

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)**

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 8-10 сентября 2009 г., г. Яремче, Украина

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 20-23 октября 2009 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 23 октября 2009 г.

Примечание. Теряет силу I издание Памятки от 29.06.1981 г.

**Р  
647/1**

**РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ВНЕДРЕНИЮ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
СОСТОЯНИЕМ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ ПО  
РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА МАСЛА**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
1.1. Термины и определения	3
1.2 Математическая модель системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава	4
1.3. Техничко-экономические предпосылки внедрения методов и технических средств диагностики в планово-предупредительную систему ТОР	5
1.4. Основные направления разработки и внедрения новых технических приемов в системах ТОР ТПС железных дорог	6
2. Контроль технического состояния дизелей тепловозов и дизель-поездов по результатам анализа масла	6
3. Методика эмиссионного спектрального анализа масла на фотометрических установках	10
3.1. Аппаратура, материалы и реактивы	10
3.2. Приготовление образцов для количественного спектрального анализа масла	10
3.3. Построение тарировочных графиков	10
3.4. Подготовка аппаратуры	13
3.5. Подготовка проб масла для анализа	13
3.6. Анализ масла и обработка результатов	13
4. Алгоритм диагноза и прогноз состояния дизелей тепловозов и дизель-поездов	14
4.1. Логический алгоритм оценки предаварийного состояния дизеля	14
4.2. Вероятностный алгоритм диагноза дизеля по обобщенному параметру	15
4.3. Прогноз остаточного ресурса дизеля по результатам спектрального анализа масла	16
4.4. Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса дизеля	17
4.5 Вычисление интенсивности поступления продуктов износа в масло при частом отборе проб	18
4.6. Вычисление интенсивности поступления продуктов износа в масло при редком отбора проб	19
5. Диагностическая система управления состоянием дизелей тепловозов по результатам анализа масла с использованием ЭВМ	19
5.1. Сбор и учет исходных данных для диагноза состояния и прогноза остаточного ресурса дизеля тепловоза	19
5.2. Диагноз технического состояния дизеля	20
5.3. Прогноз остаточного ресурса	20
5.4. Предварительная обработка входной информации	21
5.5. Корректировка программных значений и анализ	21
5.6. Корректировка диагностических матриц	21
6. Технология решения задач	21
Заключение	29

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности эксплуатации тягового подвижного состава (ТПС) в настоящее время обуславливается степенью организации и качества управления во всех звеньях производственной цепи. В современных условиях, когда техническая вооруженность железнодорожного транспорта достигла высокого уровня, важнейшее значение приобретает вопрос технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) ТПС. От уровня организации ТО и ТР зависит состояние и эффективность использования ТПС.

Среди характеристик качества ТПС одно из главных мест занимает надежность, с уровнем которой связана эффективность эксплуатации. Для достижения высокой надежности используются различные средства: применение высококачественных материалов, разработка прогрессивных конструкций, создание избыточности и введение запасов прочности, резервирование и т.п. Однако обеспечить требуемый уровень надежности ТПС невозможно без контроля, проверок и восстановления технического состояния в условиях эксплуатации. Контроль, проверки и восстановление составляют суть управления техническим состоянием ТПС железных дорог.

Качество контроля, проверок и восстановления во многом определяется уровнем развития методов и технических средств диагностики. Известно, что возможность применения методов и технических средств, а также степень автоматизации контрольных процессов в значительной мере определяется схемной и конструктивной приспособленностью ТПС к контролю и проверкам технического состояния и поиска неисправностей. Недооценка необходимости своевременной проработки вопросов организации эффективных процедур контроля и проверки технического состояния ТПС приводит к значительным материальным и временным затратам. Следует ожидать, что в перспективе при повышении интенсивности эксплуатации и повышении требований к эксплуатационной надежности ТПС эти затраты будут увеличиваться.

### 1.1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ТПС может находиться в эксплуатации или на ТО и ремонтах. Стратегия ТО и ТР ТПС определяется видами контроля технического состояния и порядком назначения проверок технического состояния и ремонтных работ.

Контроль состояния - операция оценки технического состояния единицы ТПС в целом или отдельных ее агрегатов, узлов и деталей, осуществляется при эксплуатационной работе, то есть при функционировании по назначению. Контроль технического состояния может осуществляться как непрерывно, так и периодически. По

результатам контроля принимается решение о необходимости выполнения проверок технического состояния. Решения о необходимости выполнения проверок состояния могут приниматься как оперативно, так и периодически перед постановкой ТПС на плановые ТО и ТР.

Проверка состояния - операция оценки технического состояния единицы ТПС в целом или отдельных ее агрегатов, узлов и деталей, осуществляемая на плановых технических обслуживаниях или ремонтах. По результатам проверок состояния принимается решение о необходимости выполнения ремонтных работ для восстановления технического состояния ТПС. Состояния, в которых может находиться ТПС, определяются в зависимости от того, соответствует ли он предъявляемым требованиям.

Исправное состояние - состояние ТПС, при котором он соответствует всем требованиям нормативной технической или конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние - состояние ТПС, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической или конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние - состояние ТПС, при котором значение всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям нормативно - технической или конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние - состояние ТПС, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно - технической или конструкторской (проектной) документации.

Работоспособный ТПС может быть неисправным. Например, неисправные звуковые сигналы в действующей кабине машиниста, все остальное оборудование исправно. Такой локомотив будучи неисправным может сохранять работоспособность. Поэтому понятие «исправность» шире, чем «работоспособность».

Переход ТПС из одного состояния в другое определяется событиями следующих видов.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния ТПС при сохранении работоспособного состояния.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния ТПС.

## 1.2. Математическая модель системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава

Техническое состояние ТПС, как сложного объекта системы технического обслуживания и ремонта, может характеризоваться набором параметров, задающих различные состояния элементов

$$X=f(Y,Z) \quad (1)$$

где  $X$  - множество состояний элементов;  
 $Y$  - множество входных параметров;  
 $Z$  - множество выходных параметров.

Контролируя выходные параметры, при известных входных параметрах, можно определять вероятность возможных состояний и осуществить поиск неисправностей.

В соответствии с принятыми определениями переходы из первого состояния во второе и из второго в третье разделены временным интервалом, величина которого определяется скоростью и величиной изменения контролируемого параметра.

$$\tau = \frac{\Delta Z}{g_Z} \quad (2)$$

Анализ расходов на техническое обслуживание, и ремонт (ТОР) показывает, что минимум функции расходов достигается при пробегах между плановыми видами ТОР, когда выполняется условие

$$T_{ТОР} = \tau \quad (3)$$

1.3. Техничко-экономические предпосылка внедрения методов и технических средств диагностики в планово-предупредительную систему ТОР

Суммарные удельные расходы на техническое обслуживание и ремонт складываются из расходов на контроль и проверки состояния, а также на плановые и неплановые ремонты.

$$C = C_k + C_m \lambda_m + C_{np} \lambda_{np} + C_{nr} \lambda_{nr} \quad (4)$$

где  $C_k$  - удельные расходы на контроль;  
 $\lambda$  - частоты проверок, планового и непланового ремонта;  
 $C$  - стоимость плановых проверок, планового и непланового ремонта.

В существующей системе ТОР проверки назначаются в большинство случаев по пробегу и частота проверок равна частоте плановых видов ТОР, к которым приурочена данная проверка:  $\lambda_{mnl} = \lambda_{mop}$ .

При назначении проверок по результатам контроля в системе ТОР с использованием методов и технических средств диагностики частота

проверок равна частоте появления отказов:  $\lambda_{m2} = \lambda_o$ .

Поскольку  $\lambda_0 \ll \lambda_{mop}$ , то можно ожидать существенного снижения расходов при использовании методов и технических средств диагностики в системе ТОР. Кроме того применение методов и технических средств диагностики позволяет существенно уменьшить частоту unplanned ремонтов ( $\lambda_{np2} \rightarrow 0$ ), а так же снизить стоимость проверок с поиском неисправностей ( $C_{m2} < C_{m1}$ ).

#### 1.4. Основные направления разработки и внедрения новых технических приемов в системах ТОР ТПС железных дорог

В настоящее время на железных дорогах ОСЖД разработка новых методов и технических средств для системы технического обслуживания и ремонта ТПС железных дорог развивается в следующих направлениях:

- разработка к внедрение методов и технических средств контроля технического состояния подвижного состава при эксплуатации;

- разработка и внедрение методов к технических средств проверок состояния подвижного состава с поиском неисправностей при плановом техническом обслуживании и ремонте;

- создание информационных систем учёта с централизованной обработкой данных по техническому состоянию и эксплуатации подвижного состава на базе вычислительных центров с использованием ЭВМ;

- повышение требований к контролепригодности подвижного состава и разработка конструкций приспособленных к контролю и проверкам технического состояния с помощью новых методов и технических средств для оценки состояния и поиска неисправностей.

## 2. КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА МАСЛА

Эксплуатационная надежность работы тепловозов и дизель-поездов в настоящее время обеспечивается плано-предупредительной системой технических обслуживаний, текущих и капитальных ремонтов (СТОР). Нормы пробегов между плановыми техническими обслуживаниями и ремонтами устанавливаются по средним величинам показателей надежности для совокупности однотипных локомотивов.

Повышение эксплуатационной надежности тепловозов и дизель-поездов возможно при применении индивидуального контроля состояния для выявления неисправностей на ранней стадии их развития и прогнозирования исправной работы агрегатов, узлов и деталей до истощения ресурса.

Дизель является основой силовой установки тепловоза, и его надежность определяет надежность всего тепловоза. Картерное масло дизеля, накапливая в процессе работы продукты износа и неполного сгорания топлива, термического разложения масла, атмосферную пыль, проникшую в картер воду и другие примеси, содержит большой объем полезной информации о состоянии дизеля. Физико-химические анализы масла позволяют расшифровать эту информацию и сделать выводы о работе дизеля, его состоянии, дефектах и неисправностях.

Процесс накопления продуктов износа и других примесей в масле зависит от режима доливки масла в дизель. Если дизель работает с регулярным доливом масла, равным угару, т.е.  $g_d = g_y$ , то при этом изменение концентрации продуктов износа описывается следующей зависимостью:

$$K = K_o \cdot e^{-\frac{g_d + g_\phi t}{Q}} + \frac{g}{g_d + g_\phi} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{g_d + g_\phi t}{Q}} \right) \quad (5)$$

где:  $K_o$  - начальная концентрация;  
 $t$  - время работы от смены масла;  
 $g$  - интенсивность поступления продуктов износа в масло;  
 $Q$  - масса масла в картере;  
 $g_d$  - интенсивность долива масла;  
 $g_\phi$  - интенсивность фильтрации масла.

При отсутствии долива масла ( $g_y = 0$ ):

$$K = K_o - \frac{g}{g_d + g_\phi} \cdot \ell_n \left( 1 - \frac{g_d + g_\phi}{Q} t \right) \quad (6)$$

В зависимости от конкретных условий для оценки интенсивности поступления продуктов износа в масло можно использовать одно из приведенных соотношений, что позволит решить основные задачи контроля износа узлов дизеля и других машин и механизмов. Для оценки состояния узла трения могут быть использованы логический или вероятностный алгоритмы.

Логический алгоритм оценки состояния основан на сравнении величин концентраций (или интенсивностей поступления) с допустимыми или предельными значениями.

Вероятностный алгоритм основан на вычислении вероятностных

критериев и сравнении полученных результатов с пороговыми значениями.

Концентрация продуктов износа трущихся деталей, а также концентрация внешних загрязнителей в дизельном (моторном) масле может определяться с помощью фотоэлектрических стилометров.

На железных дорогах для спектрального анализа масла используются фотоэлектрические спектрометры, основанные на эмиссионном спектральном анализе масла.

Фотоэлектрические установки предназначены для регистрации интенсивности спектральных линий, и после калибровки по образцам используются для количественного определения содержания примесей в масле. Установки являются стационарными и предназначены для лабораторий железнодорожного транспорта. Они рассчитаны на круглосуточную работу в помещениях с регулируемым климатическими условиями. Температура в помещении должна быть в пределах от 18 до 26°C, допустимые колебания температуры в течение суток не должны быть больше  $\pm 3$  C.



Таблица 1

## Технические данные установок

Наименование	МФС-3	МФС-5
1	2	3
Рабочий диапазон спектра, нм	200-450	200-360
Обратная линейная дисперсия, нм/мм	0,83	0,55
Дифракционная решетка: - число штрихов на мм; - радиус кривизны, мм; - рабочий порядок.	1200 1000 первый	1300 1000 первый
Выходные щели: -высота, мм; -ширина, мкм	15 75, 100, 150	15 75, 100, 150
Минимальное расстояние между аналитическими линиями, мм	3,7	2,3
1	2	3
Количество каналов	10	16
Фотоумножители, тип	ФЭУ-39Л	ФЭУ-39А
Устройство автоматического опроса	нет	есть
Устройство отсчета времени	РЗЭ-3	ЭДУ-1
Стабилизатор напряжения питания дуги	нет	СЭМ-1
Электронно-регистрирующее устройство Габариты: - полихроматора, мм - ЭРУ Массы: - полихроматора, кг - ЭРУ	2010x765x420 1040x590x360 270 280	2010x765x420 650x530x1600 270 206

Эмиссионный спектральный анализ как метод качественного и количественного исследования элементарного состава вещества по спектрам излучения получил широкое распространение в науке и технике. Метод эмиссионного спектрального анализа основан на наблюдении и измерении интенсивности излучения, которое возникает при возбуждении

атомов анализируемого вещества с помощью источников возбуждения.

В одних и тех же условиях возбуждения атомы способны воспроизводить характерные для каждого химического элемента спектры излучения. Такая однозначность спектров элементов непосредственно связана с закономерностями структуры энергетических состояний электронов в атоме. При каждом переходе атом излучает свет строго определенной длины волны.

В источниках возбуждения создаются условия для испарения анализируемой пробы, ее диссоциации и атомизации.

При этом атомам вещества пробы сообщается энергия возбуждения. Возбуждение в электрической дуге или искре, обычно применяемое при эмиссионном спектральном анализе, носит термический характер. Интенсивность излучения, т.е. количество энергии, излучаемой в единицу времени, может быть выражено приближенной формулой:

$$(7) \quad J = NA \exp\left(-\frac{E}{KT}\right) h\nu$$

где: N - общее количество атомов данного элемента в источнике света;  
A - вероятность спонтанного перехода атома в состояние с меньшей энергией;

$\exp\left(-\frac{E}{KT}\right)$  - бoльцмановская функция возбуждения;

$h\nu$  - энергия одного кванта излучения.

Прямое использование приведенного выражения для целей количественного анализа осложняется рядом трудностей. Кроме того, линейная зависимость между интенсивностью спектральной линии и количеством возбужденных атомов выполняется только при очень малом числе атомов. С ростом числа атомов в зоне возбуждения возрастает число актов самопоглощения. Процессы самопоглощения приводят к тому, что зависимость интенсивности излучения от концентрации атомов становится криволинейной.

При количественном анализе чаще всего используют эмпирические выражения зависимости в виде:

$$J = ak^b \quad (8)$$

где: K - концентрация элемента в пробе;

a и b - постоянные, определяемые опытным путём.

Для эмиссионного спектрального анализа масла в зависимости от анализируемого вещества и методики анализа могут быть использованы различные спектральные приборы.

Для анализа масла при большом количестве проб и ограничении времени анализа наиболее целесообразно применение методики прямого

сжигания пробы без предварительной подготовки (озоления, коксования и т.п.) с обработкой данных на ЭВМ.

### 3. МЕТОДИКА ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МАСЛА НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ МФС-3 И МФС-5

3.1. Для выполнения спектрального анализа масла необходимо иметь следующую аппаратуру, материалы и реактивы:

- весы лабораторные технические (первого класса), аналитические и микроаналитические;
- ступки агатовые или яшмовые;
- установка ультразвуковая (для приготовления эталонов);
- мешалки для перемешивания проб масла и образцов;
- электроды стержневые и дисковые;
- окислы металлов химически чистые или чистые для анализа;
- растворители.

3.2. Приготовление образцов для количественного спектрального анализа масла

Образцы представляют собой масла с известным содержанием, определяемых элементов. Образцы приготавливаются из свежих масел тех же марок, которые используются в исследуемых дизелях тепловозов и дизель-поездов.

Перед приготовлением образцов масло должно быть проверено на соответствие показателям качества, установленным в стандарте или технических условиях.

Элементы вводятся в масло в виде порошка окислов. Для получения порошка окислы растираются в ступке. После введения окислов масло рекомендуется обработать ультразвуком, а затем перемешать на механической мешалке.

Для анализа масел необходимо приготовить не меньше четырех образцов с содержанием каждого элемента от 3 до 300 г/т. Образцы перед каждым анализом необходимо перемешивать механической мешалкой не меньше 4 ч.

3.3. Построение тарировочных графиков

Для построения графика зависимости величины отсчета по измерительному прибору установки от концентрации элемента в масла

необходимо выполнить анализ образцов масла с известной концентрацией элементов.

Содержание элементов в образцах для дизелей тепловозов приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Элемент	Содержание в г/т для образцов						
		11	12	13	14	15	16	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Железо	3	5	10	30	50	100	300
2	Медь	1	3	5	10	30	50	100
3	Свинец	100	300	3	5	10	30	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Олово	3	10	1	3	5	10	30
5	Хром	30	3	10	1	3	5	10
6	Алюминий	10	30	50	100	300	3	5
7	Молибден	30	10	5	3	30	10	5
8	Крайний	5	10	30	50	3	10	3
9	Бор	300	3	10	10	30	50	100

Примечание: 1. Набор элементов зависит от материалов, используемых в трущихся парах двигателя, а также от характерных элементов в присадках к маслу и воде, и может быть различным для разных двигателей.

2. Двухзначный номер образца условно обозначает: первая цифра марку масла, вторая номер эталона.

Каждый образец необходимо подвергать анализу на установке не менее 10 раз.

После анализа каждого образца должны быть подсчитаны:

- среднее значение показателей (отсчетов  $n_{cp}$ ) по измерительному прибору установки МФС по формуле

$$n_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i \quad (9)$$

где:  $m$ - число анализов;

$n_i$ - величина отсчета при  $i$ -ом анализе.

- относительное среднее квадратичное отклонение среднего значения

показания (показатель точности) по формуле

$$\delta_{cp} = \frac{1}{n_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - n_{cp})^2}{m(m-1)}} \quad (10)$$

Если среднее квадратичное относительное отклонение средней величины для концентраций 10 г/т и более составляет менее 5%, то число повторных анализов данного образца считается достаточным и строят калибровочные графики.

Если  $\delta > 5\%$ , то число анализов необходимо увеличить.

Графики следует строить в логарифмических координатах, что позволяет охватить широкий диапазон концентраций на одном планшете. По оси абсцисс откладывают величину концентраций, а по оси ординат средние значения показателей (отсчетов с измерительных приборов установки МФС).

Одновременно с анализом образцов необходимо проводить анализ контрольных масел и подсчитывать средние значения показателей по всем каналам измерения установки при десяти кратных определениях.

В качестве контрольных масел используют свежие моторные (дизельные) масла, на которых приготавливались образцы, и масла, бывшие в употреблении на дизеле.

После построения тарировочных графиков следует записать режим, при котором выполнялся анализ образцов.

В дальнейшем при выполнении анализов масла необходимо выдерживать установленный режим.

Рекомендуемые параметры режима анализа дизельных масел приведены в таблице 3.

Таблица 3'

№ п/п	Наименование	Величина
1	Скорость вращения дискового элемента, об/мин ( $c^{-1}$ )	5 (0,083)
2	Ширина входной щели, мкм	40
3	Время обжига, с	15
4	Время экспозиции, с	20
5	Ток дуги, А	4
6	Ток трансформатора, А	0,135
7	Разряжение в штативе, мм вод.ст.	1,0
8	Межэлектродный промежуток, мм	1,5

9	Искровой промежуток, мм	0,7
10	Глубина погружения дискового электрода в масло	касание

Примечание: 1. В зависимости от марки масла режим анализа может быть другим.

2. Положения переключателей напряжения ФЭУ, усилителя измерения и входной щели могут быть различными, но обязательно фиксированными для серии измерений.

Средняя квадратичная относительная ошибка определения величины концентрации при этом будет равна:

$$\delta_{\text{ксп}} = \frac{\delta_{\text{нсп}}}{\varphi} \quad (11)$$

где:  $\varphi$  - тангенс угла наклона градуировочного графика.

Как видно, ошибка определения величины концентрации, увеличивается с уменьшением угла наклона градуировочного графика.

### 3.4. Подготовка аппаратуры

Фотометрическая установка после включения и прогрева должна быть проверена на воспроизводимость. Перед проверкой установки необходимо убедиться в том, что параметры, определяющие режим анализа, соответствуют выбранным величинам данной установки.

Установку проверяют анализом проб контрольных и свежих масел в установленном режиме. Если среднее значение показаний по измерительному прибору при трехкратных определениях отклоняются не более чем на 15% от средних значений контрольных определений, то проверка заканчивается.

При больших отклонениях следует последовательно проверить:

- чистоту стержневых и дисковых электродов;
- пористость дисковых электродов;
- положение входной щели прибора;
- фотометрическую и фотоэлектрическую воспроизводимость установки.

При обнаружении причин нарушения воспроизводимости они должны быть устранены.

### 3.5. Подготовка проб масла для анализа

Непосредственно перед анализом пробы масла должны быть

перемешаны на мешалке в течение не менее 30 мин. При низких температурах наружного воздуха пробы масла, доставленные в лабораторию, перед перемешиванием должны быть прогреты до температуры 18-20°C.

### 3.6. Анализ масла и обработка результатов

Каждая проба масла подвергается анализу не менее двух раз. Расхождение между результатами двух параллельных определений отсчета (величины измерения) должны быть не более 15%.

При получении расхождений более чем 15% производится третье определение и за результат принимают среднее арифметическое значение двух определений в пределах допустимых отклонений.

Если значение результата третьего определения находится в пределах допустимых расхождений каждого из двух предыдущих определений, то за результат принимают среднее арифметическое значение всех трех определений.

Концентрацию элементов определяют по средним величинам полученных отсчетов (измерений) с помощью тарировочных графиков или таблиц. Величину концентрации указывают в граммах на тонну масла (г/т) с округлением до целых величин.

## 4.АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

### 4.1. Логический алгоритм оценки предаварийного состояния дизеля.

Алгоритм основывается на сравнении величин концентраций продуктов износа и загрязнений различных типов с пороговыми значениями.

Весь диапазон концентраций элементов разделяется на три поддиапазона граничными значениями:  $K_1$  и  $K_2$ .

При содержании элемента  $\leq K_1$  состояние дизеля оценивается как нормальное.

При содержании элемента  $> K_1, \text{ но } \leq K_2$  состояние дизеля оценивается, как неудовлетворительное.

При содержании элемента  $> K_2$  состояние дизеля оценивается, как аварийное.

В соответствии с принятым разделением дизелей по состоянию

назначаются различные объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту.

При нормальном состоянии на ТО и ТР выполняются объемы работ, предусмотренные действующими правилами и инструкциями по эксплуатации тепловоза. Пробу масла отбираются один раз перед постановкой тепловоза на ТО-3 или ТР.

При неудовлетворительном состоянии на ТО-3 выполняются дополнительные работы по узлам дизеля подлежащим контролю. При дальнейшей эксплуатации дизель берется под особый контроль с более частым отбором проб масла для анализа.

При аварийном состоянии дизеля тепловоза неисправность подлежит устранению.

В таблице 4 приведены ориентировочные предельные значения концентрации продуктов износа и загрязнителей для различных типов дизелей (в г/т масла).

Таблица 4

№ п/п	Тип дизеля	Д100	14Д40	5Д49	Д50	6S310ДР
	Тепловоз	ТЭ10 в/и	М62	ТЭ116 ТЭП70	ТЭМ2	ЧМЭЗв/и
1	2	3	4	5	6	7
1	Железо	$\frac{50}{100}$	$\frac{50}{100}$	$\frac{65}{100}$	$\frac{100}{200}$	$\frac{100}{200}$
2	Медь	$\frac{25}{70}$	$\frac{50}{100}$	$\frac{50}{100}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{20}{40}$
3	Свинец	$\frac{25}{100}$	$\frac{25}{100}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{40}{100}$	$\frac{40}{100}$
4	Алюминий	$\frac{20}{30}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{20}{30}$	$\frac{25}{50}$	$\frac{25}{50}$
5	Олово	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{5}{10}$
6	Хром	$\frac{10}{15}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{10}{15}$	-	-
7	Кремний	$\frac{10}{20}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{10}{20}$

Примечания: 1. В числителе приведены величины концентраций, соответствующих первому предельному значению -  $K_1$ .

2. В знаменателе -  $K_2$ .

Приведенные в таблице ориентировочные значения концентрации элементов износа в масле могут отличаться в разных регионах т.к.



учитываются эксплуатационные и климатические условия, а также качество технического обслуживания, включая своевременную замену масла.

Перечни и объемы дополнительных - работ устанавливаются также по типам дизелей в зависимости от конструкции контролируемых узлов.

#### 4.2. Вероятностный алгоритм диагностики дизеля по обобщенному параметру

Алгоритм основывается на вычислении условных вероятностных критериев и сравнении полученных величин с пороговыми значениями.

Вероятностный алгоритм диагностики состояния двигателя по обобщенному диагностическому критерию позволяет объединить информации от различных источников. При этом не имеет значения, подобен или нет в физическом смысле каждый элемент информации.

Увеличение объема используемой информации увеличивает разрешающую способность системы распознавания и позволяет выявить неисправности на ранних стадиях их развития.

Объектами диагностирования являются узлы (или детали) дизеля, омываемые маслом. Диагностирование узлов (или деталей) производится по величинам параметров качества масла, концентрации продуктов износа в масле и анализа их изменений за пробег тепловоза между отборами проб масла, а также по сопоставлению данных анализа с фактическими состоянием узлов и деталей дизеля по фактически выполненным работам по ТО-3 и ТР дизеля на предыдущем ТО-3 или ТР.

Для этого необходимо вычислить диагностический коэффициент ( $M$ ) по формуле:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^m a_{i_k}^{j_1}}{\sum_{i=1}^m a_{i_k}^{j_2}} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{a_{i_k}^{j_1} \cdot \sum_{i=1}^m a_{i_k}^{j_2}}{a_{i_k}^{j_2} \cdot \sum_{i=1}^m a_{i_k}^{j_1}} \quad (12)$$

где  $a_{i_k}^{j_1}$  - число случаев, когда  $j$ -й узел (или деталь) находится в состоянии нормы при нахождении  $i$ -го параметра в  $k$ -ом диапазоне значений;

$a_{i_k}^{j_2}$  - то же, когда  $j$ -й узел (или деталь) находится в состоянии отказа;

$j$  – контролируемая неисправность узла (или детали) дизеля;

$i$  – диагностический параметр;

$k$  - значение диагностического параметра;

$n$  – число диагностических параметров;

$m$  - число диапазонов значений  $i$ -го параметра.

Величина вычисленного диагностического коэффициента должно сравниваться с порогом  $C_i$  для каждого диагностируемого узла (или детали) дизеля.

Примечание. Порог  $C_j$  для каждого диагностируемого узла (детали) устанавливают по результатам сопоставления данных анализа и фактического состояния узла (детали), полученных в период накопления данных.

Если диагностический коэффициент  $j$ -го узла ( $M_j$ ), будет равен или больше значения порога ( $C_j$ ), то контролируемый узел (или деталь) находится в состоянии нормы.

Если  $M_j < C_j$ , то контролируемый узел находится в состоянии отказа и необходима разборка и освидетельствование.

В данном алгоритме в качестве обобщенного параметра используется диагностический коэффициент, представляющий произведение отношений правдоподобия. В качестве порога используется коэффициент  $C$ , определяемый из условия минимума суммарных потерь или по другому принятому решающему правилу (минимума ошибок первого или второго рода, минимума суммарной ошибки и т.п.).

#### 4.3. Прогнозирование остаточного ресурса дизеля по результатам спектрального анализа масла

Прогнозирование остаточного ресурса дизеля (его узлов и деталей) может производиться по средним значениям концентрации элементов износа за выполненный пробег от ремонта дизеля с переборкой.

Среднюю концентрацию ( $K_{cp}$ ) на момент прогнозирования вычисляют по формуле

$$K_{cp} = \frac{\sum_{r=1}^N K_r}{N} \quad (13)$$

где  $K_r$  – концентрация элемента в масле при  $r$ -м отборе пробы;

$N$  – число отборов пробы от последнего ремонта тепловоза с переборкой дизеля.

Значение остаточного ресурса ( $L_{ост}$ ) определяется как разность полного ресурса по износу узла (или детали) дизеля и фактически выполненного пробега и вычисляют по формуле

$$L_{ост} = \frac{G_{доп}}{a_{cp} K_{cpN}} - L \quad (14)$$

где  $G_{доп}$  – допустимый износ, г;

$a_{cp}$  – коэффициент массообмена, характеризующий условия работы

дизеля и вычисляемый как среднее арифметическое значение по прогнозируемым элементам износа для парка тепловозов одной серии, т/тыс. км;

$K_{cpN}$  - средняя концентрация на момент прогнозирования, гт;

$L$  - пробег на момент прогнозирования, тыс. км.

Допускается вычислять остаточный ресурс по условной величине полного ресурса ( $G_{доп.усл}$ ) по формуле

$$G_{доп.усл} = \frac{G_{доп}}{a}, \quad (15)$$

тогда

$$L_{ост} = \frac{G_{доп.усл}}{K_{cp}} \quad (16)$$

#### 4.4. Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса дизеля

Алгоритм основывается на прогнозировании функции износа экстраполяции по известным реализациям параметра. Прогнозирование сводится к вычислению величины остаточного ресурса по пробегу между переборками двигателя для замены изношенных узлов (или деталей).

Остаточный ресурс при линейной аппроксимации функции износа вычисляется по формуле:

$$L_0 = \frac{G_g}{g_{cpL}} - L \quad (17)$$

где  $G_g$  - допустимый износ;

$g_{cpL}$  - средняя интенсивность износа за пробег;

$L$  - пробег тепловоза к моменту прогнозирования.

Если за единицу пробега принять пробег между ТОЗ, то формула имеет вид:

$$N_0 = \frac{G_g}{g_{cpN}} - N \quad (18)$$

где  $N$  - номер ТОЗ.

Величина  $G_g$  определяется по установленным браковочным размерам в узле (или детали).

Величина средней интенсивности износа определяется по результатам анализа проб масла. Результаты анализа обрабатываются в зависимости от установленного режима контроля.

При эксплуатации могут иметь место два разных режима контроля.

Первый - когда период между отборами проб масла много меньше периода между сменами или освежениями масла. При этом в период между сменами и освежениями масла производится только долив масла для компенсации его угара при работе двигателя.

Второй - когда период между отборами проб масла, совпадает с периодом когда производится смена или освежение масла ( пробег между ТОЗ).

4.5. Вычисление интенсивности поступления продуктов износа в масло при частом отборе проб

Алгоритм используется при частом отборе проб по сравнению с пробегом между сменами и освежением масла. Если в период между сменами или освежениями масла отбирается несколько проб, то средняя интенсивность поступления продуктов износа в масло может быть вычислена для каждого такого периода методом наименьших квадратов по исходному дифференциальному уравнению накопления примесей в масле:

$$g = Q \left( \frac{\Delta k}{\Delta L} \right)_i + \lambda k_i \quad (19)$$

где  $Q$  - количество масла в картере двигателя;  
 $k$  - концентрация примесей в масле;  
 $\Delta L$  - пробег между отборами проб масла;  
 $\lambda$  - коэффициент массообмена.

При этом величина  $\lambda$  является неизвестной и так же вычисляется.

Для вычисления величин  $g$  и  $\lambda$  составляется система из условных уравнений:

$$\begin{aligned} g &= Q \left( \frac{\Delta k}{\Delta L} \right)_1 + \lambda k_1 \\ g &= Q \left( \frac{\Delta k}{\Delta L} \right)_2 + \lambda k_2 \\ &\text{-----} \\ &\text{-----} \\ g &= Q \left( \frac{\Delta k}{\Delta L} \right)_n + \lambda k_n \end{aligned} \quad (20)$$

где  $n$  - число отборов проб масла.

Решение системы методом наименьших квадратов дает средние на участке контроля величины.

При нескольких участках  $N$  производится определение по всем величинам и вычисляется:

$$g_{cpN} = \frac{\sum g_N}{N} \quad (21)$$

4.6. Вычисление интенсивности поступления продуктов износа в масло при редком отборе проб

В том случае если отбор проб производится редко по сравнению с пробегом, когда возможна смена или освежение масла то в этом случае целесообразно пользоваться приближенной формулой:

$$g = ak = (g_g + g_\phi)k \quad (22)$$

где  $a$  - коэффициент массообмена;  
 $g_\phi$  - приведенный коэффициент фильтрации масла;  
 $g_g$  - масла на долив, освежение и смену за период между отборами проб

Величина  $a$  вычисляется с учетом фактического расхода масла за весь пробег данного тепловоза от ремонта:

$$a = g_\phi + \frac{\sum g_{gN}}{N} \quad (23)$$

Величина  $k_{cpN}$  вычисляется также за весь пробег данного тепловоза:

$$K_{cpN} = \frac{\sum K_N}{N} \quad (24)$$

Величина  $g_\phi$  для данной серии тепловозов принимается постоянной и равной среднему значению по парку однотипных тепловозов.

## 5 ДИГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Задача управления состоянием дизелей тепловозов по результатам

анализа масла с использованием ЭВМ разделена на следующие основные подзадачи.

### 5.1. Сбор и учет исходных данных для диагностики состояния и прогноза остаточного ресурса дизеля тепловоза.

Подзадача предназначена для накопления информации с целью обучения диагностической системы управления. Сбор и учет информации производится в накапливающейся матрице единой для всех дизелей одного типа.

Диагностическая матрица исходов представляет собой таблицу, построенную на основе списков контролируемых узлов и параметров. Значения элементов матрицы представляют собой числа случаев данного состояния -  $\ell$  контролируемого узла -  $j$  при соответствующих признаках -  $K$  контролируемых параметров -  $i$ .

Числа обозначаются буквой "а" с четырьмя индексами  $ijkl$  являющимися координатами ячейки матрицы исходов.

Списки контролируемых узлов дизеля составляются на основе правил ремонта, инструкций по эксплуатации и опыта эксплуатации тепловозов для каждого типа дизеля.

Списки контролируемых параметров составляются в соответствии с наличием технических средств анализа масла и информации о пробегах тепловоза от различных видов ТО и ТР, об условиях эксплуатации тепловозов и о работах, выполненных на данном тепловозе при предыдущих ТО и ТР по контролируемым узлам.

### 5.2. Диагностика технического состояния дизеля

Подзадача предназначена для проведения диагностики по контролируемым узлам дизеля с целью выдачи рекомендаций об объеме работ на предстоящем ТО или ТР тепловоза без переборки дизеля.

Решить задачу диагностирования объекта контроля значит установить состояние объекта в данный момент и в зависимости от диагноза дать заключение. При обнаружении неисправностей указать их адреса и определить объем работ на предстоящего ТО или ТР в зависимости от уровня отказа, при отсутствии неисправностей дать прогноз безотказной работы до следующего планового ТО или ТР.

Диагностика дизеля производится в соответствии с вероятностным алгоритмом по обобщенному параметру.

При диагностике используется рабочая матрица идентичная накапливающейся матрице исходов и входная информация.

Рабочая матрица представляет собой таблицу, в которой содержатся либо числа случаев исходов -  $a_{ik}^{jl}$  либо частные отношения правдоподобия

$d_{ik}^j$ .

$$d_{ik}^j = \frac{a_{i_k}^{j_1} \sum_{k=1}^m a_{i_k}^{j_2}}{a_{i_k}^{j_2} \sum_{k=1}^m a_{i_k}^{j_1}} \quad (25)$$

Рабочая матрица в отличие от накапливающейся матрицы исходов корректируется периодически по требованию, но не чаще, чем один раз в год.

### 5.3. Прогноз остаточного ресурса дизеля

Подзадача предназначена для определения остаточного ресурса до ремонта дизеля с целью определения очередности постановки тепловозов в ремонт с переборкой дизеля.

Задача определения остаточного ресурса сводится к обычной задаче прогнозирования функции износа экстраполяционным методом по известным реализациям параметров.

Прогнозирование производится в соответствии с алгоритмом при вычислении интенсивности поступления продуктов износа в масла.

При прогнозировании используется матрица прогнозирования и входная информация.

Матрица прогнозирования представляет собой таблицу, в которой содержится переменная информация по каждому дизелю.

В ней в частности содержатся средние и текущие величина показателей качества масла.

### 5.4. Предварительная обработка входной информации

Подзадача предназначена для контроля критических значений параметров и подготовки данных для решения других подзадач.

Контроль критических значений выполняется с целью выделения неисправных дизелей для установления режима более частого отбора проб масла. Контроль производится по логическому алгоритму оценки предаварийного состояния в соответствии с п.4.1.

Кроме того, имеется еще две подзадачи:

5.5 Корректировка пороговых значений и анализ, которая служит для автоматической корректировки пороговых значений и анализа результатов применения системы управления.

5.6 Корректировка диагностических матриц, которая служит для сглаживания и сокращения рабочей и накапливающейся матриц.

Предусмотрена стыковка данной задачи с задачей «Учет расхода

масла и топлива дизелями тепловозов», которая может быть как самостоятельной задачей, так и подзадачей, входящей в состав задачи управления состоянием дизелей тепловозов по результатам анализа масла

## 6. ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача решается на уровне дороги, имеющей одно или несколько локомотивных депо, эксплуатирующих одну или несколько серий тепловозов. Тепловозы проходят ТО и ТР в одном или нескольких депо и пунктах ТО снабжаются топливом и маслом на нескольких складах горючесмазочных материалов. На дороге имеются одна или несколько лабораторий спектрального анализа, а также одна или несколько лабораторий физико-химических анализов масла. На дороге имеется один вычислительный центр и линии связи между вычислительными центрами и другими пунктами, а также линии связи между пунктами, принимающими участие в решении задачи.

Схема информационных и технологических связей существенно зависит от количества и расположения на дороге организаций, участвующих в решении задачи. Но во всех случаях основной информационный поток начинается и заканчивается в локомотивном депо, выполняющем ТОЗ и ТР.

Методика решения задачи предусматривает два этапа. На первом этапе происходит накопление информации для изучения, на втором этапе результаты решения используются для корректировки объемов проверок по дизелю на ТОЗ и ТР1, корректировки пробегов до постановки тепловозов на ТР2 или ТР3 с переборкой дизеля. Накопление информации на втором этапе продолжается.

Технология решения задачи на обоих этапах одинакова. Основной информационный документ единая учетная карточка ЕУК - зарождается при постановке тепловоза на очередной ТОЗ или ТР1 номер № -1.

При этом заполняются, графы 1-7 строки 1. В графе 8 проставляется номер следующего технического обслуживания №.

На очередном ТО или ТР производится осмотр, измерения и другие работы по диагностируемым узлам дизеля тепловоза в объеме установленном правилами ремонта или другой действующей технической документацией (на первом этапе) или в объеме установленном диагностикой на ТОЗ или ТР1. Результаты осмотра, изменений, замены деталей или масла заносятся в единую учетную карточку ЕУК - графы 11-20 строки 2.

За 3-5 суток до очередного ТОЗ отбирают пробу масла из картера дизеля тепловоза и доставляют ее в лабораторию для физико-химического анализа масла. При этом в графу 9 строки 1 ЕУК проставляется пробег тепловоза от ТОЗ до отбора пробы.

В лаборатории производится анализ масла по вязкости, температуре вспышки, величине водородного показателя и общей загрязненности



масла.

Результаты анализа заносятся в графы 21-24 строки 3 ЕУК.

В лаборатории спектрального анализа производится анализ масла на продукты износа и другие примеси. Результаты анализа заносятся в графы 31-38 строки 5 ЕУК.

На основе, заполненной таким образом ЕУК, формируется входной макет. Сформированные входные макеты один или два раза в сутки передаются на ВЦ по каналам связи.

В вычислительном центре входную информацию обрабатывают для решения задачи. Результаты решения по подзадачам 2,3,4 в виде выходного макета передают в депо, где будет производиться ТОЗ или ТР.

Для диагностики дизелей тепловозов используются данные спектрального и других анализов масла, а также информация об условиях эксплуатации тепловозов, пробегах от различных видов ТО и ТР, о работах выполненных по ТО и ТР контролируемых узлов. Всего около 30 параметров. Для обработки этого объема информации и определения неисправности применяется ЭВМ вычислительных центров дорог.

Перечень диагностируемых узлов и неисправностей дизелей тепловозов основных серий, а также методы проверки состояния узла на плановом техническом обслуживании или ремонте и понятие отказа приведено в таблице 5.

Рекомендуемый объем работ по диагностируемым узлам дизелей типа Д100 в зависимости от результата диагностики приведены в таблице 6.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЕДИНАЯ УЧЕТНАЯ КАРТОЧКА

№ строки	Серии тепловоза	Марка дизеля	Номер тепловоза	Номер секции	Дело приписки	Вид движения	Период работы	Номер ТО(N)	Пробег от ТО(N-1)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										

Заполнил

«\_\_\_» \_\_\_\_\_200

г.

	Работы, выполненные на техническом обслуживании номер N-1 или ремонте, по											
	замена освежению масла	или замене неисправных деталей, регулировке, очистке или другие работы по перечню контролируемых неисправностей										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
2							1					

Заполнил

«\_\_\_» \_\_\_\_\_200

г.

	τ	υ	pH							
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3										
4										

Заполнил

«\_\_\_» \_\_\_\_\_200

г.

	Pb	Cu	Fe	Sn	Cr	Al	Si	Na				
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
5												
6												

Заполнил

«\_\_\_» \_\_\_\_\_200

г.

Работы, выполненные на техническом обслуживании номер N-1 или ремонте, по												
	Замена или освежению масла	замене неисправных деталей, регулировке, очистке или другие работы по перечню контролируемых неисправностей										
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
7												

Заполнил « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200

г.

Мастер № \_\_\_\_\_ передал « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200

г.

Таблица 5

## Диагностируемые узлы и неисправности дизелей типа Д100

№ п/п	Узел	Неисправность	Метод проверки состояния узла на плановом ТО или ТР	Понятие отказа
1	2	3	4	5
1	Вкладыши подшипников коленчатого вала	Выкрашивание	Осмотр сеток картера и стенок блока на наличие баббита	Наличие частиц баббита на сетках картера или стенках блока
2.	Вкладыши коренных подшипников коленчатого вала	Износ	Измерение зазоров на масло	Превышение установленных правилами ремонта допусков на зазор
3.	-----//-----	Провисание	-----//-----	Превышение установленных допусков
4.	Поршневые кольца и цилиндрические гильзы	Износ	Осмотр замков колец	Превышение установленных допусков
5	Цилиндрические гильзы	Задир	Осмотр цилиндрических гильз	Наличие рисок и задигов на поверхности гильз
6	Поршневые кольца	Пригорание, поломка	Осмотр колец	Наличие пригаров и поломанных колец
7	Форсунки	Ухудшение распыла топлива	Испытания на стенде	Ухудшение распыла и подтекание топлива

8	Водяная система.	Попадание воды в картер	Спуск масла из отстойника картера	Наличие воды в отстое масла
1	2	3	4	5
9	Воздушный фильтр	Пропуск пыли в дизель	Осмотр воздушного ресивера	Наличие атмосферной пыли в ресивере и отложение на окнах цилиндрических гильз более 1,0 мм
10	Выпускной коллектор	Загар окон цилиндрических гильз	Осмотр окон цилиндрических гильз	Отложения на окнах цилиндрических гильз более 1,0 мм
11	Поршни	Прогар головки	Осмотр головок поршней	Наличие сетки разгара
12.	Втулки верхних головок шатунов	Износ	Измерение размеров втулок и пальцев	Превышение установленных допусков на зазор
13	Турбовоздуходувка	Износ опорно-упорного подшипника	Измерение разбега ротора	Превышение допусков на разбег
14	Отключающее устройство топливных насосов	Несрабатывание отключения топливных насосов	Внешний осмотр и проверка срабатывания	Подача топлива насосами при работе дизеля на холостом ходу
15	Дизель (общее состояние)	Дымление	Контроль дымности выхлопа при эксплуатации	Повышенное дымление дизеля

Таблица 6

## Объём работ по диагностируемым узлам тепловозных дизелей типа Д100

№ узла п.5	Результаты диагноза	Объём работ по проверкам состояния узла
1	2	3
1	0 1 и 2  3	Вкладыши подшипников не осматриваются. Внешний осмотр вкладышей, сеток в нижнем картере. При обнаружении частиц баббита снять вкладыши подшипников для осмотра рабочей поверхности и измерений зазора. Выполняются работы по 1 и 2-му уровням и дополнительно производится ревизия двух-трех рабочих вкладышей шатунных подшипников.
2	0 1,2 и 3	Зазоры на масло не измеряются. Измерение зазоров на масло.
3	0 1,2 и 3	Провисание коленчатого вала не проверяется. Проверка провисания нижнего коленчатого вала.
4	0 1  2 и 3	Замки поршневых колец не осматриваются. Осмотр замков колец на нижних поршнях и измерение зазора. Осмотр замков колец на нижних и верхних поршнях с измерением зазора.
5	0 1,2 и 3	Осмотр зеркала цилиндрических гильз не производится. Осмотр зеркала цилиндрических гильз и поршней на наличие рисок задира.
6	0 1 2 и 3	Осмотр поршневых колец не производится. Осмотр колец нижних поршней на пригорание и излом. Осмотр колец нижних и верхних поршней на пригорание и излом.
7	0 1,2 и 3	Форсунки с дизеля не снимаются. Форсунки с дизеля снять и испытать на стенде.
8	0  1 2 и 3	Осмотр уплотнений внутренней водяной системы не производится. Осмотр уплотнений внутренней водяной системы. Осмотр и опрессовку водяной системы дизеля.
1	2	3

9	0 1 2 и 3	Кассеты воздушного фильтра не осматриваются. Осмотреть воздушные ресиверы на наличие атмосферной пыли. Выполнить работы по 1-му уровню, кассеты воздушного фильтра снять, промыть промаслить. Осмотреть уплотнения корпуса фильтра и состояние соединительных рукавов.
10	0 1 2 3	Крышки люков выпускного коллектора не вскрывать. Осмотреть выпускные окна цилиндрических гильз. Выполнить работы по 1-му уровню и произвести очистку коллекторов, снять и очистить дренажные трубы. Выполнить работы по 1 и 2-му уровням, осмотреть поршневые кольца, очистить воздушные ресиверы и выпускные окна.
11	0 1,2 и 3	Головки поршней не осматриваются. Осмотреть состояние головок поршней и поршневых колец.
12	0 1 и 2 3	- Проверить величину камеры сжатия. Выполнить работы по 1 и 2-му уровням и снять 2-3 поршня для осмотра и измерения втулок верхних головок шатунов и поршневых пальцев.
13-14	0 1 2 3	Воздуходувка и воздушный ресивер не осматриваются и осевой разбег роторов не проверяется. Осмотреть воздушный ресивер на наличие алюминиевой пыли, измерить осевой разбег роторов. Выполнить работы по 1-му уровню и измерить зазоры между роторами (2Д100). Воздуходувку снять для ревизии с разборкой.
15	0 1,2 и 3	Устройство отключения не осматривать. Осмотреть и проверить работу отключающего устройства.
16	0 1 2 3	- Вскрыть люки воздушного ресивера и выпускного коллектора и очистить окна цилиндрических гильз. Выполнить работы по 1-му уровню и проверить величину давления наддува, и работу форсунок на стенде. Произвести проверку работы и регулировки дизель-генератора с нагрузкой на реостате.

- Примечание: 1. Обозначение диагностирующих узлов (неисправностей) в графе 1 такое как в таблице 5.
2. При диагнозе - отказ 3-го уровня тепловоз подлежит немедленной постановке на ТО-3 или ТР.
  3. При постановке тепловоза на ТО-3 более чем через 5-7 суток после получения диагноза работы выполняются в соответствии с правилами ремонта.

## Заключение

1. Реализация реализованных рекомендаций по диагностике состояния узлов дизелей тепловозов и дизель-поездов и прогноза их остаточного ресурса возможна только в масштабах железной дороги, имеющей вычислительный центр (ВЦ) и линии связи с пунктами принимающими участие в решении задачи.

Для реализации в условиях отдельных локомотивных депо необходимо разработать программное обеспечение задачи применительно к имеющейся вычислительной технике.

2. Для практической реализации разработанных рекомендаций в условиях конкретных железных дорог необходимо:

2.1. Разработать перечень диагностируемых узлов и неисправностей дизелей тепловозов и дизель-поездов основных серий (в настоящих рекомендациях есть только для тепловозов серии 2ТЭ10, таблица 5);

2.2. Разработать для дизелей тепловозов и дизель-поездов основных серий) методы проверки состояния узлов дизелей при плановых технических обслуживаниях и ремонтах и понятия «отказа» для них;

2.3. Разработать рекомендуемые объемы работ по диагностируемым узлам для дизелей тепловозов и дизель-поездов основных серий (аналогично таблица 6 для дизеле типа Д100);

2.4. Разработать региональные таблицы пороговых значений физико-химических показателей качества моторных масел для тепловозов и дизель-поездов основных серий;

2.5. Разработать и опробовать новые приборы для внелабораторного комплексного экспресс-анализа основных физико-химических показателей качества моторных масел.

Внедрение диагностической системы управления состоянием дизелей тепловоза и дизель-поездов позволит повысить достоверность диагностирования, снизить количество ошибок классификации неисправностей внеплановых ремонтов, что должно привести к уменьшению числа неплановых ремонтов и снижению стоимости проверок с поиском неисправностей.