаемым методом, необходимо исключить влияние всех вышеназванных факторов, за исключением изменения октановых чисел бензинов. Только в этом случае изменение мощности будет однозначно зависеть от изменения октанового числа бензина.

При проведении исследований для количественной оценки октановых чисел образцов их фракционный состав и теплотворная способность были близки, все эксперименты проводились на одной силовой установке при постоянстве оборотов и температуры двигателя, а также при оптимальных углах опережения зажигания для данных условий и образцов.

Оптимальный угол опережения зажигания находится только при получении так называемой регулировочной характеристики двигателя по углу опережения зажигания. Под регулировочной характеристикой двигателя по углу опережения зажигания понимается зависимость эффективной мощности двигателя от угла опережения зажигания при постоянной скорости вращения коленчатого вала двигателя и постоянном положении заслонок карбюратора.

Примерный вид получаемых зависимостей представлен на рис. 6.9.

---

<sup>122</sup> Цыганков, Д.В. Стабилизация органических веществ окисями олефинов / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, А.М. Гришаева // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. научных работ вып. 8. – Кемерово, 2004. – С.79.

<sup>123</sup> Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1983. – 372с.

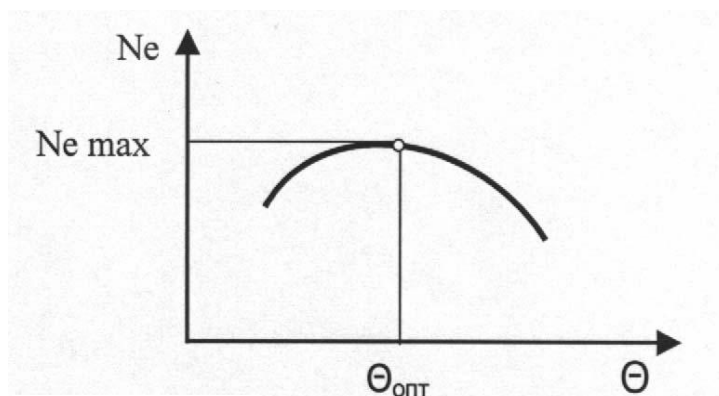


Рисунок 6.9 – Регулировочная характеристика двигателя по углу опережения зажигания

Для получения таких характеристик запускается двигатель на испытуемом образце топлива, устанавливается определенный угол открытия заслонок карбюратора, задается некоторая нагрузка, после чего с помощью октан-корректора изменяется угол опережения зажигания. Затем после корректировки нагрузки и стабилизации теплового режима двигателя проводят измерения.

Меняя угол опережения зажигания несколько раз, находят угол, при котором достигается максимальная мощность.

Для проведения опытов в качестве основного компонента был выбран низкооктановый бензин «Калоша», октановое число которого по исследовательскому методу составляло 76,5 единиц согласно показаниям аналитического прибора.

К данному топливу добавлялись вышеперечисленные кислородосодержащие спирты и эфиры в количестве от 2 до 8 % по объему, после чего с помощью силовой установки с тормозным стендом устанавливалась снимаемая на данных образцах мощность. Затем полученные значения сравнивались с тем, которое было получено при работе на регламентируемом товарном бензине АИ-80, октановое число которого согласно показаниям аналитического прибора составило 82 исследовательских единицы.

При проведении экспериментов устанавливался постоянный угол открытия дроссельной заслонки карбюратора ( $15^{\circ}$ ) и постоянные обороты коленчатого вала двигателя (2000об./мин.) для всех образцов топлива.

Результаты экспериментов, полученных на силовой установке и данных по октановым числам образцов, полученных ра-

нее в лаборатории ЦСМ на аналитическом приборе «ОКТАН-8», сведены в таблицу 6.7.

Таблица 6.7 – Октановые числа образцов бензина с добавками

Состав образца	Октановые числа, определенные с помощью аналитического прибора		Снимаемая с вала двигателя эффективная мощность, л.с.
	Исследовательские единицы	Моторные единицы	
Бензин товарный АИ-80	82,7	78,2	16,4
Бензин «Калюша» («К»)	76,5	73,7	14,2
«К»+ «С4-С8», 2мл./100мл.	82	77,7	14,4
«К»+ «С4-С8», 4мл./100мл.	87,4	81,6	14,0
«К»+ «С4-С8», 6мл./100мл.	92,0	84,9	13,6
«К»+ «С4-С8», 8мл./100мл.	93,2	85,3	13,8
«К»+ «С2», 2мл./100мл.	85,3	80,0	15,2
«К»+ «С2», 4мл./100мл.	93,0	85,2	15,6
«К»+ «С2», 6мл./100мл.	97,2	87,0	15,0
«К»+ «С3», 2мл./100мл.	90,6	83,9	14,6
«К»+ «С3», 4мл./100мл.	94,7	85,8	15,8
«К»+ «С3», 6мл./100мл.	99,2	88,1	15,9
«К»+ «С3», 8мл./100мл.	-----	-----	15,4
«К»+ «С4», 4мл./100мл.	-----	-----	16,2
«К»+ «С4», 8мл./100мл.	-----	-----	16,0
«К»+ «С8», 4мл./100мл.	-----	-----	13,4
«К»+ «С8», 8мл./100мл.	-----	-----	13,6

Для наглядности результаты экспериментов представлены на рис. 6.10. и 6.11.

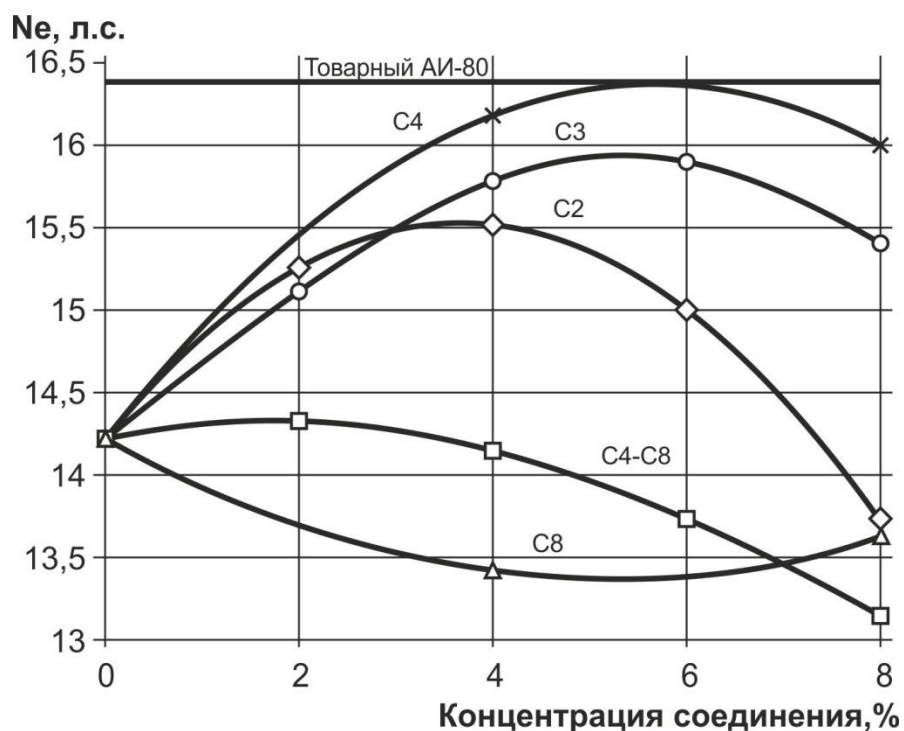


Рисунок 6.10 – Зависимость мощности двигателя от состава образца топлива

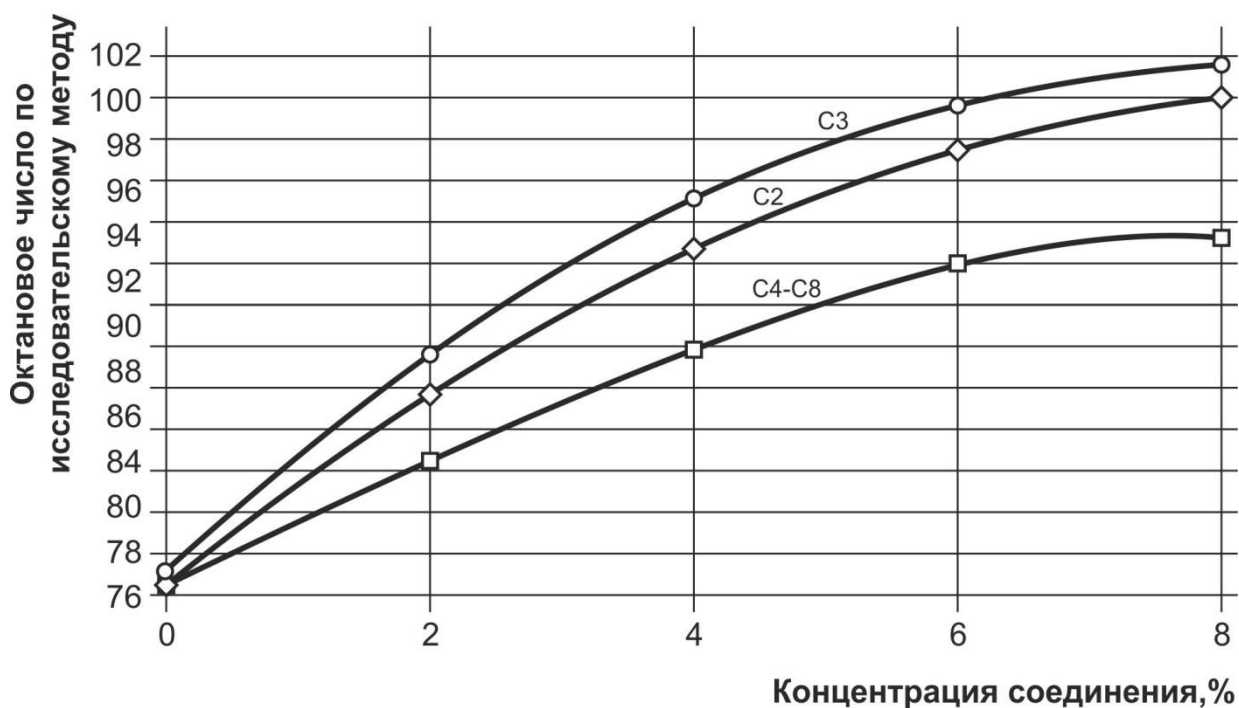


Рисунок 6.11 – Зависимость октанового числа от состава образца топлива согласно показаниям аналитического прибора

Сравнивая приведенные зависимости, видно некоторое несоответствие полученной динамики изменения детонационной

стойкости с тем, что было измерено аналитическим прибором. По показаниям прибора с увеличением содержания присадок наблюдается динамика роста октанового числа при увеличении концентрации присадок, тогда как мощность двигателя растёт лишь до определенной концентрации, а затем снижается. Таким образом, действительно при испытании антидетонационных присадок для получения более точных результатов необходимо пользоваться моторными методами оценки октановых чисел.

Проведенные эксперименты показали, что из предоставленных спиртовых отходов химического производства предприятий Кемеровской области, наиболее перспективными соединениями для создания антидетонационных присадок оказались эфир С3 и спирт С4. Содержание этих веществ в бензине в количестве 4-6% по объему даёт увеличение октанового числа практически на 6 единиц. Спирт С2 хотя и даёт увеличение октанового числа, но он менее эффективен по сравнению со спиртом С4 и эфиром С3. Смесь спиртов С4-С8 при содержании его в топливе до двух процентов видимого влияния на детонационную стойкость не оказывает, а при больших концентрациях её уменьшает. Спирт С8 снижает детонационную стойкость при любых концентрациях в топливе.

Говоря о получении исследуемых соединений, стоит отметить, что все они кроме спиртов С4-С8 являются продуктами, выделенными из отходов химического производства. Спирты С4-С8 является непосредственным отходом, и поэтому не требуется абсолютно никаких затрат на его переработку. В связи с этим данная смесь может представлять определенный интерес при его использовании в качестве небольшой (до двух процентов) нейтральной добавки к топливу. При широком использовании это даёт некоторое снижение затрат на топливо, а главное отпадает необходимость как в таковой утилизации этого отхода.

## **6.5 Обоснование возможности использования сивушного масла и СФК в составе оксигенатной добавки к бензину**

Положительное влияние метанола (С1) и этанола (С2) на бензины давно известно и в литературе описано, однако наряду с большим количеством положительных факторов эти спирты мо-

гут расслаиваться с бензинами, особенно при низких температурах<sup>124</sup>. Для предотвращения разделения на слои рекомендуется дополнительно вводить более высокомолекулярные спирты, однако, как показали исследования, многие высокомолекулярные спирты снижают детонационную стойкость бензина и в целом ухудшают воспламеняемость и горючесть. В качестве второй составляющей в обе композиции добавляется техническая фракция спиртов С-5, являющаяся побочным продуктом при производстве капролактама на ОАО «АЗОТ». Эта техническая фракция называется спиртовая фракция капролактама (СФК). Экспериментальным путем было установлено, что этот компонент улучшает детонационную стойкость топлива. Помимо этого была выявлена повышенная моющая способность технической фракции спиртов С-5, что оказывает позитивное влияние на систему питания двигателя в целом. Ресурсы по производству СФК ограничены и для улучшения всего потребного для города бензина его явно не хватит, поэтому необходимо вещество со сходными свойствами, которое имелось бы в достаточных количествах. Таким веществом является сивушное масло (СМ) – это побочный продукт ректификации этилового спирта. Пищевая промышленность региона вполне способна обеспечить достаточно высокие ресурсы СМ. При смешивании спиртов с бензином образуются мицеллы. Ядро мицеллы включает воду (от спиртов и бензина) и низкомолекулярные спирты. Второй слой составляют высокомолекулярные спирты С4 – С5. Они закрывают своими углеводородными группами полярный центр мицеллы и тем самым препятствуют расслоению в бензине.

Экспериментально установлено, что при попадании воды в бензин (гексан), если в нем содержится метанол и окись пропилена, то метанол практически полностью перейдет в водный слой, а окись пропилена распределится между средами примерно поровну<sup>125</sup>.

---

<sup>124</sup> Данилов, А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей. – М.: Химия, 2000. – 232 с.

<sup>125</sup> Цыганков, Д.В. Распределение метанола и окиси пропилена в системе гексан-вода / Д.В. Цыганков, А.Р. Часовщиков // Пищевые продукты и здоровье человека: сб. тезисов докладов V региональной аспирантско-студенческой конференции. Часть 2. – Кемерово, 2005. – С.165.

## 6.6 Обоснование возможности использования окиси пропилена в составе оксигенатной добавки к бензину

Окись пропилена (ОП) или так называемый эфир С-3 с точки зрения влияния на свойства бензинов практически не изучен, однако являясь активаторами горения (скорость распространения пламени примерно в 1,5 раза выше, чем у углеводородов нефти), способствует более полному сгоранию и позитивно влияет на детонацию.

Экспериментально установлено, что ОП вызывает сокращение продуктов неполного сгорания в отработавших газах (СО и СН) и повышение октанового числа порядка трех единиц. ОП горит стабильно и без образования смол и полностью растворяется в бензине, на часовом стекле не обнаруживается смолистых отложений после ее сгорания. Так же установлено, что ОП обладает хорошей растворяющей способностью для отложений в топливных системах автомобилей. Опытным путем установлено, что ОП стабилизирует углеводороды топлива от окисления.

Хранили прямогонный бензин с октановым числом 63 по моторному методу при комнатной температуре и рассеянном освещении в стекле. Контролировали ряд гостовских показателей и содержание ОП химическим методом. Исходные добавки ОП для трех проб составили 1,8; 0,22 и 0,1 % масс.

Через год концентрация окиси снизилась до 1,52; 0,19 и 0,09 % масс. и через 2 года до 0,12; 0,025 и отсутствие. Во всех указанных пробах кислотность по ГОСТ 5958-79 «Нефтепродукты» – отсутствует. Цвет и другие изучаемые показатели практически не изменились. Контрольный образец приобрел желтоватую окраску, среда из нейтральной перешла в кислую.

Таким образом, можно говорить о долговременном (до 2 лет) стабилизирующем эффекте ОП для углеводородов прямогонного бензина при ее концентрации до уровня 0,1 – 0,2 % масс<sup>126</sup>.

---

<sup>126</sup> Цыганков, Д.В. Стабилизация органических веществ окисями олефинов / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, А.М. Гришаева // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. научных работ вып. 8. – Кемерово, 2004. – С.79.



## 6.7 Определения рабочей концентрации отдельных оксигенатов в составе добавки

Поскольку СО является преобладающим элементом в отработавших газах, то необходимо произвести оптимизацию концентрации каждого оксигенатного соединения (метанола, этанола, СФК, СМ и ОП) в бензине по критерию минимума токсичности по СО. Для этого сначала определялось содержание СО в отработавших газах двигателя «Москвич 412ДЭ» при его эксплуатации на бензине с различным содержанием отдельных оксигенатных соединений.

Определялись те концентрации оксигенатов, при которых достигается минимум токсичности. Затем при изготовлении композиций предпочтение отдавалось именно этим концентрациям. Если во всем диапазоне измерений экстремум не выявлялся, то добавка могла достигать максимальной концентрации оксигената по ГОСТ Р 51866 – 2002 «Бензин неэтилированный». Замеры токсичности отработавших газов проводились согласно ГОСТ 17.2.2.03-87 «Охрана природы. Атмосфера».

Результаты испытаний представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Содержание окиси углерода (СО) в отработавших газах двигателя при добавлении в бензин оксигенатов

Содержание оксигената в бензине, % об	Содержание окиси углерода, %	
	Минимально устойчивые обороты холостого хода	Повышенные обороты холостого хода
0 (бензин без оксигената)	2,25	0,8
Спирт С1		
1,0	2,2	0,5
2,0	2,2	0,5
3,0	1,7	0,5
4,0	1,6	0,5
6,0	1,5	0,2
8,0	1,25	0,2
Спирт С1		
10,0	1,2	0,2
12,0	1,1	0,2
14,0	1,1	0,2
16,0	1,0	0,2

Содержание оксигената в бензине, % об	Содержание окиси углерода, %	
	Минимально устойчивые обороты холостого хода	Повышенные обороты холостого хода
Спирт С2		
2,0	1,7	0,4
4,0	1,7	0,3
6,0	1,7	0,2
8,0	1,6	0,2
10,0	1,5	0,2
14,0	1,1	0,2
Эфир С3		
0,1	2,2	0,4
0,2	2,2	0,6
0,5	1,75	0,7
1,0	1,3	0,4
2,0	1,5	0,6
Спирт С5(СМ)		
0,1	1,8	0,5
0,5	1,5	0,8
2,0	1,75	0,55
4,0	1,7	0,3
6,0	1,25	0,25
8,0	1,4	0,25
10,0	1,5	0,3
Спирт С5(обезвоженный) СФК		
1,0	2,0	0,25
2,0	1,55	0,25
3,0	1,5	0,4
5,0	1,5	0,4
6,0	1,5	0,5
8,0	1,5	0,5

На основе полученных результатов были построены графики, представленные на рисунках 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16 (верхняя кривая соответствует работе двигателя на минимально устойчивых оборотах холостого хода, а нижняя – на повышенных оборотах холостого хода).

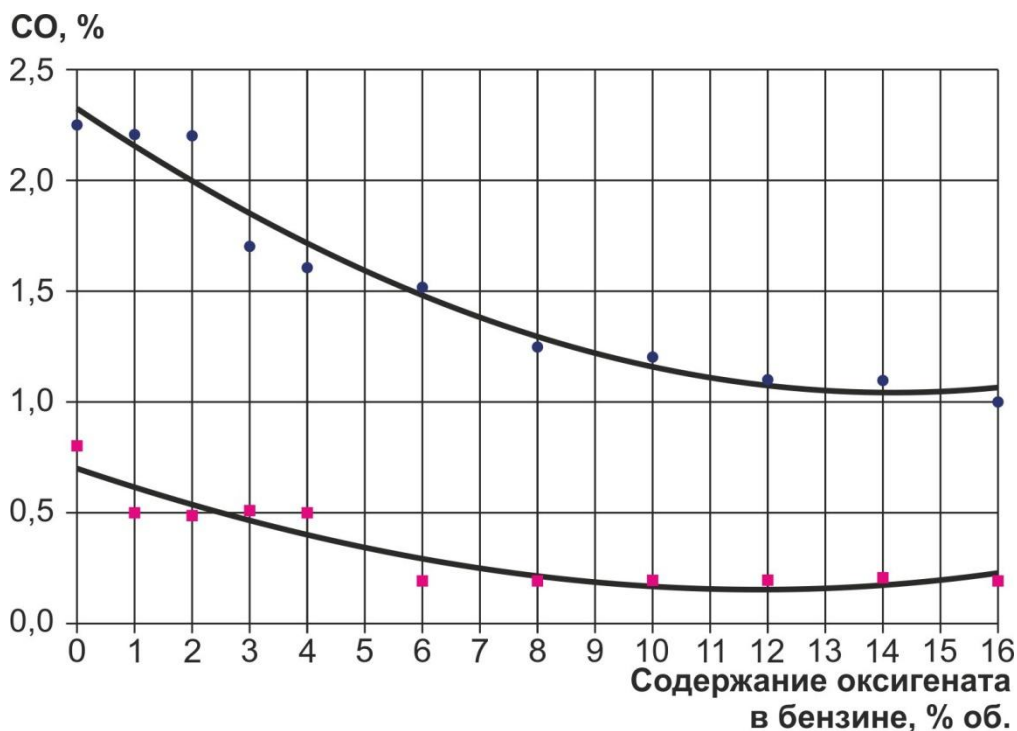


Рисунок 6.12 – Динамика изменения окиси углерода (CO) в отработавших газах при изменении концентрации спирта С1 в бензине

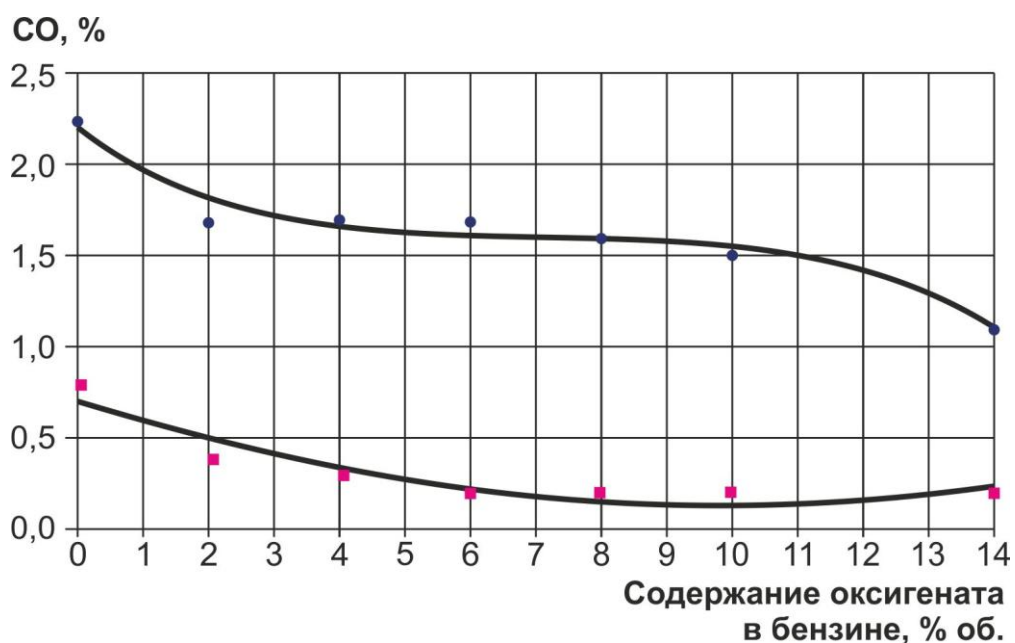


Рисунок 6.13 – Динамика изменения окиси углерода (CO) в отработавших газах при изменении концентрации спирта С2 в бензине

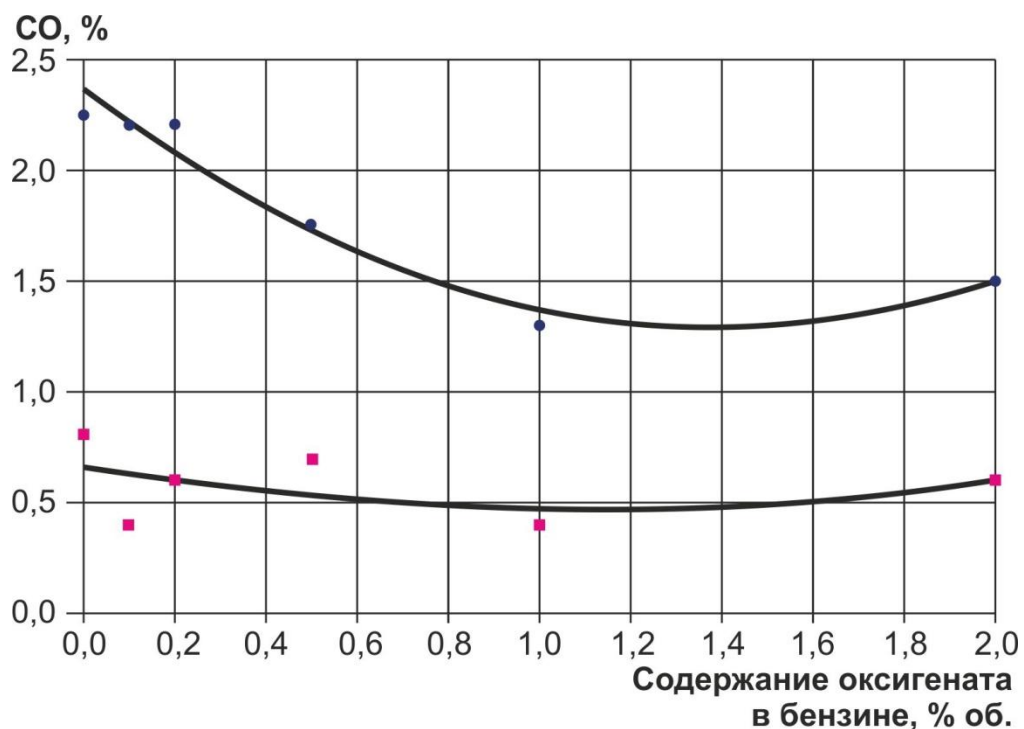


Рисунок 6.14 – Динамика изменения окиси углерода (CO) в отработавших газах при изменении концентрации эфира С3 в бензине

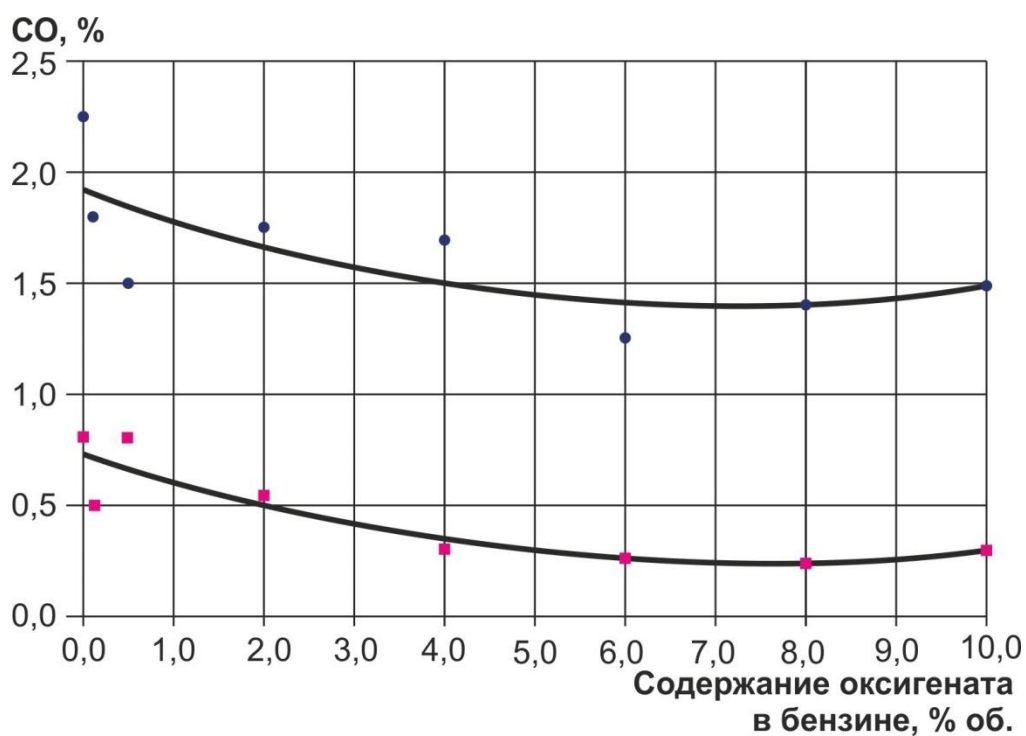


Рисунок 6.15 – Динамика изменения окиси углерода (CO) в отработавших газах при изменении концентрации СМ в бензине

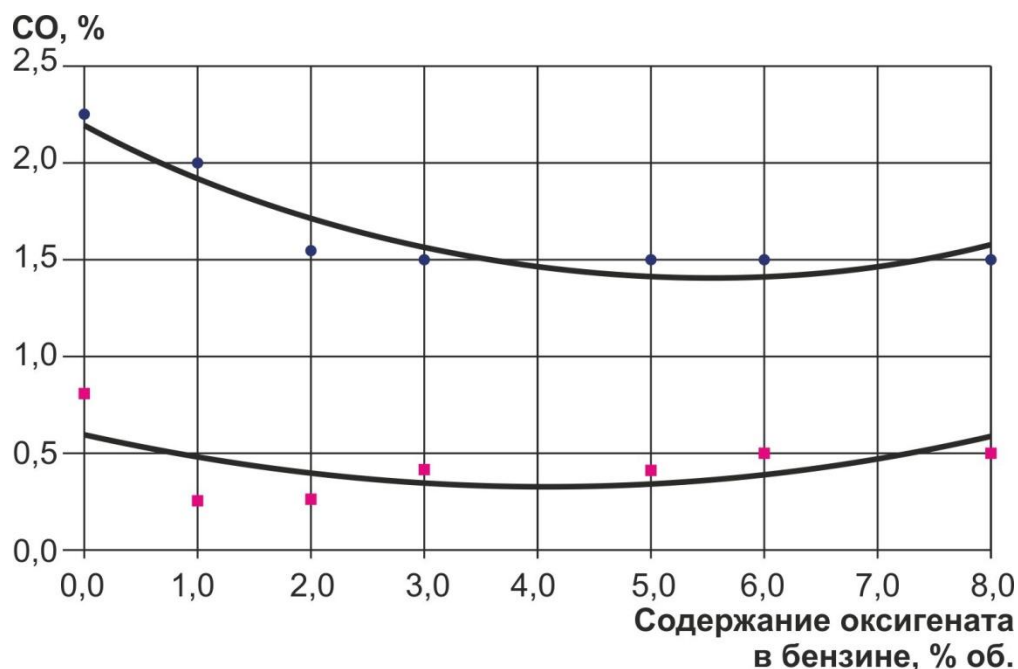


Рисунок 6.16 – Динамика изменения окиси углерода (CO) в отработавших газах при изменении концентрации СФК (обезвоженного) в бензине

Максимальное процентное содержание оксигенатов в бензине было ограничено требованиями ГОСТ Р 51866 – 2002 «Бензин неэтилированный», согласно которому объемная доля оксигенатных соединений ограничивается: метанол – 3%, этанол – 5%, изопропиловый спирт – 10%, изобутиловый – 10%, третбутиловый спирт – 7%, эфиры C5 и выше – 15%, другие оксигенаты – 10%. Данный ГОСТ соответствует европейской нормале EN 228 – 99, предусматривающую 2.7%-ую добавку оксигенатов.

Исходя из проведенных исследований и требования ГОСТа, были разработаны две базовые добавки к автомобильным бензинам, которые снижают детонацию, увеличивают мощностные и экономические показатели двигателей и значительно снижают содержание окиси углерода в отработавших газах, практически не изменяя при этом содержание других токсических компонентов. Основой первой добавки является метанол, а второй этанол. Влияние этих спиртов на бензины давно известно и в литературе описано, однако наряду с большим количеством положительных факторов эти спирты могут расслаиваться с бензинами, особенно

при низких температурах<sup>127</sup>. Для предотвращения этого рекомендуется дополнительно вводить более высокомолекулярные спирты, однако как показали исследования, многие высокомолекулярные спирты снижают детонационную стойкость бензина и в целом ухудшают воспламеняемость и горючесть. В качестве высокомолекулярной составляющей в обе композиции добавляется техническая фракция спиртов С-5), являющаяся побочным продуктом при производстве капролактама на ОАО «АЗОТ». Экспериментальным путем было установлено, что этот компонент улучшает октановое число и стабильность (нерасплаиваемость) топлива. Помимо этого была выявлена повышенная моющая способность технической фракции спиртов С-5, что оказывает позитивное влияние на систему питания двигателя в целом. И последний, третий элемент, входящий в обе композиции – это эфир С-3 или окись пропилена. Обоснование по его введению в композицию дано ранее.

Результаты исследований сведены в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 – Содержание окиси углерода (СО) в отработавших газах двигателя при добавлении в бензин смеси оксигенатов

Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об.к бензину	Содержание окиси углерода, %	
	Минимально устойчивые обороты холостого хода	Повышенные обороты холостого хода
С3:С1=1:2	1,6	0,5
С3:С1=1:3	1,5	0,4
С3:С2=1:2	1,6	0,75
С3:С2=1:5	1,3	0,5
С3:С1:С5=1:3:4	1,5	0,3
С3:С1:С5=1:3:2	1,3	0,3
С3:С2:С5=1:5:2	1,3	0,6
С3:С2:С5=1:5:4	1,5	0,6

При анализе полученных данных было установлено, что наиболее экологически оптимальными смесями являются смеси С3:С1:С5=1:3:4 % об.и С3:С2:С5=1:5:4 % об.

В качестве эфира С3 в данных композициях используется окись пропилена (ОП), С1 и С2 – это соответственно метиловый

<sup>127</sup> Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: Учеб. пособие / МАДИ (ТУ) – М., 2001. – 262 с.

и этиловый спирты, в качестве спирта С5 может выступать либо спиртовая фракция капролактама (СФК), либо сивушное масло (СМ). Предпочтительнее использовать СФК, поскольку это отход, подлежащий сжиганию.

Был проведен патентный поиск и выявлен ряд добавок, близких по функциям и составу установленным, произведен их сравнительный анализ, установлены их достоинства и недостатки.

Известна антидетонационная добавка к автомобильному бензину содержащую органическую производную марганца ароматический амин и оксигенаты из группы метиловый, этиловый спирт, метил-трет-бутиловый эфир или их смесь<sup>128</sup>. Марганец может образовывать нагар, вызывающий перебои в работе свечей зажигания, а ароматический амин токсичен и ограниченно растворяется в бензине.

Известна антидетонационная добавка к автомобильному бензину содержащая изопропиловый спирт, изопентановую фракцию и побочные продукты производства изопропилового спирта из пропилена<sup>129</sup>. Малотоннажность производства составляющих ограничивает производство таких композиций.

Известна топливная композиция на основе бензина, содержащая в качестве высокооктановой добавки побочные продукты производства изопропилового спирта в количестве 5,0 – 20 мас. %<sup>130</sup>. Малотоннажность отхода ограничивает производство таких композиций.

Известна антидетонационная добавка к автомобильным бензинам в количестве 10 – 20 % чистого изобутилового масла – являющегося отходом производства метанола<sup>131</sup>. Нерассмотренная способность изобутилового масла стабилизировать бензино-метанольные и бензино-этанольные смеси снижает ценность данного изобретения.

Предлагается использовать чистый изобутанол для стабилизации бензино-метанольных смесей, в которых количество метанола может составлять до 15 мас. %. Применение чистого изобу-

---

<sup>128</sup> Патент РФ № 2260034, кл. С 10 L 1/18, С 10 L 1/22, 2004.

<sup>129</sup> Патент РФ № 2260033, кл. С 10 L 1/18, 2004.

<sup>130</sup> Патент РФ № 2044033, кл. С 10 L 1/18, 1995.

<sup>131</sup> Авторское свидетельство РФ № 762419, кл. С 10 L 1/18, 1996.

тилового спирта отрицательно сказывается на экономической целесообразности данного топлива.

Известна добавка к моторному топливу, содержащая обводненный этанол и соразтворитель, представляющей собой алифатические спирты  $C_3 - C_5$ <sup>132</sup>. В состав такой топливной композиции может входить от 1 до 12 мас. % обводненного этанола и 0,3 – 0,4 мас. % алифатических спиртов. Ограниченность ресурсов производства высших спиртов, их высокая стоимость лимитирует возможность применения этой композиции.

Известна также топливная композиция, содержащая бензин, обводненный этанол и добавку для улучшения стабильности композиции, представляющую собой сложный эфир уксусной кислоты, где алкидный радикал имеет от 1 до 6 атомов углерода линейного или разветвленного строения. Содержание такого соразтворителя в композиции 0,1 – 1,0 мас. %<sup>133</sup>. Недостатком такой композиции является низкая стабилизирующая способность ацетатов в бензино-этанольных смесях.

Наиболее близкой к заявленному техническому решению является композиция углеводородного топлива на основе низкооктанового бензина и кислородсодержащего компонента в виде продуктов дистилляции смеси головной фракции этилового спирта и сивушного масла<sup>134</sup>. Недостатком является то, что высокие температуры помутнения не позволяют использовать топливо в зимних условиях. Не рассмотрена возможность стабилизации бензино-метанольных смесей.

В последней композиции не используется окись пропилена, в отличие от предлагаемых добавок.

## **6.8 Определение потребности в оксигенатном бензине для города Кемерова**

По данным центра госсанэпиднадзора г. Кемерова можно, используя примерные нормы расхода топлива, определить расход топлива по категориям автомобилей и в целом. Результаты обработки данных представлены в таблице 6.10.

<sup>132</sup> Патент США № 4541836, кл. С 10 L 1/18, 1985.

<sup>133</sup> Патент США № 4394133, кл. С 10 L 1/18, 1983.

<sup>134</sup> Патент РФ № 2106391, кл. С 10 L 1/18, 1998.



Таблица 6.10 – Годовой расход топлива по категориям автомобилей

Тип автомобиля	Количество автотранспорта, шт.	Общий пробег, км.	Норма расхода топлива л/100 км.	Расход топлива, л
Легковой автотранспорт				
Менее 1,3 л	8526	91140000	6,65	6060810
1,3 – 1,8 л	47583	723170000	10,24	74021512
1,8 – 3,5	1941	224240000	16,33	36625119
Грузовой автотранспорт				
Грузоподъемность 0,5 – 2т	2954	132930000	11,36	15100848
2 – 5т	5134	179690000	22,25	39981025
5 – 8 т	929	32515000	37,38	12155082
Автобусы				
Особо малый L<7,5м	735	44100000	11,32	4992120
Малый 6<L<7,5м	1223	73380000	23,0	16877400
Средний 8<L<9,5м	846	42300000	35,0	14805000
Суммарный расход бензина всеми автомобилями, л				220618916

Как видно из таблицы 6.10 общий годовой расход бензина составляет более 220 миллионов литров. Поскольку оксигенатный бензин дает существенный экологический эффект (снижение CO до 50%), то есть смысл улучшать весь потребляемый бензин.

### 6.9 Анализ наличия и доступности оксигенатного сырья для производства улучшенного бензина

Общий потребный расход бензина в г. Кемерово составляет 250 миллионов литров в год. Предлагаемые две композиции содержаться в бензине в следующих концентрациях ОП:С1:СФК=1:3:4 и ОП:С2:СФК=1:5:4. Определим, сколько потребуется данных спиртов и эфиров, чтобы улучшить весь бензин.

Метанольная композиция:

С3 – 1 % составит 2500000 л.

С1 – 3% составит 7500000 л.

С5 – 4% составит 10000000 л.

Суммарный литраж 20000000 л.

Этанольная композиция:

C3 – 1 % составит 2500000 л.

C2 – 5% составит 12500000 л.

C5 – 4% составит 10000000 л.

Суммарный литраж 25000000 л.

В результате замещения части бензина оксигенатами ресурсосбережение бензина составит до:

$250000000 - 200000000 = 230000000$  л.

↓  
Спирты

↘  
Нефтяное топливо

Определим наличие оксигенатов на химических предприятиях города Кемерово.

#### *Химпром*

Может поставлять окиси пропилена (C3) до 1000 тонн в год, этанола (C2) до 8000 м<sup>3</sup> в год. Определим на сколько процентов предприятие может перекрыть потребность в данных оксигенатах.

C3 – 1000 т/год,  $\rho = 860$  кг/м<sup>3</sup> следовательно объем составит 1163000 л/год замещение произойдет на 46,5%;

C2 – 8000000 л/год замещение произойдет на 64%.

#### *Азот*

Может поставлять СФК (C5) до 2000 тонн в год от производства капролактама и 1118 т/год метанола от производства диафена ФП. Определим на сколько процентов предприятие может перекрыть потребность в данных оксигенатах.

C1 – 1118 т/год,  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup> следовательно объем составит 1397000 л/год замещение произойдет на 18,6%;

C5 – 2000 т/год,  $\rho = 870$  кг/м<sup>3</sup> следовательно объем составит 2300 м<sup>3</sup>/год из них вода составит около 10%, тогда объем СФК составит 2070 м<sup>3</sup>/год, что составит 2070000 л/год – замещение произойдет на 20,7%.

Таким образом, город своими силами может обеспечить улучшение почти 20% всего потребляемого бензина. Если метанол получать из Томскоко НХЗ, а СФК заменить на сивушное масло (СМ) и получать его со спиртовых заводов области, то можно будет обеспечить почти 50% замещение всего бензина оксигенатным.

## 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТНОГО БЕНЗИНА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА

### 7.1 Определение токсичности отработавших газов при эксплуатации автомобилей на оксигенатном бензине

Токсичность отработавших газов определялась на различных автомобилях с разными системами питания по ГОСТ 17.2.2.03-87 «Охрана природы. Атмосфера». Оценка токсичности проводилась на СТО при «Кемеровском региональном центре развития трудовых ресурсов» с помощью газоанализатора SUN-3500 (США) и на кафедре эксплуатации автомобилей Кузбасского государственного технического университета с помощью газоанализатора АСКОН – 01<sup>135</sup>. Результаты приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Оценка токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2106 (карбюраторный) с помощью газоанализатора SUN-3500

Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об	Минимально устойчивые обороты холостого хода			Повышенные обороты холостого хода		
	СО, %	СН, млн-1	СО <sub>2</sub> , %	СО, %	СН, млн -1	СО <sub>2</sub> , %
0 (бензин без оксигената)	2.16	367	11.6	7.21	421	8.56
ОП:С1:СФК=1:3:4	0.97	277	12.1	6.18	395	8.89
ОП:С2:СФК=1:5:4	0.23	290	12.1	5.58	329	9.16

При анализе полученных данных видно, что наиболее значительное снижение окиси углерода происходит на минимально устойчивых оборотах холостого хода: по композиции ОП:С1:С5 снижение СО составило 55 %, по композиции ОП:С2:С5 снижение СО составило около 90 %. На повышенных оборотах холостого хода также наблюдается снижение СО, но не такое значительное. Содержание углеводородов изменяется менее значительно.

<sup>135</sup> Мирошников, А.М. Разработка, испытание и внедрение компонентов нефтяного топлива с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками / А.М. Мирошников, Д.В. Цыганков, А.В. Салищев // «Инновации и изобретения года» Материалы регионального конкурса. – Кемерово: Кузбасская торговая палата, 2004, С. 35.

Результаты оценки токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2105 (карбюраторный) с помощью газоанализатора АСКОН – 01 приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Оценка токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2105 (карбюраторный) с помощью газоанализатора АСКОН – 01

Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об	Минимально устойчивые обороты холостого хода			Повышенные обороты холостого хода		
	СО, %	СН, млн-1	СО <sub>2</sub> , %	СО, %	СН, млн -1	СО <sub>2</sub> , %
0 (бензин без оксигената)	4,77	328	5,4	5,86	1156	5,7
ОП:С1:СФК=1:3:4	2,86	263	5,7	6,53	1174	5,8
ОП:С2:СФК=1:5:4	2,12	281	6,3	5,81	1047	6,2
ОП:С1:СМ=1:3:4	1,78	312	5,8	5,24	1072	6,5
ОП:С2:СМ=1:5:4	1,04	370	5,9	6,07	709	7,6

Результаты оценки токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2105 (карбюраторный) с помощью газоанализатора SUN-3500 представленный в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Оценка токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2105 (карбюраторный) с помощью газоанализатора SUN-3500

Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об	Минимально устойчивые обороты холостого хода			Повышенные обороты холостого хода		
	СО, %	СН, млн-1	СО <sub>2</sub> , %	СО, %	СН, млн -1	СО <sub>2</sub> , %
0 (бензин без оксигената)	3,37	393	7,52	4,89	1200	8,19
ОП:С1:СФК=1:3:4	0,36	346	8,62	2,56	1183	8,47
ОП:С2:СФК=1:5:4	0,92	245	8,05	3,66	1150	8,58
ОП:С1:СМ=1:3:4	0,91	292	7,99	3,22	1084	8,52
ОП:С2:СМ=1:5:4	0,54	269	8,67	2,74	1256	8,52

Измерения, представленные в таблице 7.2. и 7.3. проводились в одно и то же время и, следовательно, по полученным данным можно судить о степени соответствия приборов. Расхождения в показаниях приборов составили около 1%. По данным замерам наблюдается та же тенденция, что и по предыдущим: на повышенных оборотах холостого хода также наблюдается незна-

чительное снижение CO, содержание углеводородов изменяется незначительно, в большей степени происходит снижение CO на минимальных оборотах холостого хода. По прибору АСКОН – 01 для композиции ОП:С1:СФК снижение CO составило 40 %, для композиции ОП:С2:СФК – 55 %, для композиции ОП:С1:СМ – 62,7 %, для композиции ОП:С2:СМ – 88,7 % .

По прибору SUN-3500 для композиции ОП:С1:СФК снижение CO составило 89,3 %, для композиции ОП:С2:СФК – 72,7 %, для композиции ОП:С1:СМ – 73 %, для композиции ОП:С2:СМ – 83,9 % .

Результаты оценки токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2109 (впрысковый) с помощью газоанализатора АСКОН – 01 представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Оценка токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2109 (впрысковый) с помощью газоанализатора АСКОН – 01

Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об	Минимально устойчивые обороты холостого хода			Повышенные обороты холостого хода		
	CO, %	CH, млн-1	CO <sub>2</sub> , %	CO, %	CH, млн -1	CO <sub>2</sub> , %
0 (бензин без оксигената)	1,69	226	11,9	0,38	90	11,9
ОП:С2:СФК=1:5:4	0,59	157	11,0	0,34	83	10,5

Результаты оценки токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2109 (впрысковый) с помощью газоанализатора SUN-3500 представлены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Оценка токсичности отработавших газов автомобиля ВАЗ-2109 (впрысковый) с помощью газоанализатора SUN-3500

Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об	Минимально устойчивые обороты холостого хода			Повышенные обороты холостого хода		
	CO, %	CH, млн-1	CO <sub>2</sub> , %	CO, %	CH, млн -1	CO <sub>2</sub> , %
0 (бензин без оксигената)	1,71	226	12,1	0,4	94	11,5
ОП:С2:СФК=1:5:4	0,67	226	15,72	0,15	84	14,97

На впрысковом двигателе ВАЗ-2109 отмечаются те же самые тенденции, что и на карбюраторных двигателях ВАЗ-2106 и

ВАЗ-2105: максимальный эффект по снижению СО проявляется на минимальных оборотах холостого хода. По прибору АСКОН – 01 для композиции ОП:С2:СФК снижение СО составило 65 %, по прибору SUN-3500 – 60,8 %.

В целом следует отметить неплохую сходимость результатов и выделить четкую тенденцию по разным приборам и автомобилям к максимальному снижению СО именно на минимальных оборотах холостого хода. Снижение углеводородов примерно одинаковое как на минимальных, так и на повышенных оборотах холостого хода и составляет до 30 %, в то же время по некоторым замерам наблюдалось незначительное их увеличение до 5 %.

## **7.2 Определение октановых чисел и коэффициента распределения детонационной стойкости оксигенатного бензина**

Были определены фактические октановые числа оксигенатного бензина по ГОСТ 10373 – 75 «Бензины автомобильные для двигателей. Методы детонационных испытаний». Метод стендовых детонационных испытаний бензинов для двигателей предназначен для оценки детонационных требований двигателя и фактических антидетонационных свойств бензинов на данном двигателе по детонационным характеристикам при работе двигателя на установившихся режимах работы во всем диапазоне частоты вращения и соответственно детонационным характеристикам испытуемых бензинов. Октановые числа определялись на моторной установке, состоящей из двигателя «Москвич 412ДЭ» и обкаточно-тормозного стенда КИ-2139-ГОСНИТИ.

По результатам экспериментов выявлен прирост октановых чисел на всех топливных композициях порядка 6 единиц.

При анализе композиций в целом установлено еще одно полезное свойство, как разработанных композиций, так и спиртовых добавок в целом – это способность повышать коэффициент распределения детонационной стойкости бензина (КРДС). Данное свойство является следствием того, что спирты и указанный эфир имеют достаточно низкую температуру кипения, за счет чего, повышая в целом октановое число, спирты, прежде всего, по-

вышают октановое число легких фракций бензина, что приводит к увеличению (КРДС). Для низкооктановых бензинов, таких как АИ-80, это не так существенно (в силу высокого КРДС разница октановых чисел между легкими и тяжелыми фракциями не велика), а для более высокооктановых бензинов легкие фракции имеют существенно более низкое октановое число, что при работе двигателя в режиме резкого ускорения в первый момент приводит к увеличению детонации. Применение разработанных добавок сокращает это вредное явления.

Таким образом, разработанные композиции не только позволяют из низкооктановых бензинов получать с минимальными материальными затратами более высокооктановые топлива, которые при сгорании дают меньшую токсичность отработавших газов, но и улучшать свойства именно высокооктановых бензинов, необходимых для современных высокофорсированных двигателей<sup>136</sup>.

В ходе исследования выявлено увеличение как КРДС, так и октанового числа фракции с температурой кипения ниже 100°C.

Расчетные эксплуатационные показатели смесового топлива представлены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Расчетные эксплуатационные показатели смесового топлива

Показатели	Бензин	Содержание смеси оксигенатов в бензине, % об	
		С3:С1:С5=1:3:4	С3:С2:С5=1:5:4
ОЧИ	92	92,8	92,9
ОЧф< 100°C	79	82,16	83,46
ОЧф> 100°C	105	105	105
КРДС=(ОЧф< 100°C) / (ОЧф> 100°C)	0,752	0,786	0,795

Были проведены дорожные испытания оксигенатных бензинов в КОО «Химпром» на автомобилях ГАЗ 3310, ГАЗ 3110,

<sup>136</sup> Цыганков, Д.В. Улучшение эксплуатационных характеристик автомобильных двигателей за счет использования оксигенатных добавок к топливу / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, Р.Р. Масленников // Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов: сб. статей IX Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2004. – С. 226-228.

ВАЗ 2105 и ВАЗ 2106, которые выявили качественное улучшение тягово-скоростных свойств автомобилей<sup>137</sup>.

### **7.3 Физико-химический анализ оксигенатного бензина**

#### ***Методика физико-химического анализа оксигенатного бензина***

##### ***1. Оценка образцов по внешним признакам***

Сравнивают различные бензины из имеющегося ассортимента, обращая внимание на цвет, прозрачность и запах. Сопоставляют с исследуемым образцом.

##### ***Цвет***

Бензин наливают в стеклянный цилиндр и рассматривают. Окраска бензинов в оранжевый, желтый, зеленый или синий цвета указывает на наличие в нем этиловой жидкости. Автомобильные этилированные бензины окрашены АИ-80 – желтый; АИ-92 – оранжевый цвет.

Неэтилированные бензины бесцветны.

Желтый или светло-коричневый цвет бензина может быть вызван наличием смолистых веществ или загрязнения бензина.

##### ***Прозрачность***

Бензин наливают в стеклянный цилиндр и рассматривают. Бензин должен быть совершенно прозрачен и не содержать взвесей и осадков. Мутный вид бензина при комнатных температурах обычно вызывается наличием в нем воды в виде эмульсии. В бензине такая эмульсия быстро распадается (15-30 мин.) и вода оседает на дно сосуда в виде капелек или слоя.

Взвеси и осадки являются механическими примесями.

##### ***Запах***

Бензин прямой перегонки не имеет резкого неприятного запаха свойственного бензинам, содержащим продукты термического крекинга.

##### ***2. Испарение на бумаге***

---

<sup>137</sup> Цыганков, Д.В. Оксигенатные присадки к топливу на основе регионального сырья / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, Н.С. Тишков, Е.В. Питенёв // Вестник КузГТУ. – 2004. – №2. – С. 93-94.



На белую фильтровальную бумагу наносят стеклянной палочкой одну каплю испытуемого образца бензина и дают ему испариться. Осматривают остаток после испарения. Бензин хорошего качества испаряется с бумажки без остатка. Если бензин имеет значительное количество высококипящих углеводородов, то на бумаге остается незначительный след (пятно), который доиспаряется лишь при легком подогреве над электроплиткой.

### 3. Определение водорастворимых кислот и щелочей

В делительную воронку 2 (рис. 7.1) наливают 30 мл испытуемого бензина, добавляют такое же количество дистиллированной воды и смесь интенсивно взбалтывают в течение 5 мин.

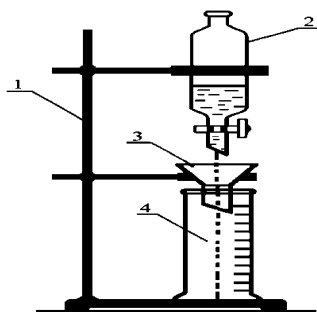


Рисунок 7.1 – Установка для определения водорастворимых кислот и щелочей

1 - штатив химический; 2 - делительная воронка; 3 - воронка; 4 - измерительный цилиндр

После отстоя водную вытяжку сливают в две пробирки по 5 мл в каждую. В одну из пробирок добавляют 2 капли метилового оранжевого индикатора и сравнивают с цветом такого же объема дистиллированной воды, в которую добавляют две капли индикатора. Окрашивание водной вытяжки в розовый или малиновый цвет указывает на наличие в испытуемом бензине водорастворимых кислот.

Во вторую пробирку с водной вытяжкой добавляют три капли фенолфталеина и сравнивают с цветом такого же объема дистиллированной воды, в которую добавляют две капли индикатора. Окрашивание раствора в розовый или красный цвет указывает соответственно на слабощелочную или щелочную реакцию.

Бензин считается не содержащим свободную щелочь и водорастворимые кислоты при отсутствии окрашивания водной вытяжки как от фенолфталеина так и от метилоранжа.

Опыт можно провести с помощью универсальной индикаторной бумаги. Для этого полоску индикаторной бумаги нужно обмокнуть на 10-15 мм в водную вытяжку, положить на белую непромокаемую подложку и быстро сравнить окраску полоски с эталонной шкалой.

#### 4. Определение смолистости и загрязненности бензина по остатку после сжигания на часовом стекле

На часовое стекло диаметром 50-70 мм, установленное выпуклостью вниз на асбестовой сетке, наливают с помощью пипетки или шприца точно 1 мл испытуемого топлива и поджигают его спичкой. После окончания горения стеклу дают остыть и осматривают остаток на стекле. Бессмолый или малосмольный бензин оставляет на стекле след в виде бледного кольца. Смолистый бензин дает ряд концентрических колец желтого или коричневого цвета (рис. 7.2.).

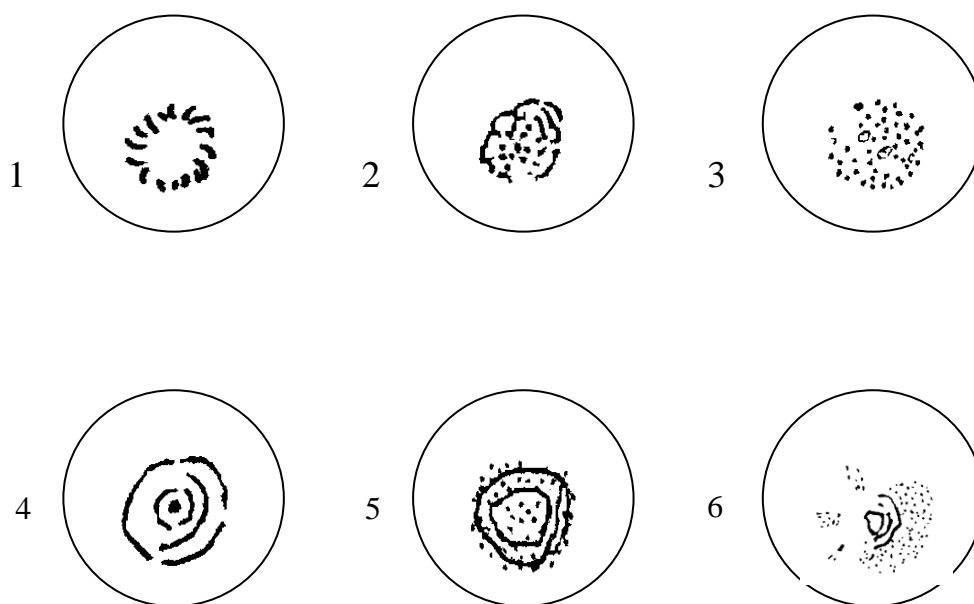


Рисунок 7.2 – Примерный вид остатка после сжигания

1 - бессмольный бензин; 2 - смолистый бензин; 3 - бензин, загрязненный маслом; 4 - бензино-бензольная смесь; 5 - бензин, загрязненный кристаллическими примесями; 6 - бензин, загрязненный парафином

Бензины, содержащий бензол, даже бессмольные, дают большое коричневое кольцо с черным углистым остатком в центре.

Бензин загрязненный маслом и другими жидкими тяжелыми примесями, оставляет на стекле несгоревшие капли, обычно располагающиеся по окружности ближе к краю.

#### 5. Испытание на медной пластинке

Испытуемое топливо в количестве 75 мл наливают в колбу 4 (рис. 7.3.).

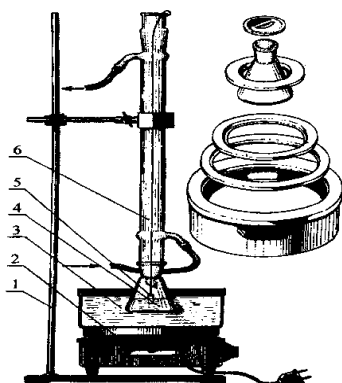


Рисунок 7.3 – Установка для испытания на медной пластинке

1 - штатив; 2 - нагреватель; 3 - водяная баня; 4 - колба; 5 - медная пластинка; 6 - холодильник

Включают нагреватель 2 водяной бани. Медную пластинку 5 подвешивают на проволочке так, чтобы пластинка была погружена приблизительно наполовину в топливо.

Включают проточную воду в холодильнике 6. Колбу 4 соединяют с холодильником и опускают в кипящую воду водяной бани 3 на 18 минут. Уровень воды в водяной бане должен быть выше уровня топлива в колбе. По истечении 18 минут отключают подогреватель и холодильник, колбу вынимают из водяной бани, медную пластинку извлекают и тщательно осматривают. Если пластинка после испытания покрылась черным, бурым, темно-коричневым или серо-стальным налетами и пятнами, то топливо считается не выдержавшим испытания. При всех других изменениях или отсутствии изменений цвета пластинки топливо считается выдержавшим испытание.

### 6. Определение плотности

В стеклянный цилиндр медленно и *осторожно* (может разбиться) опускают чистый и сухой нефтенсиметр, держа его за верхний конец. Затем наливают испытуемое топливо до всплытия нефтенсиметра на 10-15 мм. После того, как денсиметр установится и прекратятся его колебания, производят отсчет по верхнему краю мениска.

При отсчете глаз наблюдателя должен находиться на уровне мениска. Температуру измеряют по термометру денсиметра или дополнительным термометром.

### 7. Определение фракционного состава

Разгонка бензина осуществляется на установке показанной, на рисунке 7.4.

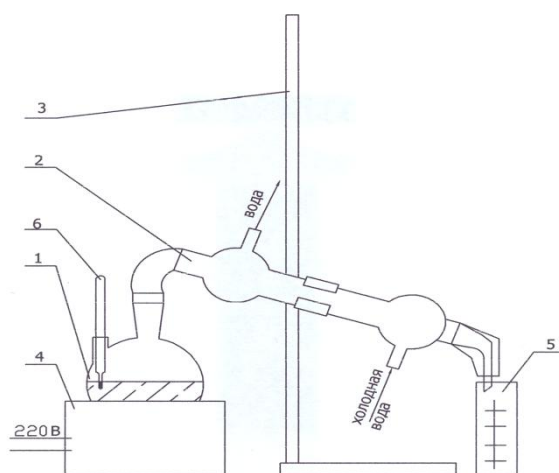


Рисунок 7.4 – Установка для фракционной перегонки при атмосферном давлении

1 – колба, 2 – холодильник, 3 – штатив, 4 – плитка, 5 – мерный цилиндр, 6 – термометр

В колбу 1, заливают 100 мл разгоняемого бензина, под соединяют к холодильнику 2, закрепленном в штативе 3, ставят на плитку 4. С обратной стороны холодильника устанавливают приемник мерный цилиндр 5.

Жидкость доводят до кипения. Снимают показания температуры с термометра 6 после поступления в приёмник первой капли, далее через каждые 10 мл и в конце после последней капли, поступившей в приемник. Замеряют остаток в колбе после перегонки.

#### *8. Определение температуры помутнения и допустимой влажности*

Подробно устройство криостата и методика определения влажности описана выше.

#### *Результаты физико-химического анализа оксигенатного бензина*

Разработанный бензин должен отвечать ГОСТ Р 51866-2002 «Бензин не этилированный». По результатам предыдущих опытов оптимальными характеристиками обладает топливная композиция с добавкой ОП:С2:СФК = 1:5:4 % соответственно. Исследованию были подвергнуты чистый бензин АИ 92, АИ 92+ добавка, прямогонный бензин (ПБ)+добавка. Для определения соответствия композиций ГОСТу были проведены следующие изыскания:

1. *Оценка образцов по внешним признакам* – все три образца имели светло-желтый цвет, были прозрачны, не имели взвесей и осадков. Запах АИ 92 нерезкий, запах же образцов с добавкой был резкий с ярко выраженным запахом СФК.

2. *Испарение на бумаге* – все три образца пятен не обнаружили, т. е. полностью испорились.

3. *Определение водорастворимых кислот и щелочей* – окраска универсального индикатора по всем трем образцам соответствовала фиолетовой, что указывает на отсутствии водорастворимых кислот и щелочей.

4. *Определение смолистости и загрязненности бензина по остатку после сжигания на часовом стекле* – по всем трем образцам получены пятна, которые соответствуют безсмольным бензинам без загрязнений.

5. *Испытание на медной пластинке* – по всем трем образцам пластинка не покрылась налетами и пятнами, значит бензины содержат серу в допустимом количестве.

6. *Определение плотности* – с учетом температурной поправки, плотность приведенная к 20 °С по образцам составила: (см. таблицу 7.7.)

Таблица 7.7 – Результаты измерения плотности

АИ 92	АИ 92+Добавка	ПБ+Добавка
740 кг/м <sup>3</sup>	745 кг/м <sup>3</sup>	730 кг/м <sup>3</sup>

7. *Определение фракционного состава.* Результаты разгонки образцов сведены в таблицу 7.8.

Таблица 7.8 – Результаты разгонки

Объем отгона, мл	АИ 92		АИ 92+Добавка		ПБ+Добавка	
	Т, °С	Остаток в колбе	Т, °С	Остаток в колбе	Т, °С	Остаток в колбе
1 капля	36	2 мл	36	1 мл	38	2 мл
10	53		51		55	
20	61		58		66	
30	74		66		78	
40	88		77		94	
50	99		92		106	
60	112		107		119	
70	122		118		137	
80	140		132		159	
90	167		160		194	
Последняя капля	98   198		99   200		95   210	

По результатам таблицы 7.8. построены кривые разгонки по ИТК (рис. 7.5).

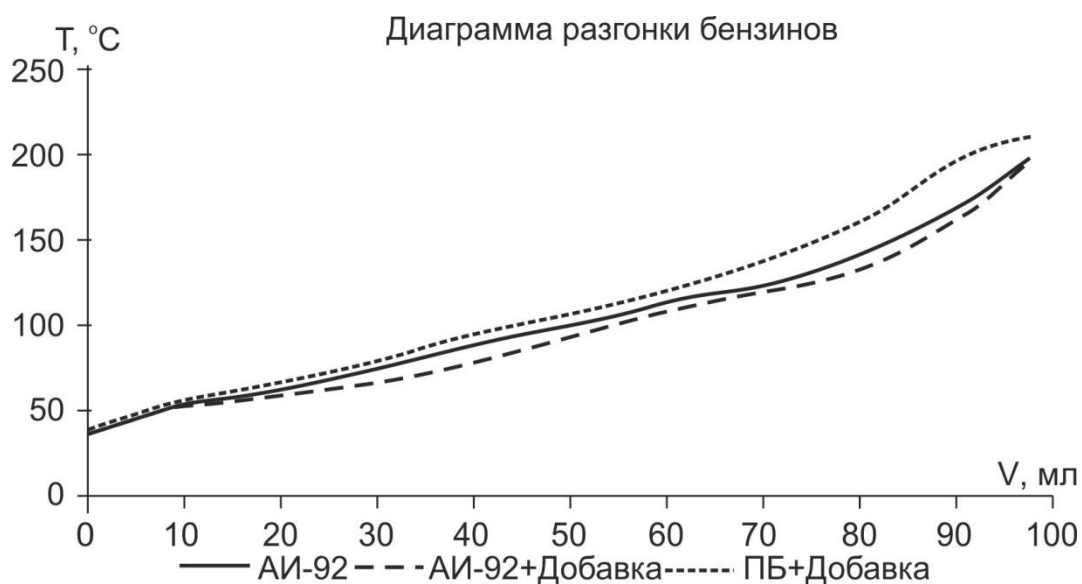


Рисунок 7.5 – Разгонка бензинов по ИТК

Из графика видно, что добавление присадки в бензин незначительно снижает температуру разгонки.

Оксигенатная топливная композиция, состоящая из 1 % об. ОП, 4 % об. СМ, 5 % об. этанола и 90 % прямогонного бензина, соответствует ГОСТ Р 51866 – 2002 по показателю фракционный состав.

В таблице 7.9 сравниваются значения показателей бензина по ГОСТу с показателями разработанной топливной композиции.

Таблица 7.9 – Проверка композиции на соответствие ГОСТ ГОСТ Р 51866-2002

Наименование показателя	Значения показателей бензина по ГОСТу	Значения показателей топливной композиции
Фракционный состав: объемная доля испарившегося бензина, %, при температуре, °С:	70°С	23
	100°С	47
	150°С	77
	не менее 75	
конец кипения не выше, °С	210	210
Остаток в колбе не более	2%.	2%

Из таблицы 7.9 видно, что оксигенатная топливная композиция, состоящая из 1% об. ОП, 4% об. СМ, 5% об. этанола и 90 % об. прямогонного бензина, соответствует требованиям ГОСТ Р. 51866-2002 по показателям фракционный состав и остаток в колбе.

8. *Определение массовой доли кислорода.* ГОСТом ограничивается массовая доля кислорода, %, она должна быть не более 2,7. Подсчитано, что массовая доля кислорода в добавке ОП:С1:С5 составляет 2,468 %, а в добавке ОП:С2:С5 – 2,653 %.

9. *Определение температуры помутнения и допустимой влажности.* Для данных вариантов топливных композиций было произведено определение температуры помутнения, и найдена допустимая влажность. Результаты опытов приведены в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Определение температуры помутнение и допустимой влажности

№ п/п	ОП, об %	СН <sub>3</sub> ОН, об %	С <sub>2</sub> Н <sub>5</sub> ОН, об %	СМ, об %	СФК, об %	ПБ, об %	Влажность, % масс
1	1	3	0	4	0	92	0,084
2	1	3	0	7	0	89	0,097
3	0,2	3	0	4	0	92,8	0,079
4	1	3	0	0	4	92	0,074
5	1	3	0	0	7	89	0,079
6	0,2	3	0	0	4	92,8	0,069
7	1	0	5	4	0	90	0,124
8	1	0	5	7	0	87	0,137
9	0,2	0	5	4	0	90,8	0,119
10	1	0	5	0	4	90	0,114
11	1	0	5	0	7	87	0,119
12	0,2	0	5	0	4	90,8	0,109

Топливные композиции охлаждались в интервале температур от 20 до -50 °С. Все композиции в этом интервале температур оставались стабильными. Далее определялась максимальная влажность. За основу была взята композиция №7, так как эта проба по предыдущим опытам имеет наилучшие характеристики, в это образец добавляли по каплям воду из пипетки объем одной капли 0,06 мл. После добавления одной капли воды топливная композиция была охлаждена до температуры -50 °С – смесь осталась гомогенной, содержание воды составило 0,18 % масс. После этого к этой композиции добавили еще одну каплю воды, после этого композиция помутнела при -21 °С. Общее содержание воды в композиции составляло 0,3 % масс.

В ходе эксперимента была установлена предельная влажность. Для композиций, в состав которых входит этиловый спирт влажность составляет 0,22-0,20 % масс. Для композиций с добавлением метилового спирта влажность находится в пределах 0,2-0,18 % масс.

#### 7.4 Оценка моющей способности оксигенатного бензина

Моющая способность характеризуется свойством композиции удалять (растворять) органические отложения образующиеся в системе питания двигателей в процессе эксплуатации. В на-



стоящее время, такому свойству как моющая способность уделяется значительное внимание при разработке топливных композиций, поскольку оно способствует повышению пробега автомобиля без регулировок и промывки системы питания. При помощи натурального эксперимента были исследованы СФК и СМ, входящие в состав оксигенатных добавок, на предмет использования их в качестве моющего раствора для промывки систем питания автомобилей. Полученные результаты признаны удовлетворительными. Таким образом, открывается еще одна возможность использования СФК и СМ – в качестве моющего раствора для очистки систем питания автомобилей. Содержание СФК и СМ в топливных композициях незначительно, однако определенный моющий эффект в результате проведения натуральных исследований отмечается.

### **7.5 Разработка технологии производства оксигенатного бензина**

В оксигенатный бензин входят спирты С1 или С2 (метанол или этанол), спирты гомогенизаторы С4 – С5 (представленные СФК или СМ) и эфирная составляющая – ОП.

В процессе перемешивания компонентов с прямогонным бензином происходит образование мицелл. Центр мицеллы будет являться гидрофильным. В его состав будет входить вода и окись пропилена, далее к гидрофильному центру будут подходить спирты полярной группой ОН, более полярные спирты будут располагаться ближе к полярному центру, менее полярные С4 – С5 соответственно дальше.

Присадки и добавки вводят в топлива различными способами, выбор которых зависит от объема работы с присадкой, ее физико-химических характеристик и назначения, а также особенностей применения, если таковые имеются. Во всех случаях требуется обеспечить эффективное смешивание присадки с топливом при наименьших энергетических и трудовых затратах. Проблемы возникают при обработке больших количеств топлива, составляющих несколько тонн.

Принципиальная технологическая схема приготовления оксигенатного бензина представлена на рис. 7.6.

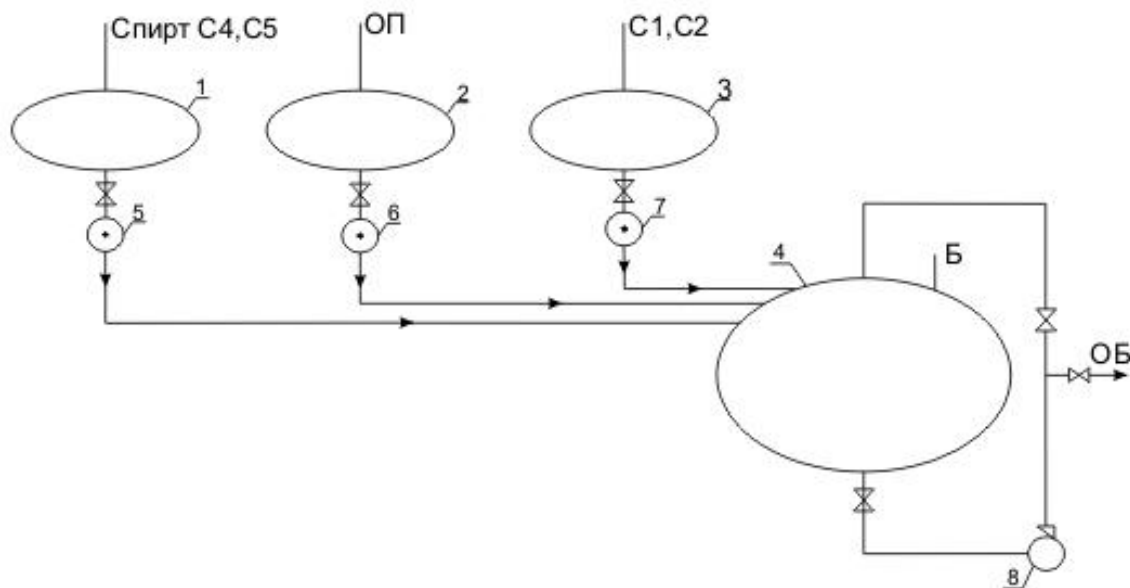


Рисунок 7.6 – Принципиальная технологическая схема приготовления оксигенатного бензина

1,2,3-емкости для компонентов; 4-смесительный резервуар; 5,6,7-дозировочные насосы; 8-насосы; СФК-спиртовая фракция; ОП-окись пропилена; С2-этиловый спирт; Б-бензин; ОБ-оксигенатный бензин

В первую очередь из промежуточного резервуара 3 дозирующим насосом 7 в смесительный резервуар 4 подается этиловый спирт С2, его по технологии требуется больше других, либо метанол. Затем также отмеренной дозой насос 6 подает из резервуара 2 окись пропилена ОП. И, наконец, также из резервуара 1 подаются спирты С4 – С5 (представленные СФК или СМ). В резервуаре 4 идет активное перемешивание компонентов и бензина насосом 8. После тщательного перемешивания готовый продукт – оксигенатный бензин ОБ поступает на выдачу из резервуара.

Важный момент занимает приготовление оксигенатных спиртовых компонентов, которые предварительно должны быть обезвожены до содержания воды не более 1 – 2 %. В литературе уделено достаточно внимания способам обезвоживания оксигенатов. Рассмотренные способы сводятся к следующим группам:

1. Азеотропная ректификация, где в роли разделяющего агента используется прямогонный бензин, бензол, циклогексан.

2. Метод экстрагирования, который следует отнести к частичным методам обезвоживания. Суть его заключается в том, что

оксигенатные добавки смешиваются с бензином не обезвоженные. При этом внизу выделяется водно-спиртовой слой, который затем удаляется.

3. Осушка компонентов пассивным контактом с применением хлорида кальция или жидких гигроскопичных агентов (гликоли, глицерин).

4. Экстрактивная ректификация с применением гликолей и глицерина.

По нашему мнению, наиболее приемлемыми по экономическим соображениям являются два метода: азеотропная ректификация с прямогонным бензином и экстрактивная ректификация с применением гликолей и глицерина.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены научные исследования, направленные на повышение эксплуатационной надежности и экологической безопасности автомобильного транспорта позволили выделить ряд аспектов.

Так, в области повышения надежности предлагается новое решение этой проблемы на стадии эксплуатации за счет изменения системы технического обслуживания и ремонта путем перехода от планово-предупредительного ремонта к техническому обслуживанию по фактическому состоянию. В настоящее время диагностирование технического состояния редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов в большинстве предприятий проводится по планово-предупредительной системе, что не позволяет учитывать индивидуальные особенности техники.

Проведенные исследования позволили выявить значительные преимущества комплексной системы диагностирования, что требует ее дальнейшего усовершенствования путем введения дополнительных методов оценки технического состояния агрегатов (тепловизионных, виброакустических, акустических, ультразвуковых, и др.), позволяющих существенно повысить достоверность прогноза остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобильного транспорта.

В области повышения экологической безопасности автомобильного транспорта предлагается повысить качество топлива за счет дополнительных присадок и добавок. Присадки и добавки вводят в топлива различными способами, выбор которых зависит от объема работы с присадкой, ее физико-химических характеристик и назначения, а также особенностей применения, если таковые имеются. Во всех случаях требуется обеспечить эффективное смешивание присадки с топливом при наименьших энергетических и трудовых затратах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

1. Авторское свидетельство РФ № 762419, кл. С 10 L 1/18, 1996.
2. Азовцев, Ю.А. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях / Ю.А. Азовцев, Н.А. Баркова, В.А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза, май, 1999.
3. Аметов, В.А. Разработка путей повышения надежности агрегатов трансмиссии автомобилей по параметрам работающего масла: дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1987. – 193 с.
4. Бишон, Т.М. Автомобильный транспорт. Сокр. перев.с англ. – М.: Недра, 1971. – 127 с.
5. Богданов, С.В. Определение технического состояния редуктора мотор-колеса карьерных автосамосвалов методом эмиссионного спектрального анализа масла на основе динамики температуры / С.В. Богданов, А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых // Горное оборудование и электромеханика. 2009. – № 5. – С. 50-52.
6. Большаков, Г.Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические основы химмотологии. – Новосибирск: Наука, 1987. – 208с.
7. Васильев, М. В. Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных работах. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1962. – 235 с.
8. Васильев, М.В. Совершенствование организации транспортных работ на карьерах / М. В. Васильев, Б.В. Яковенко, Б.А. Егин, А.К. Сухов. – Ленинград, 1976. – 69 с.
9. Вишнякова, Т.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив / Т.П. Вишняков, И.А. Голубева, И.Ф. Крылов, О.П. Лыков // М.: Химия. – 1990. – 152с.
10. Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вицашк., 1986. – 447 с.

11. Гаранин, В.И. Органическая химия / В.И. Гаранин, Л.Д. Тюлина, А.М. Шкитов. – М.: Высш. шк., 1989. – 143 с.
12. Герике, Б.Л. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов: Учеб. пособие. – В 2-х ч. Ч. 1: Мониторинг технического состояния по параметрам вибрационных процессов / Кузб. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1999 – 188с.
13. ГОСТ 2-601-95. ЕСКД. Эксплуатационная документация.
14. ГОСТ Р 51866 – 2002 (ЕН 228 – 99) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия».
15. Гуреев, А.А. Автомобильные эксплуатационные материалы / А.А. Гуреев, Р.Я. Иванова, Н.В. Щеголев. – М.: «Транспорт», 1974. – 275 с.
16. Гуреев, А.А. Применение автомобильных бензинов. – М.: Химия, 1972. – 364 с.
17. Дадонов, М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1999. – 293 с.
18. Данилов, А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей. – М.: Химия, 2000. – 232 с.
19. Данилов, А.М. Применение присадок в топливах. – М.: Мир, 2005. – 288 с.
20. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1983. – 372с.
21. Дьяков, А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А.Б. Дьяков, Ю.В. Игнатьев, Е.П. Коншин и др.; Под ред. А.Б. Дьякова. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
22. Емельянов, В.Е. Производство автомобильных бензинов в России – проблемы и пути их решения / В.Е. Емельянов, С.Р. Лебедев // «Мир нефтепродуктов». – 2000. – №3. – С. 1-2.

23. Емельянов, В.Е. Антидетонационные присадки к автомобильным бензинам / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов // «Мир нефтепродуктов». – 2004. – №5. – С. 44-45.
24. Ефимова, М.Р. Практикум по общей теории статистики: учебник / М. Р. Ефимова, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
25. Ещеркин, П.В. Инновационные пути повышения надежности гидравлических буровых станков / П.Б. Герике, П.В. Ещеркин // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей: Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2008. – С. 56-59.
26. Звонов, В.А. Метанол как топливо для транспортных двигателей / В.А. Звонов, В. Н. Черных, В. К. Балакин. Харьков: Основа, 1990. – 150 с.
27. Здоровье населения и окружающая среда г. Кемерово. – Кемерово. – 2002. – 214 с.
28. Казарез, А.А. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической транс-миссией / А.А. Казарез, А.А. Кулешов. – М.: Недра, 1988. – 264 с.
29. Квагинидзе, В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного гор-но-транспортного оборудования в условиях низких температур: дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 313 с.
30. Консон, А.С. Экономика ремонта машин. – Л.: Машиностроение, 1970. – 164 с.
31. Краткий автомобильный справочник. 8-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – 464 с.
32. Кудреватых, А.В. Диагностика редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов на основе контроля за износом подшипника // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. – № 2 (120). – С. 88-93.

33. Кудреватых, А.В. Обоснование методов и параметров диагностирования редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2010. – 187 с.
34. Кудреватых, А.В. Диагностирование технического состояния двигателей по параметрам работающего масла как направление повышения экономии материальных средств / А. В. Кудреватых, Н. В. Кудреватых // Материалы ежегодной апрельской научно-практической конференции: Промышленность и экологическая безопасность – Основа развития Кузбасса. – Прокопьевск: изд-во филиала ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске, 2007. – С.119-124.
35. Кудреватых, А.В. Диагностика редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов // Главный механик. 2012. – № 3. – С. 34-41.
36. Кудряшов, С.В. Окисление углеводородов в реакторе с барьерным разрядом / С.В. Кудряшов, Г.С. Щеглов, Е.Е. Сиротина, А.Ю. Рябов // Материалы IV Международной конференции «Химия нефти и газа» Том 2 // Томск. – 2002. – С. 272-275.
37. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: Учеб. пособие / МАДИ (ТУ) – М., 2001. – 262 с.
38. Кулешов, А.А. Выбор оптимальной типажной структуры экскаваторно-автомобильных комплексов для условий конкретного карьера. – Ленинград, 1989. – 70 с.
39. Лашхи, В.Л. Химия и технология топлив и масел / В.Л. Лашхи [и др.]. – 1985. – № 11. – С. 11-13.
40. Лернер, М.О. Химические регуляторы горения моторных топлив. – М.: Химия. – 1979. – 221 с.
41. Луканин, В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда – 2: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яшина; Под ред. В.Н. Луканина. – М.: ИН-ФРА-М, 2001. – 646 с.



42. Мариев, П.А. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
43. Марч, Дж. Органическая химия. Реакция, механизмы и структура. Углубленный курс для университетов и химических вузов: В 4-х т. Т. 4. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 468 с.
44. Масленников, Р.Р. Эксплуатационные материалы. – Кемерово, 2002. – 215с.
45. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности одноковшовых экскаваторов / ГУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет». Согласовано с Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора России по Кемеровской области // Изд-во Фонда, Новокузнецк: 2007. – 125 с.
46. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности карьерных самосвалов / ГУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет». Согласовано с Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора России по Кемеровской области // Изд-во Фонда, Новокузнецк: 2007. – 78 с.
47. Мирошников, А.М. Разработка, испытание и внедрение компонентов нефтяного топлива с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками / А.М. Мирошников, Д.В. Цыганков, А.В. Салищев // «Инновации и изобретения года» Материалы регионального конкурса. – Кемерово: Кузбасская торговая палата, 2004, С. 35.
48. Мирошников, А.М. Анализ спиртов в отходах и полупродуктах химических и спиртовых заводов региона / А.М. Мирошников, Д.В. Цыганков, А.Р. Часовщиков // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. научных работ: выпуск № 9 / Отв. ред. Л.А. Маюрникова; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2005. – 132 с.

49. Митчелл, Дж. Акваметрия / Дж. Митчелл, Д. Смит. – М.: Химия, 1980. – 600с.
50. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1990. – 344с.
51. Онойченко, С.Н. Применение оксигенатов при производстве перспективных авто-мобильных бензинов. М.: Техника: ООО «ГУМА-ГРУПП», 2003. – 64 с.
52. Онойченко, С.Н. Новое в применении топлив на автомобильном транспорте / С.Н. Онойченко, В.Е. Емельянов // Сб. статей. М.: НИИАТ, НПСТ «Трансконсалтинг», 2003. – С. 102-105.
53. Окись этилена / под ред. П.В. Зимакова, О.Н. Дымента. – М.: «Химия», 1967. – 320 с.
54. Патент РФ № 2260034, кл. С 10 L 1/18, С 10 L 1/22, 2004.
55. Патент РФ № 2260033, кл. С 10 L 1/18, 2004.
56. Патент РФ № 2044033, кл. С 10 L 1/18, 1995.
57. Патент США № 4541836, кл. С 10 L 1/18, 1985.
58. Патент США № 4394133, кл. С 10 L 1/18, 1983.
59. Патент РФ № 2106391, кл. С 10 L 1/18, 1998.
60. Сафонов, А.С. Автомобильные топлива / А.С. Сафонов, А.И. Ушаков, И.В. Чечкенов.– С.-Петербург, 2002. – 264с.
61. Сильянов, В.В. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах. – М.: МАДИ, 1978. – 115 с.
62. Скерджев, А.И. Карьерные автомобили самосвалы особо большой грузоподъемности. – М., 1970. – 88 с.
63. Смирнов, В.П. Теория карьерного большегрузного транспорта / В.П. Смирнов, Ю.И. Лель. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.
64. Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200 с.

- 65.Солод, Г.И. Эксплуатация и ремонт горного оборудования / Г.И. Солод, В.И. Морозов. – М.: Центральное правление НТГО, 1983. – 174 с.
- 66.Справочник химика: В 2-х т. Т.1. – М.: Госхимиздат, 1963.
- 67.Стенин, Д.В. Загруженность карьерных самосвалов и тепловое состояние редукторов их мотор-колес / Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Автомобильная промышленность, 2012. – № 10. – С. 26-28.
- 68.Стенин, Д.В. Обоснование влияния ресурса несущих систем и степени загрузки на производительность карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2008. – 127 с.
- 69.Стенин, Д.В. Использование корреляционного анализа при оценке теплового состояния редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов БелАЗ / Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Материалы IX Международной научно-практической конференции «СИБРЕСУРС 2012». – Кемерово, 2012. – С.133-137.
- 70.Стенин, Д.В. К вопросу исследования влияния условий эксплуатации на надежность редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов/ Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: Материалы II Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк. – 2012. С. 93-95.
- 71.Стенина, Н.А. К вопросу оценки влияния условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ / Н.А. Стенина, Д.В. Стенин, А.С. Фурман // Инновации в технологиях и образовании: Материалы V Международной научной конференции. – Белово, филиал КузГТУ, 2012. С. 274-279.
- 72.Стенина, Н.А. Оценка влияния коэффициента использования грузоподъемности на показатели эффективности эксплуатации автосамосвалов / Н.А. Стенина, Д.В. Стенин, А.А. Хорешок // Современные проблемы методологии и инновационной дея-

- тельности: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции ученых, аспирантов, специалистов и студентов. – Новокузнецк, филиал КузГТУ, 2012. – С. 123-126.
73. Стенина, Н.А. Оценка значимости исследуемых параметров, влияющих на теплонагруженность редукторов мотор-колес (РМК) карьерных автосамосвалов / Н.А. Стенина, Д.В. Стенин, А.А. Хорешок // Россия молодая: Материалы IV Всероссийской, 57 научно-практической конференции молодых ученых. – КузГТУ, Кемерово, 2012. – С. 319-321.
74. Степухович, А.Д. Кинетика и механизм термического крекинга алканов. – Саратов: из-во Саратовского университета, 1965. – 302 с.
75. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2016 года // Уголь. – 2017. – № 3. – С. 36-50.
76. Физическая химия: Учебное пособие для хим. тех. спец. вузов / И.Н. Годнев, К.С. Краснов, Н.К. Воробьев и др. – М.: Высш. школа, 1982. – 687 с.
77. Фирсов, В.И. Исследование долговечности кузовов карьерных автосамосвалов: авто-реф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1978. – 22 с.
78. Тереньтев, Г.А. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г.А. Тереньтев, В.М. Тюков, Ф.В. Смаль. – М.: Химия, 1989. – 272 с.
79. Хорешок, А.А. Загрузка, производительность и ресурс несущей системы карьерного самосвала / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Автомобильная промышленность, 2008. – № 3. – С. 18-19.
80. Хорешок, А.А. Надежность горных машин и оборудования: Учеб. пособие / А.А. Хорешок, Г.Д. Буялич, Е.В. Прейс, М.Ю. Блащук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 128 с.

81. Хорешок, А.А. Характеристика методов технического обслуживания горно-транспортного оборудования / А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых, В.В. Кузнецов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. – №5. – С. 48-61.
82. Хорешок, А.А. Метод комплексного диагностирования редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов / А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых // Горная промышленность. 2010. – №5. – С. 60-66.
83. Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Вестник КузГТУ, 2012. – № 2. – С. 28-30.
84. Циперфин, И. М. Карьерный автомобильный транспорт. Справочник / И.М. Циперфин, В.Д. Штейн. – М., 1992. – 415 с.
85. Цыганков, Д.В. Улучшение эксплуатационных характеристик автомобильных двигателей за счет использования оксигенатных добавок к топливу / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, Р.Р. Масленников // Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов: сб. статей IX Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2004. – С. 226-228.
86. Цыганков, Д.В. Оксигенатные присадки к топливу на основе регионального сырья / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, Н.С. Тишков, Е.В. Питенёв // Вестник КузГТУ. – 2004. – №2. – С. 93-94.
87. Цыганков, Д.В. Стабилизация органических веществ окисями олефинов / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, А.М. Гришаева // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. научных работ вып. 8. – Кемерово, 2004. – С.79.
88. Цыганков, Д.В. Распределение метанола и окиси пропилена в системе гексан-вода / Д.В. Цыганков, А.Р. Часовщиков // Пищевые продукты и здоровье человека: сб. тезисов докладов V

- региональной аспирантско-студенческой конференции. Часть 2. – Кемерово, 2005. – С.165.
89. Цыганков, Д.В. Исследование детонационной стойкости бензинов с помощью регулировочных характеристик карбюраторного двигателя / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, Р.Р. Масленников, А.В. Кудреватых // Вестник КузГТУ. – 2002. – №2, С.74-76.
90. Цыганков, Д.В. Стабилизация органических веществ окисями олефинов / Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, А.М. Гришаева // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. научных работ вып. 8. – Кемерово, 2004. – С.79.
91. Чулков, П.В. Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители. Справочник. – М.: Политехника, 1998. – 416 с.
92. Шевченко, Е.Б. Исследование коррозионной агрессивности и ингибирование спиртов и топлив на их основе. Автореф. дисс. к. т. н. М.: ВНИИ НП, 1997. – 28 с.
93. Altwicker E., Garriett A., пат. США 3106582, 8/X 1963.
94. Chem. Eng. News, 1997. V. 75. № 18. P. 54-56.
95. Kudrevatykh, A.V. The diagnostics of motor-wheel gears of quarry dump trucks based on bearing wear monitoring // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety 2016. С. 252-255.
96. Michael, P. Walsh. Car lines, Virginia, 1999.
97. Oil & Gas J. 2003. V. 101. № 24. P. 40-41.
98. Parkinsoп G. // Chem. Eng. 1998. V. 105. № 1. P. 48.
99. Vautrain J. H. // Oil & Gas J. 1999. V. 97. № 3. P. 18-22.

Для заметок

**Научное издание**

**Д. В. Стенин, А. В. Кудреватых, Д. В. Цыганков,  
Н. А. Стенина, Н. В. Кудреватых**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ  
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Печатается в авторской редакции

Корректор *Н. В. Кудреватых*  
Оригинал-макет *Н. В. Кудреватых*  
Оформление *Н. В. Кудреватых*

Подписано в печать \_\_. \_\_. 2018. Формат 60×84/16  
Бумага офсетная. Гарнитура «TimesNewRoman». Уч.-изд. л. 13,5  
Тираж 100 экз. Заказ.....  
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28  
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а