

ГАЖК «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

«ДИАГНОСТИКА И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА»

Методическое пособие
к практическим занятиям по дисциплине
для магистров специальности
5А521310 – Электрический транспорт

ТАШКЕНТ – 2008

УДК 629.424.

Методическое пособие предназначено для проведения практических занятий по дисциплине «Диагностика и надежность ПС ЭТ» у студентов магистратуры специальности 5А521310 – Электрический транспорт. Рекомендованы к изданию решением учебно – методической комиссии Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

Составители: к.т.н.доц. Связев В.П.

Рецензенты: к.т.н., доц. ТашИИТ Нигай Р.П.
к.т.н., доц. ТашИИТ Нурходжаев Х.Э.
к.т.н., доц. ТГТУ Усманов Э.Г.

© Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, 2008

Практическая работа № 1

ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

(4 часа)

Среди разновидностей параметров различают: структурный параметр состояния - параметр, непосредственно характеризующий работоспособность объекта диагностирования (износ, размер деталей, зазор; натяг в сопряжении и др.); диагностический параметр состояния - параметр, косвенно характеризующий работоспособность объекта диагностирования (температура, шум, вибрация, расход топлива, масла и др.).

Задача выбора диагностических параметров (ДП) занимает центральное место в разработке диагностического обеспечения, так как результаты ее решения непосредственно связаны с обеспечением контролепригодности и надежности систем и с затратами на технические средства диагностирования. Необходимость компромиссного решения этой задачи обусловлена тем, что ограничение числа ДП, вводимое с целью уменьшения затрат на систему диагностирования, должно производиться без существенной потери информации и снижения достоверности оценки технического состояния систем.

Процесс выбора ДП по диагностической модели состоит из двух процедур: упорядочения множества параметров ОД, представленных в его ДМ, и выбора из этого множества параметров совокупности оцениваемых ДП.

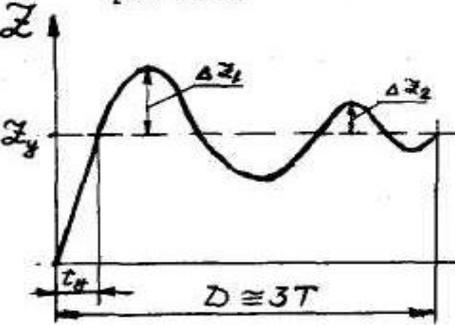
При упорядочении или ранжировании параметров Z_i , образующих множество Z , используется определенного вида критерий упорядочения. Вводя для каждого вида ДМ отношение порядка (ранг ДП $R(Z_i)$), упорядочение ДП производится таким образом, чтобы соблюдалось условие [14].

$$R(Z_i) \geq R(Z_j), i > j, Z_i \in Z \quad (1)$$

В зависимости от вида используемой ДМ для упорядочения параметров ОД могут быть применены критерии упорядочения, представленные в табл. I.

Таблица 1

Критерии упорядочения

В и д ДМ	Наименование критерия упорядочения	Выражения для критерия упорядочения ДП
Дифференциальное уравнение $D(\rho)z = M(\rho)x$	Модуль функции чувствительности	$ S_i(\omega) = \left \frac{\partial \ln A(\omega)}{\partial \ln \alpha_i} \right ,$ где $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика; α_i – коэффициент модели
Переходная характеристика 	Чувствительность показателей формы процесса к изменению коэффициентов передаточной функции	$S_{ij} = \frac{\partial \gamma_i}{\partial \alpha_j},$ где γ_i – показатель формы переходной характеристики; α_j – коэффициент передаточной функции
Логическая модель, ТФН	Сумма модулей элементов столбца (строки) ТФН	$U_a^{(i)} = a_{i1} + \dots + a_{in} ;$ $U_o^{(j)} = a_{1j} + \dots + a_{mj} ;$ $a_{ij} = \{0, 1\}, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$
Топологическая модель, Орграф $G(P, E)$	Показатель эффективности параметра x_i	$L_{x_i} = S_i I_{x_i} v_i,$ где S_i – коэффициент связности графа; I_{x_i} – коэффициент параметра; v_i – коэффициент доступности измерения параметра

Упорядочение ДП и последующий выбор совокупности оцениваемых ДП можно произвести по результатам статистических наблюдений, на основе которых формируется информационный критерий, вероятностные оценки параметров отражают особенности конструкции и условия эксплуатации локомотивов более полно, чем так называемые модельные критерии, но получение их связано с необходимостью систематического сбора данных о появлении дефектов за интервал выработки ресурса отдельных систем.

Выбор совокупности оцениваемых ДП $Z_{o\min} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$, $Z_{o\min} \in Z$, для определенного вида ДМ осуществляется с учетом технической возможности и экономической целесообразности их измерения и оценки, формально задача выбора оцениваемых ДП $Z_{o\min}$ заключается в определении отображения

$$\varphi: Z \rightarrow Z_{o\min} \quad (2)$$

которое исходному пространству параметров Z ставит в соответствие искомое пространство $Z_{o\min}$.

Отыскание оптимального в некотором смысле преобразования (2) производится с использованием так называемых критериев выбора ДП. В зависимости от исходных предпосылок (вид ДМ, решаемые задачи диагностирования) и объема априорных сведений о структуре и надежности ОД используются следующие критериальные подходы к выбору ДП.

Выбор ДП по критерию обеспечения заданной достоверности диагноза, которая определяется по формуле

$$P(m) = \frac{\sum_{i=1}^m R_i A_i}{\sum_{i=1}^m R_i A_i} : P(m) \geq P_o(m) \quad (3)$$

где

$R_i = \frac{1}{P_i}$, P_i - вероятность выполнения задач i -м блоком;

A_i - коэффициент значимости i -го параметра;

m - количество ДП;

n - общее количество параметров, представленных в модели;

$P_o(m)$ - заданная достоверность диагноза.

Коэффициент значимости параметров A_i может быть идентичен критерию упорядочения параметров или же сформирован специально с учетом специфических особенностей параметров и предъявляемых к ним требований.

Выбор диагностических параметров по критерию обеспечения заданной надежности объекта производится при наличии надежностных характеристик объекта по всем S -параметрам на выходе отдельных элементов подсистем и блоков, исправное состояние объекта по каждому i -му параметру обозначим через Q_{oi} . Пусть известны (или могут быть определены) надежностные характеристики ОД по всем параметрам:

$P_{1/0} = P(Q_{1/0})$ - вероятность исправного состояния системы по параметру Z_1 ;

$P_{2/0} = P(Q_{02/01})$ - вероятность исправного состояния системы по параметру Z_2 при условии, что система работоспособна по параметру Z_1 ;

$P_{s/s-1} = P(Q_{01}, Q_{02}, \dots, Q_{0s-1})$ вероятность исправного состояния системы по параметру при условии, что система работоспособна по всем Z_{s-1} параметрам.

Надежностные характеристики $P_{s/s-1}$ относятся к заданному интервалу времени T . Вероятность исправного состояния системы по всем параметрам равна на этом интервале

$$P(T) = \prod_{s=1}^m P_{s/s-1}(T) \quad (4)$$

С целью повышения надежности $P(T)$ часть параметров в пределах этого интервала можно контролировать и осуществлять настройку и профилактику соответствующих блоков. Предположим, что контроль осуществляется через интервал r . Тогда надежность увеличивается до величины

$$P(T) = \prod_{i=1}^n P_{ni/i-1}(r) \cdot \prod_{i=n+1}^m P_{ni/g-1}(T) \quad (5)$$

где

$P_n(r)$ - условные вероятности работоспособного состояния системы по контролируемым параметрам за время r ;

$P_H(T)$ - условные вероятности работоспособного состояния системы по неконтролируемым параметрам за время T .

Вероятность $P(T)$ будет максимальной, если все $Z_i \in Z$ будут распределены между множествами контролируемых и неконтролируемых $Z_n = \{Z_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ и неконтролируемых $Z_H = \{Z_i\}, i = n+1, \dots, m$ где

$Z_n \cup Z_H = Z_H = Z$ таким образом, чтобы в числе неконтролируемых оказались те параметры, по которым надежность объекта была бы максимальной, а группа контролируемых объединит параметры, относительно которых объект наименее надежен. Если задана допустимая надежность объекта $P_0(T)$, то указанное распределение минимизирует число контролируемых параметров n , обеспечивающее $P(T) \geq P_0(T)$. Отсюда следует правило выбора параметров по данному критерию: из Z выбирается такой параметр Z_s , для которого этому параметру можно присвоить новое обозначение Z_1 . Таким образом,

$$P_{n/o} = P(Q_{01}) = \min P(Q_{os}) \quad (6)$$

где

S - относится к первоначальной индексации. Из оставшихся параметров Z выбирается Z_s , для которого $P_{03}/Q_{01} = \min$. Ему присваивается обозначение $Z_2 : P_{12/1} = P(Q_{02}/Q_{01}) = \min P(Q_{os}/Q_{01})$. Формирование множества контролируемых параметров $Z_n = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_s\}$ по минимуму условной вероятности исправного состояния $P_{ns/s-1}(T)$ заканчивается при таком числе n , при котором выполняется условие

$$P(T) \geq P_0(T) \quad (7)$$

В таких системах, как дизель, электропередача, этот метод можно использовать при наличии статистических данных об отказах и дефектах отдельных подсистем, отнесенных к их выходным параметрам.

Информационный критерий выбора диагностических параметров базируется на информационной оценке процесса диагностирования. Одновременно с выбором оптимального числа диагностических параметров производятся выбор схемы и оценка алгоритма установления диагноза. В основу этого метода положен анализ таблицы состояний, в которой столбцы соответствуют возможным состояниям системы S_i , а строки - всем возможным проверкам (параметрам) Z_i . Проверка каждого параметра (событие А) заканчивается двумя исходами: 1 - когда значение параметра допустимо,

0 - когда значение параметра недопустимо. Каждое событие равновероятно: вероятность каждого состояния $P(Q_i)$ известна и определяется надежностью блоков.

Среднее количество информации о состоянии объекта при

контроле набора $\{Z_k, \dots, Z_l\}$ составляет

$$I(Z_k, Z_l, \dots, A) = H(A) - H(A / Z_k Z_l) \quad (8)$$

где

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n P(Q_i) \log P(Q_i) \quad \text{- начальная неопределенность сведения о}$$

состоянии объекта перед контролем;

$H(A / Z_k Z_l)$ - неопределенность, остающаяся после контроля параметров $\{Z_k, Z_l\}$.

Для контроля выбираются наиболее информативные параметры, т.е. параметры, в наибольшей степени уменьшающие остаточную неопределенность на каждом шаге выбора, процесс заканчивается, когда остаточная энтропия становится равной нулю. На первом шаге определяется средняя условная неопределенность:

$$H(A / Z_k) = -\sum_i \sum_j P(Z_k^j) P(Q_i / Z_k^j) \log_2 P(Q_i / Z_k^j) \quad (10)$$

где

$P(Q_i / Z_k^j)$ - условная вероятность j -го состояния ОД при условии, если на предшествующем шаге был получен j -й исход;

j - индекс значения параметра Z_k .

Из остающейся неопределенности при контроле отдельных параметров из совокупности Z выбирается наименьшая. На втором шаге просматриваются все пары Z_k, Z_l $[L \neq R]$ - фиксировано, рассчитываются остаточные условные неопределенности

$$H(A / Z_k Z_l) = -\sum_i \sum_j \sum_t P(Z_k^j, Z_l^t) P(Q_i / Z_k^j, Z_l^t) \log P(Q_i / Z_k^j, Z_l^t) \quad (11)$$

и также выбирается наименьшая.

Далее процедура продолжается до тех пор, пока остаточная условная неопределенность не станет равной 0. При этом первоначальная неопределенность полностью снимается.

Изложенный метод определения совокупности ДП по информационному критерию может быть применим на начальной стадии разработки диагностического обеспечения тепловозных систем, когда отсутствуют статистические данные об отказах и дефектах их элементов. Полученная совокупность ДП, обеспечивающая полную

проверку объекта, часто включает такие физические величины, контроль которых технически сложен или экономически нецелесообразен. Полнота проверки, вычисленная после их исключения, обеспечивает практически необходимую достоверность и эффективность диагностирования, то оставшаяся совокупность ДП будет минимально необходимой и достаточной для проверки состояния объекта.

В ряде случаев, как это предусмотрено ГОСТ 23653-79, задается значение полноты проверки V_k , а затем выбирается некоторая совокупность параметров для ее обеспечения. При одинаковой стоимости проверок диагностических параметров находится минимальная их совокупность, обеспечивающая заданное значение V_{ko} . В этом случае удовлетворяется требование минимума стоимости контроля наименьшим числом проверок наиболее информативных параметров.

На первом шаге контроля в число оцениваемых ДП следует занести параметр с наибольшей информативностью I_{1max} , вычисленной по формуле

$$I_{1max} = \max_{i \in M} \left[H_o(M) - \prod_{i \in M_n^1} H_o(M_H^1) \right] \quad (11)$$

где

$H_o(M)$ - исходная неопределенность состояния объекта;

P_i - вероятность безотказной работы объекта по i -му параметру;

M - множество диагностических параметров. Этот параметр разбивает всю совокупность элементов объекта на подмножества M_i^1 проверенных на первом шаге элементов и подмножество M_H^1 непроверенных. Последнее подмножество следует рассматривать как новую систему, имеющую исходную неопределенность $H_o(M_H^1)$. Для этой системы по аналогичной формуле оценивается информативность каждого параметра и выбирается тот из них, который обладает наибольшей информативностью.

$$I_{2max} = \max_{i \in M_H^1} \left[H_o(M_H^1) - \prod_{i \in M_n^2} H_o(M_H^2) \right] \prod_{i \in M_n^1} \quad (12)$$

Параметр, выбранный на втором шаге, снова разобьет M_H^1 на

подмножества M_I^2 проверенных и M_H^2 непроверенных элементов, над которыми третьим шагом проверки производится аналогичная процедура по выбору наиболее информативного параметра.

Процесс выбора параметров заканчивается на R -м шаге, когда

$$\frac{\sum_{s=1}^k I_{s \max}}{H_o(M)} \geq V_{ko} \quad (13)$$

Следует отметить, что на каждом шаге вместо наиболее информативного может быть выбран другой, если наиболее информативный не рационален по экономическим или техническим соображениям.

Например, на каждом шаге можно выбирать параметр, обеспечивающий наибольший информационно-стоимостный показатель:

$$K_{s \max} = \max_{i \in M_H^{(s-1)}} \frac{I_s^{(i)}}{C_s^{(i)}} \quad (14)$$

где

$I_s^{(i)}$ - информативность i -го параметра на S -м шаге;

$C_s^{(i)}$ - стоимость проверки i -го параметра на S -м шаге.

При контроле с заданной полнотой достоверность его зависит как от характеристик надежности и точности технических средств диагностирования, так и от рациональности выбора минимальной совокупности оцениваемых ДП, так как она дополнительно уменьшается за счет возможных отказов непроверенной части объекта.

Практическая работа № 2

По характеру участия в процессе измерения все средства можно разделить на четыре основные группы: меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, информационно-измерительные системы.

Мера - это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера. Меры делятся на однозначные, многозначные и наборы мер. Однозначные меры воспроизводят либо единицы измерения, либо их кратные или дольные значения: гири, концевые меры длины, конденсаторы. Многозначные меры или меры с переменным значением воспроизводят любые кратные или дольные значения единицы измерения в определенном диапазоне:

реохорд, конденсатор переменной емкости.

Измерительный преобразователь - это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки, хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Измерительный преобразователь не позволяет непосредственно получить результат измерений, а осуществляет преобразование одной физической величины в другую. Измерительные преобразователи служат основой для построения более сложных средств измерений: измерительных приборов и информационно-измерительных систем.

Измерительный прибор - это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем, в отличие от измерительного преобразователя измерительный прибор всегда имеет устройство, позволяющее человеку воспринимать информацию о числовом значении измеряемой величины, этим устройством служат шкалы, цифровые табло, печатающее устройство, самописец с координатной бумагой и др.

Информационно-измерительные системы (ИИС) - это качественно новый вид средств измерений. Они представляют собой совокупность технических средств в блочно-модульном исполнении, объединенных общим алгоритмом функционирования, обладающий нормированными метрологическими характеристиками и предназначенный для получения измерительной информации непосредственно от объекта, ее преобразования, передачи, хранения, обработки и выдачи в виде, удобном для восприятия оператором или ввода в систему автоматического управления.

Ни один технологический процесс, ни один объект управления, ни одна отрасль народного хозяйства не в состоянии функционировать без использования соответствующих измерительных систем.

Важнейшей характеристикой средств измерений является погрешность, под которой понимается отклонение показаний приборов или номинальных значений мер от истинных значений измеряемой величины или истинных значений мер.

Важной характеристикой средств измерений является чувствительность, равная отношению изменения величины на выходе к вызывавшему его изменению входной (измеряемой) величины. Различают абсолютную и относительную чувствительности, которые определяются формулами

$$S_{\Delta A} = \Delta y / \Delta x ; \quad S_{\text{отн}} = \Delta y / (\Delta x / x) \quad (3)$$

где

Δy - изменение величины на выходе;

x - измеряемая величина;

Δx - изменение измеряемой величины.

Существует характеристика-порог чувствительности, это изменение значения измеряемой величины, способное вызвать наименьшее обнаруживаемое изменение выходной величины.

Важной характеристикой средств измерений является надежность. Надежность средств измерений определяется как свойство сохранять нормируемые метрологические характеристики в определенных условиях эксплуатации.

Надежность может быть оценена различными количественными характеристиками: вероятностью безотказной работы; частотой отказов, средним временем безотказной работы, средним временем между соседними отказами и др. Отказ - это событие, после которого метрологические характеристики средств измерений выходят за допустимые пределы.

Для оценки качества и эффективности средств измерений применяются также следующие показатели: диапазон измерения - диапазон значений измеряемой величины, которые могут быть измерены данным прибором; нижний и верхний пределы измерения - наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины, которые могут быть измерены данным прибором; собственное энергопотребление; стабильность характеристик; помехозащищенность; габариты, масса, стоимость и др.

При использовании средств измерений на практике их метрологические характеристики должны быть известны. В технической документации указываются такие основные параметры, как предел измерения, цена деления шкалы и др., а наиболее важные из них наносятся на сами средства измерения. Для каждого средства измерения устанавливается класс точности.

Класс точности - это обобщенная характеристика средства измерения, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность. Основная погрешность средства измерения - это погрешность в условиях, принятых за нормальные, т.е. те, для работы в которых рассчитано данное средство измерений (температура, влажность, запыленность, напряжение питания и др.). Дополнительная погрешность возникает при отклонении значения величин, от нормальных.

Пределы допускаемых основной и дополнительной погрешностей выражают в форме абсолютных, относительных или приведенных погрешностей.

Если погрешность выражена в единицах измеряемой величины, то

она называется абсолютной и определяется формулой

$$\Delta = \hat{a} - a \quad (4)$$

где

Δ - абсолютная погрешность;

\hat{a} - значение, полученное при измерении;

a - истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность равна отношению абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины

$$\delta = \frac{\Delta}{a} = \frac{\hat{a} - a}{a} \quad (5)$$

Относительная погрешность обычно выражается в процентах. Приведенная погрешность - это отношение абсолютной погрешности средства измерений к нормирующему значению

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_{\text{нм}}} \quad (6)$$

Приведенную погрешность обычно выражают в процентах. Приведенная погрешность позволяет сравнить по точности средства измерения с разными пределами измерений.

Нормирующее значение $x_{\text{нм}}$ принимается равным: большому из пределов измерения, если нулевая отметка расположена на краю или вне диапазона измерения; сумме модулей пределов измерения, если нулевая отметка расположена внутри диапазона измерения; длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерения, если шкала существенно неравномерна (омметр).

СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ

(2 часа)

Как известно, эффективность диагностики зависит от правильного ее взаимодействия с технологическими процессами технического обслуживания и текущего ремонта тягового подвижного состава железных дорог. В этой связи внимание привлекают разработки депо основа южной дороги [17].

Комплексная поточная линия обслуживания локомотивов, созданная работниками депо, предназначена для контроля и диагностирования технического состояния узлов локомотивов. Одновременно на линии выполняются операции в объеме технического обслуживания ТО-3, а при необходимости (по результатам диагностики) регулируют или ремонтируют системы и узлы локомотивов.

Поточная линия расположена на тракционном пути депо длиной 300 м и включает четыре позиции. На первой промывают кузов, экипажную часть и водовоздушные радиаторы, а также лабиринтные уплотнения роторов турбокомпрессоров ТК-34.

Вторая и третья позиции предназначены для диагностики элементов экипажной части и дизеля, электрических машин и цепей, а также вспомогательного оборудования. На четвертой позиции тепловоз экипируют и параллельно проверяют на его борту работоспособность средств поездной радиосвязи, АЛСН и автостопа, противопожарного оборудования.

Узлы экипажной части диагностируют на специальном стойле, оборудованном канавой. Здесь ведут обследование колесно-моторных блоков, якорных и моторно-осевых подшипников, тяговых двигателей. Для виброакустической диагностики колесно-моторных блоков имеется передвижной стенд. У дизеля определяют мощность, а также оценивают техническое состояние шатунно-поршневой группы, топливной аппаратуры и турбокомпрессора, контролируют вспомогательные системы.

Управляют всеми операциями на поточной линии с центрального поста, куда поступает информация о техническом состоянии систем и узлов тепловоза. После обработки информации дается заключение о необходимости и объеме ремонта. Цикл поточной линии диагностики - 4 часа 57 минут.

По данным депо годовой экономический эффект от внедрения комплексной поточной линии технической диагностики составляет I млн. сум. на I локомотив.

Задействовано на поточной линии устройство для определения действительного угла опережения подачи топлива форсунками в

цилиндры тепловозного дизеля. Основу устройства составляет микропроцессор, который обрабатывает информацию, поступающую от 10 датчиков, установленных на цилиндрах дизеля. Данная система применительна к топливной аппаратуре двух- и четырехтактных дизелей. Результаты диагностирования выводятся в виде цифровой индикации. Погрешность измерения - 0,2 градуса.

На диагностирование локомотива при работающем дизеле затрачивают 35 мин. Габаритные размеры прибора 1500x600x350 мм, масса - 20 кг.

Комплексная автоматизированная система "Дизельтест-5" предназначена для контроля качества ремонта дизелей при реостатных испытаниях локомотивов. Система состоит из измерительно-информационного стенда и коммутатора с набором датчиков. Последние присоединяют с помощью магнитов или через имеющиеся в дизеле отверстия.

Габаритные размеры прибора 800x700x1600 мм, масса - 90 кг. Система позволяет вести диагностику 8-Ю параметров работы дизеля.

Автоматический регистратор внутрицилиндровых параметров поршневых двигателей типа АРХАР-АСИД разработал РИИЖТ.

С помощью регистратора можно контролировать следующие параметры дизеля: среднеиндикаторное давление по цилиндрам; среднеинтегральные давления сжатия и расширения; максимальное давление в цилиндрах; конечное давление сжатия; частоту вращения коленчатого вала дизеля; давление наддува.

В комплект устройства входят: электронный блок для обработки сигналов; преобразователь аналоговых сигналов в код для печати; печатающее устройство; ЭВМ "электроника МК-64"; датчики измерения частоты вращения и давлений.

Для опроса датчиков нажимают клавиши на электронном блоке. Информация выводится на цифровую печать или электронный блок в виде световой цифровой индикации. Масса регистратора - 30 кг. Он предназначен для стационарной диагностики дизелей рефрижераторного подвижного состава. Вместе с тем устройство может быть использовано для контроля технического состояния дизелей.

Среди диагностических средств электровозов можно назвать прибор

ТАУ-2. Им ведут диагностику электронной аппаратуры управления

электровозов ВЛ80Р и ВЛ85. Устройство ТАУ-2 выполнено в виде переносного прибора, который с помощью контрольного кабеля подключают к аппаратам управления локомотива.

В приборе имеется математическая модель выпрямительно-инверторного тиристорного преобразователя с зонно-фазовым

регулированием напряжения локомотивов ВЛ80С и ВЛВ5. Эта модель позволяет имитировать различные значения тока в диапазоне от 30 до 150 % номинальной нагрузки преобразователя и, следовательно, проверять работу аппаратуры управления, как бы в режиме движения электровоза.

Достоинства прибора заключаются в возможности сокращения количества исследуемых параметров и проверки любой аппаратуры управления. Прибор питается от цепей управления электровоза напряжением 50 В. Габаритные размеры устройства 200x240x370 мм, масса - 6,5 кг.

Современные методы и средства технической диагностики локомотивов интенсивно развиваются и в зарубежных странах.

В Польше создан стенд МІ-04, предназначенный для диагностических испытаний и настройки регуляторов *9D100 N*, применяемых на тепловозах типа М62 (ST44). С помощью регуляторов можно управлять работой двигателя внутреннего сгорания и возбуждением главного генератора.

На стенде выполняют следующие операции: управляют работой регуляторов в соответствии с программой, принятой для локомотива М 62, или без нее при одновременном контроле действия электромагнитов; проводят испытания приводной системы, в том числе регулятора скорости вращения и мощности двигателя внутреннего сгорания: измеряют скорость вращения приводной системы, анализируют положение поршневого штока, управляющего подачей топлива и стержня индуктивного датчика; контролируют температуру масла регулятора.

Стенд представляет собой стационарную установку и может быть использован в условиях тепловозоремонтных заводов и депо. Он питается от сети с напряжением 220 В ± 10 % (50 Гц), имеет размеры 760x625x1070 мм и массу 150 кг.

Фирма "Дженерал Моторс" (США) спроектировала техническую характеристику тепловозов серии *EMD 60*, в которую входят четыре основные модели, предназначенные для различных видов службы. Шестиосные тепловозы *SD 60* и четырехосные *GP 60* (с новыми двухтактными дизелями *710 G*) имеют мощность на тягу 2800 кВт (3800 л.с.) и являются более совершенными по сравнению с машинами предыдущей серии 50 (моделями *SD 50* и *GP 50*).

К числу усовершенствований относится применение микропроцессорной системы контроля и диагностирования, состоящей из трех специализированных микро-ЭВМ:

" *L* " - логический блок, используемый для контроля частоты вращения вала дизеля, управления локомотивом, мощности, режима работы динамического тормоза, тяговых двигателей и включения генератора. На локомотивах прежних выпусков эти функции выполняли

обычные релейные элементы;

" E " - блок в системе возбуждения, применяемый для контроля скольжения колес и экономии топлива;

" D " - диагностическая система, включающая стандартные сигнализаторы неисправностей по четырем каналам и 40 символьных указателей. К положительным особенностям этой системы следует отнести наличие диагностических средств, встроенного в блок памяти машины данных по эксплуатации и неисправностям на тепловозе;

Фирма "Брандт" ("Швеция) создала комплекс стационарных приборов для обнаружения в движущемся подвижном составе перегретых букс и бандажей, ползунов, нарушений габаритности груза, а также переносных приборов для выявления термических трещин колес посредством неразрушающего контроля. По данным фирмы эта аппаратура может быть установлена на стационарных путях и осуществлять визуальную или акустическую сигнализацию, а также выводить информации на видеозэкран или печатающее устройство.

Фирма "Балдувин" (США) разработала серию датчиков давления жидкостей и газов, которые рекомендуются для технического диагностирования и контроля узлов подвижного состава. Они малогабаритны и удобны для расположения и установки на любом другом оборудовании. Датчики типа *P3MA* и *P3SW* имеют пленочные измерительные элементы, соединенные с мостом сопротивления. Детали датчика для защиты от внешней среды помещены в герметический корпус, многожильный соединительный кабель диаметром 8 мм имеет длину 3 м и штепсельные разъемы по концам.

Измеряют давления по девяти диапазонам в пределах от 1 до 300 МПа, с точностью 0,8-1,0 %. Диапазон измерения рабочей температуры составляет от

-40 до +100°С. Масса одного датчика без кабеля 150-190 г.

Индуктивные датчики давления типа РИ с измерительной диафрагмой измеряют давления в диапазонах от 0 до 10 кПа и от 0 до 300 МПа и имеют класс точности 0,5. Они могут работать в диапазоне температур от -20 до +100°С. Масса датчиков - 105-155 г. Все эти датчики фирмы "Болдуин" пригодны для использования в стационарных устройствах диагностирования вспомогательных систем и оборудования тепловозов.

Практическая работа № 5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ

(4 часа)

Опыт эксплуатации электровозов ВЛ80С и ВЛ85, оборудованных электронной системой управления тяговыми и тормозными режимами их работы, показал необходимость перехода от традиционного технического обслуживания и ремонта электронного оборудования в зависимости от пробега “наработки” к планово-предупредительной системе [18].

Она учитывает фактические технические состояния электронного оборудования. В соответствии с ней планируют периодичность диагностирования, а объем ремонтно-профилактических работ определяют по результатам проверки работоспособности и поиска дефектов с помощью средств технического диагностирования перед постановкой локомотива на плановый ремонт.

Электронное оборудование электровозов ВЛ80С и ВЛ85 разнотипно, его различные модификации установлены на локомотивах разных лет выпуска. Средства встроенной диагностики в них отсутствуют, эти факторы, а также специфические задачи, стоящие перед ремонтной диагностикой, определили в качестве ее основы управляющий информационно-вычислительный комплекс, построенный на базе ЭВМ и программно-управляемых измерительных приборов.

Опытный образец автоматизированной системы технической диагностики (АСТД) электронного оборудования электровозов НЛ80Р был разработан и запущен в эксплуатацию в депо Боготол в конце 1984 года, в ходе дальнейшей эксплуатации АСТД были определены следующие основные направления ее совершенствования.

Во-первых, структура технических средств вычислительной подсистемы должна обеспечивать возможность построения АСТД в депо в виде локальной сети, образуемой совокупностью отдельных диагностических комплексов, возможно территориально рассредоточенных.

Во-вторых, структура технических средств АСТД должна обеспечивать ее дальнейшее развитие применительно к диагностированию другого оборудования электровозов.

В-третьих, необходимо увеличить вычислительную мощность АСТД для осуществления более сложных алгоритмов диагностирования как применительно к электронному, так и для другого оборудования электровозов.

В-четвертых, вычислительная подсистема должна иметь более емкие и быстродействующие устройства внешней памяти для организации и

ведения информационной базы данных о параметрах диагностируемого оборудования и учете его ремонтов для решения задач прогнозирования надежности.

В-пятых, вычислительный комплекс, входящий в состав АСТД, должен приниматься на сервисное техническое обслуживание соответствующими организациями.

Проведенный анализ показал, что решить перечисленные задачи можно путем использования в составе АСТД вместо микроЭВМ "Электроника ДЗ-28" вычислительного комплекса (ВК) СМ 1634 и субкомплексов связи с объектом (ССО) К332-2. Поэтому была модернизирована опытная АСТД.

Она позволила привязать ее измерительную и управляющую подсистемы к вычислительному комплексу СМ 1634 и ССО. Следует отметить, что это не исключает возможность применения в случае необходимости и микроЭВМ "Электроника ДЗ-28".

Полученный вариант АСТД был рекомендован для диагностирования электронного оборудования в депо, эксплуатирующих электровагоны ВЛ80С и ВЛ85. Конструкторские работы по нестандартному оборудованию, имеющемуся в составе АСТД, были выполнены в ВЭЛНИИ, а само оборудование изготовлено на НЭВЗ.

Диагностирование проходят электронные блоки БУВИП-80, БУВИП-100, БУВИП-113, БУВИП-133, ПП- 088, ПП-125, ПП-290, БАУ-002.

Технические средства АСТД. На рис.1 изображена в укрупненном виде структурная схема технических средств АСТД электронного оборудования как совокупности центрального вычислительного комплекса (ВК) СМ 1634, связанного линиями связи с локальными диагностическими комплексами. Таких комплексов в пределах депо может быть несколько (на рис. 2. показан один). ВК СМ 1634 имеет объем оперативной памяти 128 Кбайт и широкую номенклатуру периферийных устройств (дисплей, печатающие устройства, магнитные диски, ленты).

Центральным элементом локального диагностического комплекса является ССО. Он содержит микроконтроллер СМ 4401 и набор модулей устройств связи с объектом, в оперативную память микроконтроллера емкостью до 64 Кбайт из центрального вычислительного комплекса по линии связи загружают программы функционирования технических средств. Так же хранятся до передачи в центральный вычислительный комплекс полученные в результате диагностирования параметры контролируемых сигналов ССО. От ВК может быть удален на расстояние до 3 км.

ССО посредством модуля-вывода дискретных сигналов типа А 64I - I7 связан с блоком сопряжения интерфейсов, выполняющим следующие

функции: работу со стандартным приборным интерфейсом "канал общего использования", формирование интерфейсных сигналов для нестандартных устройств и приборов, оборудованных интерфейсом, отличным от "канала общего пользования", гальваническую развязку интерфейсных цепей ряда устройств.

Поскольку в АСТД воплощен тестовый способ диагностирования, в состав диагностического комплекса входят исполнительная и измерительная подсистемы.

Исполнительная включает задатчики входного воздействия, позволяющих имитировать работу контроллера машиниста и датчиков тока.

Они представляют собой десятиразрядные цифро-налоговые преобразователи с диапазоном выходного напряжения 0-51, 2В. В эту же подсистему входит имитатор датчика угла коммутации тиристоров ВИП, использующийся при диагностировании блоков управления БУВИП и электронная модель объекта регулирования, применяющаяся при диагностировании блока автоматического управления БАУ.

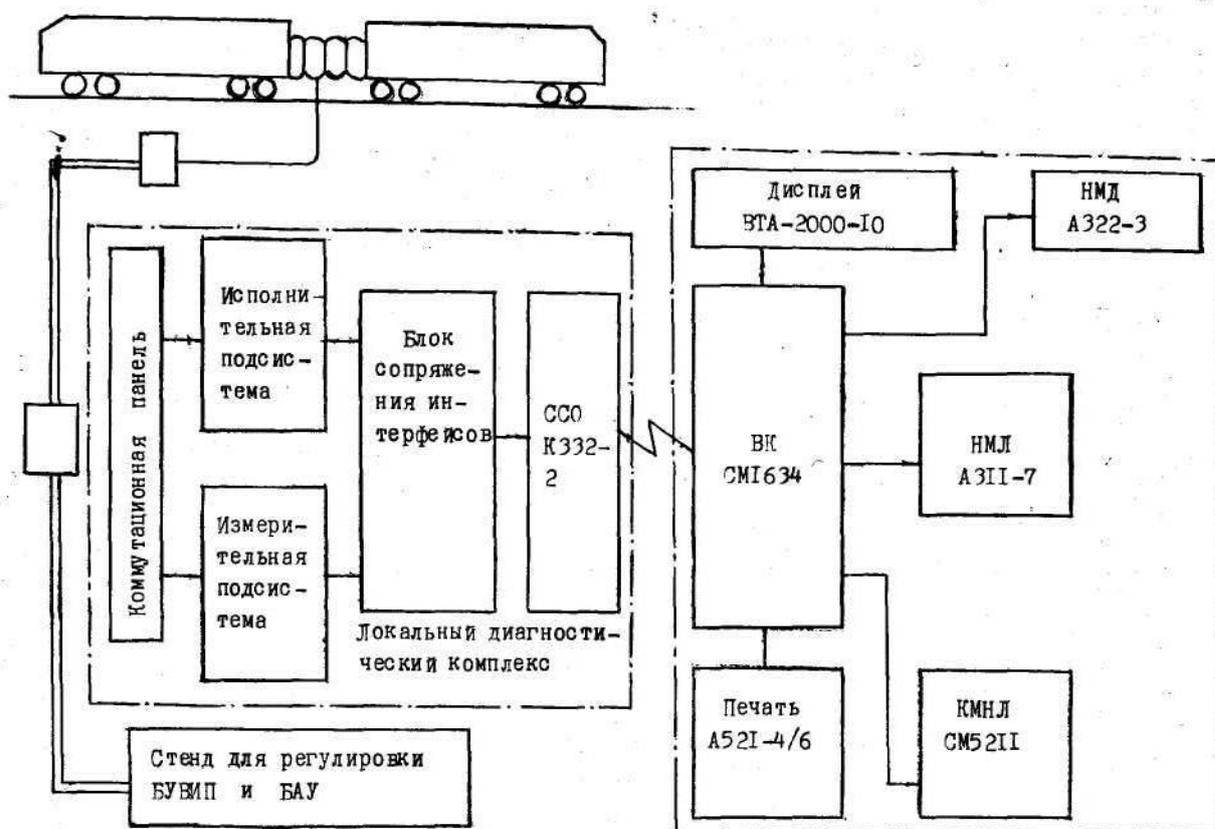


Рис. 1. Структурная схема технических средств АСТД

Измерительная подсистема включает два измерительных коммутатора Ф 240, приборный коммутатор, частотомер ЧЗ - 54, один из вольтметров В7-34, В7-34А или В7-28, блок формирования сигналов синхронизации для измерения временных параметров сигналов с помощью

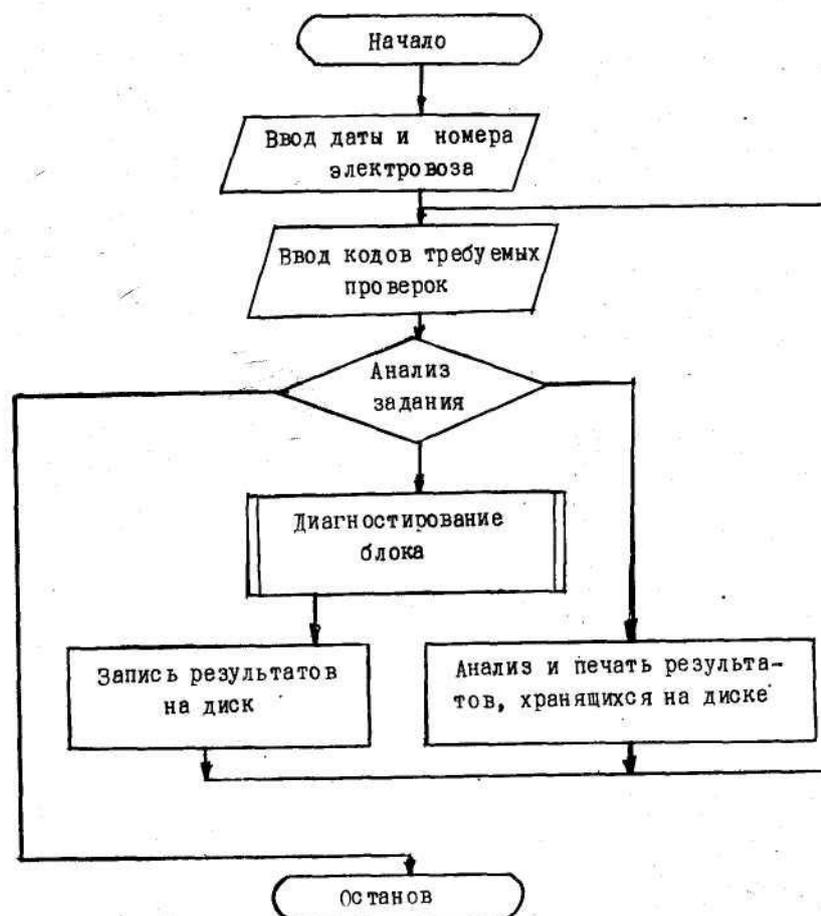


Рис.2. Схема алгоритма программ диагностирования

частотомера ЧЗ-54. Кроме того, в нее входит блок входного устройства частотомера, осуществляющий гальваническую развязку контролируемых сигналов, подаваемых на измерительные входы ЧЗ-54, и программную установку уровня запуска операции измерения частотомера.

Цепи управляющих и контролируемых сигналов через коммутационную панель по кабелям связи могут поступать либо на диагностируемую аппаратуру, установленную на электровозе, либо на

специальный стенд, содержащий эталонные блоки управления БУНИП, БАУ.

В первом случае с помощью АСТД проверяют работоспособность и ищут дефекты в электронном оборудовании без его демонтажа с электровоза, это позволяет определить требуемый объем работ перед постановкой локомотива на плановый ремонт. Во втором случае - ремонт, настройка, проверка работоспособности отдельных неисправных кассет в составе эталонных блоков БУШП или БАУ. Таким образом, создана двухуровневая система ремонтной диагностики электронного оборудования электровозов В18ОР и ВЛ85.

Программные средства АСТД. Программное обеспечение АСТД подразделяется на системное и прикладное. Системное программное обеспечение - это операционные системы ВК СМ 1634, ССО и программы управления техническими средствами АСТД. Операционные системы скомпонованы из программных модулей базового программного обеспечения.

Программы управления техническими средствами оформлены как внешние подпрограммы прикладного программного обеспечения, представляющие собой программы диагностирования, написанные на языке "Бейсик РВ".

Для каждого вида оборудования имеется своя программа диагностирования. Они хранятся на магнитном диске и могут быть вызваны в любой момент на исполнение по требованию оператора АСТД. Эти программы, имеют унифицированную структуру (рис. 2.). позволяющую упростить процесс обучения работе на АСТД.

Программы диагностирования загружаются в память ЭВМ командой *LOAD*

<и. п.>, где <и. п.> - имя программы диагностирования, под которым она записана на магнитном диске. Обычно оно совпадает с именем диагностируемого блока, например: БУВИП-133-BV133, ПП-290 - PP290,

БАУ-002-BAV.

После загрузки программа диагностирования запускается на выполнение командой *RUN*, вначале определяются рабочие массивы и переменные (блок 1). после этого ЭВМ последовательно выведет на экран дисплея сообщения о необходимости ввести дату и номер электровоза (блок 2). Требуемую для работы программ информацию оператор вводит при помощи клавиатуры дисплея.

Сначала оператор выполняет полную программу диагностирования. В случае обнаружения неисправных кассет и их замены на исправные из запаса проводят повторное диагностирование по сокращенной программе. Такой подход позволяет значительно сократить время диагностирования. Программы диагностирования ЕУВИП содержат более 30 ва-

риантов работы, БАУ - 19 вариантов, ПП - 3 варианта.

После выполнения заданных программ диагностирования соответствующие результаты записываются в файл данных в определенное ранее место (блок б). Если задан код анализа результатов диагностирования (блок 3), то будет выполнен анализ и форматная печать (блок 8). Причем информация может выдаваться как на экран дисплея, так и на печатающее устройство.

Кроме специализированных по типам электронного оборудования программ диагностирования, имеется программа под именем, позволяющая быстро и легко обращаться к любому из приборов АСТД. Первоначально она была разработана для наладки аппаратных средств диагностического комплекса, а также для оперативной проверки разрабатываемых алгоритмов диагностирования. Но после ее освоения работниками депо оказалось, что она удобна и для диагностирования.

Программы, о которых шла речь, позволяют проверить работоспособность блоков управления в целом и отдельных их узлов и функций. Чтобы обнаружить дефект по выходным сигналам диагностируемого блока, разработаны математические модели БУВИП-113 и БУВИП-133 как наиболее распространенных блоков. При этом в основу была положена теория конечных автоматов.

На ЭВМ ЕС смоделирована работа БУВИП как в исправном, так и в неисправном состояниях. На каждом БУВИП было смоделировано более 300 типов отказов различных функциональных узлов блоков. После обработки результатов моделирования оказалось, что по выходным сигналам БУВИП можно распознать около 200 различных технических состояний.

Примерно в 85 % случаев место отказа удается локализовать с точностью до кассеты, в 10 % - до двух, в настоящее время на основании полученных таблиц функции неисправностей разрабатывают программы локализации места дефекта.

Чтобы учитывать и анализировать число и типы отказов диагностируемых электронных блоков, создали пакет программ учета и обработки потока отказов, причем не только диагностируемых блоков, но и всего электровоза в целом. Пакет состоит из программ ввода информации в ЭВК, обработки информации и ряда других.

При вводе информации об отказах указывают дату обнаружения отказа, номер и серию электровоза, вид ремонта, на котором устранен отказ, код оборудования и текстовую информацию. Текст может быть произвольным как по содержанию, так и по объему. ЭВМ записывает информацию на диск порциями по 32 символа.

В дальнейшем при анализе потока отказов сортировка информации возможна как по датам, номерам и сериям электровозов, так и по кодам оборудования, разбиение оборудования на группы и присвоение им

соответствующих кодов выполнено с учетом принятых форм отчетности, количества отказов того или иного оборудования.

Представлены следующие группы оборудования: электронное, электрические аппараты, вспомогательное оборудование, аппараты защиты, тяговые двигатели, механическое оборудование, пневматическое оборудование, неустановленные отказы, прочее оборудование.

Для электровозов ВЛ80С и ВЛ85 выполнено более детальное разбиение группы "электронное оборудование". Программы учета ремонтов написаны на алгоритмическом языке.

Практическая работа № 6

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ЛОКОМОТИВОВ (4 часа)

Создание средств и методов диагностики требует формирования измерительной базы и специализированной вычислительной техники. В целом создание систем контроля и диагностики целесообразно решать с использованием модульных принципов построения. В качестве электроизмерительных средств требуются приборы группы агрегатированной системы электроизмерительной техники (АСВТ), а вычислительные средства - по группе агрегатированных систем вычислительной техники (АСВТ) [19].

Модульные средства контроля и диагностики имеют общую универсальную базовую часть и набор взаимозаменяемых модульных корпусов, предназначенных для проверки конкретного вида оборудования (электрического, механического, пневматического). В зависимости от серии локомотива каждое АРМ можно комплектовать различными наборами взаимосвязанных модулей подсистем диагностирования.

Структура АРМ контроля и диагностики оборудования локомотива. Процесс автоматизированного контроля и диагностирования локомотива показывает, что это довольно сложная система преобразования измерительной информации от контролируемого оборудования до представления ее в удобном для оператора виде. Измерительная информация проходит многоступенчатое преобразование.

Первоначальные реакции в виде физических величин трансформируются в типовые сигналы, которые затем преобразуются в цифровой код. Окончательный этап обработки измерительной информации представляется в виде цифрового кода, в целом типовую структуру автоматизированного рабочего места (АРМ) для контроля и диагностики оборудования локомотива можно представить как сложную систему, состоящую из подсистем управления, измерения, стимулирования, коммутации (рис. 1).

Центральной частью АРМ для контроля и диагностики оборудования является подсистема управления на базе персонально-профессиональной ЭВМ (ППЭВМ), которую можно разделить на две части, первая часть включает устройство управления и регистрации информации с участием человека: дисплей, клавиатура, печатающее устройство.

Вторая часть обеспечивает участие человека в процессе подготовки математического обеспечения программ по контролю и

диагностике оборудования локомотива, это система программного обеспечения. К ней относятся алгоритмические языки, компиляторы и трансляторы (как встроенные, так и автономные).

Подсистема измерений состоит из аналого-цифровых преобразователей (ЦАП), а также средств измерений на базе агрегатирования систем электроизмерительной техники (ДСЭТ). Подсистема стимулирования включает в себя генераторы типовых сигналов, а также различные варианты силового электрооборудования. Подсистема коммутации выполняет управление различными измерительными приборами и генераторами-стимуляторами, исполняя принцип управления в реальном масштабе времени, а также проводит отбор контрольных параметров.

По принципу построения возможны следующие варианты организации: АРМ: с последовательным контролем всех систем и видов оборудования локомотива (рис. 2); построенный по принципу: каждая система оборудования обслуживается своим АРМ (рис. 3). Информационной связи между этими АРМ нет.

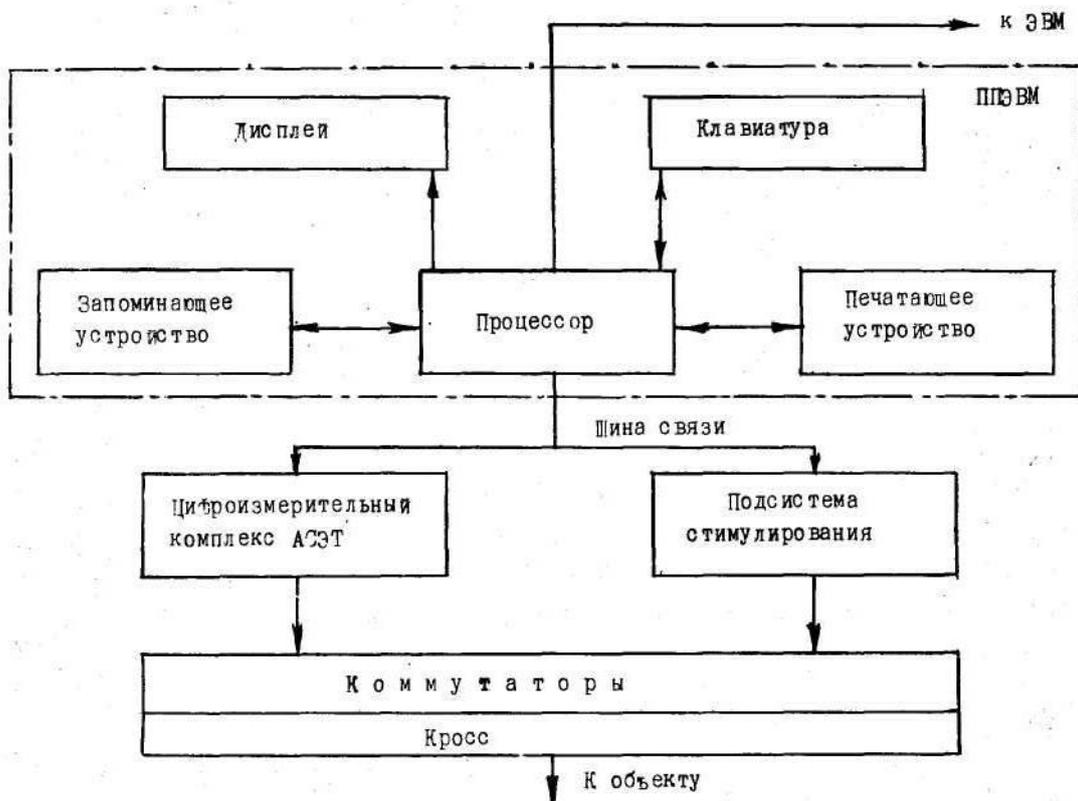


Рис. 1. Типовая структура АРМ

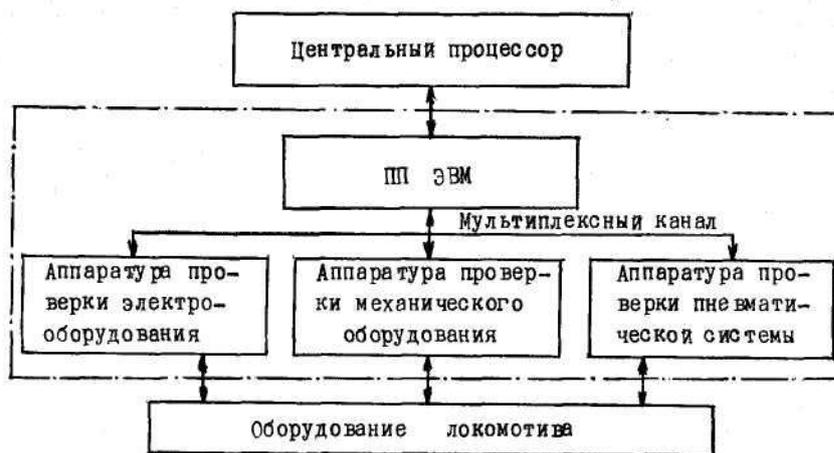


Рис. 5. Первый вариант структуры АРМ

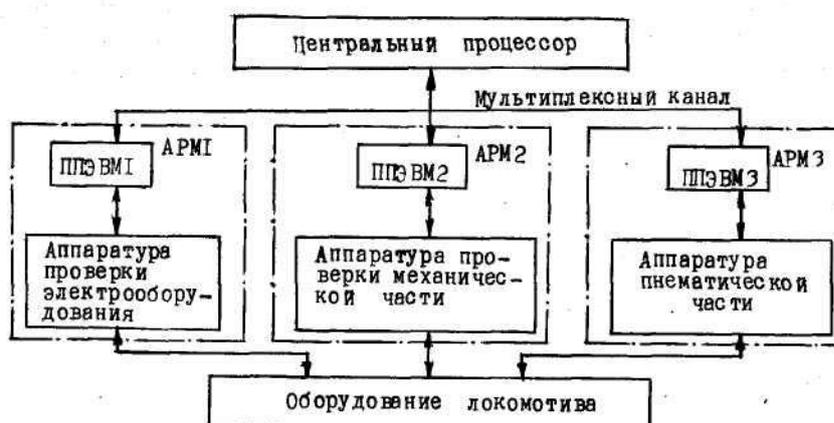


Рис.3. Второй вариант структуры АРМ

Подсистема управления. Для организации АРМ контроля и диагностики оборудования локомотива возможно использование ППЭВМ типа «Правец-16», "Нейрон И9.66", ЕС-1840. Краткие характеристики этих ЭВМ приведены в (табл. 1).

Подсистема измерения, стимулирования и коммутации. Данная подсистема строится на базе конструктивно-функциональных модулей. Наибольшее применение в АРМ находят цифровые вольтметры и мульти-метры, а также частотомеры-периодомеры. При этом цифровые вольтметры и мультиметры используются как для измерения и преобразования в цифровой код информации, поступавшей непосредственно от объекта в виде напряжений, токов и сопротивлений, изменяющихся в широком диапазоне, так и для трансформации в цифровой код унифицированных сигналов тока и

напряжения, направляемых нормируемыми преобразователями.

Возможность реализации АРМ на базе функциональных модулей приводит к тому, что область применения цифровых приборов сужается из-за больших габаритов и массы. Более целесообразны здесь средства измерений, выполненные в виде частичных блоков. По выполняемым функциям они делятся на нормирующие усилители и преобразователи, а также датчики электрических величин.

Нормирующие усилители преобразовывают входные сигналы низкого уровня в выходные сигналы увеличенной амплитуды (в заданное число раз) и однородные по физической природе. Одновременно с усилением сигнала происходит его фильтрация и гальваническая развязка. Нормирующие преобразователи трансформируют сигналы от стандартных датчиков неэлектрических величин в унифицированные сигналы напряжения или тока. К датчикам относятся термопары, тензометры, пьезодатчики, реохордные и потенциометрические датчики, дифференциальные трансформаторы.

Ввиду значительного количества модификаций перечисленных датчиков каждый тип нормирующего преобразователя имеет возможность согласования с конкретной модификацией датчика за счет изменения параметров входных цепей. Усилители и преобразователи проектируются таким образом, чтобы доля вносимой ими погрешности в общую погрешность измерения физической величины была относительно невелика.

Программно-управляющим устройством для подключения любого из имеющихся наборов входов и выходов системы диагностирования к испытываемому оборудованию является коммутатор. Подсистема коммутации и связи с оборудованием и использованием измерительных коммутаторов типа Ф7078 управляется от подсистемы управления.

Метрологическое обеспечение. АРМ для контроля и диагностики состоит из набора измерителей и генераторов, требующих периодической проверки. Для этой цели используются как встроенные эталонные источники сигналов, так и внешняя поверка измерительных средств.

Таким образом, организация АРМ контроля и диагностики оборудования локомотива требует комплексного решения следующих задач: стандартизация и унификация средств контроля, интерфейсов и протоколов обмена информацией, средств программного обеспечения; разработка типовых алгоритмов контроля и диагностики, перечня контролируемых и стимулирующих сигналов. Проблемы создания высокоэффективных систем контроля и диагностики на базе АРМ и ПЭВМ решаются с использованием модульных принципов построения таких систем.

Структура АРМ включает в себя следующие подсистемы: управления (ППЭВМ), измерения (ПИМ), стимулирования (ПСТ), коммутации и связи (ТЖС). Основой подсистемы управления является ППЭВМ с устройством отображения и регистрации информации. Предлагается использовать ППЭВМ типа "Нейрон И9.66", ЕС-184I или "Правец-16". Для проверки приборов АРМ необходимо использовать как встроенные, так и внешние эталонные поверочные средства.

Практическая работа № 7

СИСТЕМА РЕМОНТА НА БАЗЕ ДИАГНОСТИКИ

(4 часа)

Традиционная система технического обслуживания и ремонта электроподвижного состава, основанная на выполнении заданного объема работ через фиксированные интервалы наработки или по пробегу локомотивов, применяется уже более 40 лет. За это время произошли принципиальные изменения в конструкции электровозов и условиях их эксплуатации. Накопились явления, в результате которых электрические локомотивы перестали в полной мере удовлетворять возросшим требованиям к обеспечению безопасности движения поездов и по технико-экономическим показателям использования. Назрела необходимость в качественной перестройке системы на основе внедрения современных прогрессивных методов технического обслуживания и ремонта [20].

Как известно, надежная работа электровозов в первую очередь обеспечивается за счет научно обоснованной и экономически целесообразной системы технического обслуживания и ремонта. Предназначенная для предупреждения постепенных отказов электроподвижного состава, она строится по плано-предупредительному принципу. В систему входит комплекс взаимосвязанных положений и нормативов, определяющих организацию и порядок проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту электровозов для заданных условий эксплуатации. Рациональная структура ремонтного цикла электроподвижного состава должна обеспечивать наиболее полное использование ресурса деталей, ограничивающих межремонтные пробеги, при минимуме материальных и трудовых затрат на их восстановление и учитывать все требования безопасности движения поездов.

В результате различий в загрузке, профиле участков обслуживания, климатических условиях и техническом состоянии электроподвижной состав одной серии на разных дорогах после одинаковых пробегов

поступает в ремонт с различной степенью износа деталей и узлов оборудования. Существующие же методы оценки качества ремонта не позволяют решать те задачи, которые сегодня стоят перед эксплуатационниками. Как и много лет назад, локомотивная бригада с помощью осязания определяет степень нагрева многих работающих деталей, обоняние позволяет оценить степень ухудшения изоляции, визуально определяются утечки в пневмопроводе, качество окраски, качество сборки колесно-моторных блоков и др. Достоверность таких методов всецело зависит от субъективных особенностей человека.

С внедрением средств малой механизации и автоматизации производственных вопросов, поточных линий по ремонту узлов и агрегатов подвижного состава все шире распространяется экспериментальный метод оценки качества, основанный на применении технических измерительных средств. Степень достоверности в этом случае выше, глубина контроля позволяет установить необходимый объем ремонта для проверяемого узла. Однако износ деталей и оборудования электроподвижного состава не удается наблюдать непрерывно, информацию о величине контролируемого параметра можно получить с известной степенью достоверности только на одном из плановых ремонтов. Поэтому каждая единица подвижного состава при достижении определенного пробега отставляется на один из видов планово-предупредительного ремонта. Регламентированный объем работ по ремонту оборудования выполняется в соответствии с Правилами текущего ремонта и технического обслуживания электровозов. Вполне ли оправдывается такой порядок?

Уместно вспомнить, что и 10 - 20 лет назад наиболее полным являлся экспериментальный метод оценки качества, но при разработке и трактовке ныне действующих Правил были в основном учтены лишь мнения экспертов и рекомендации различных совещаний. Поэтому можно утверждать, что вопрос о выборе рациональных пробегов подвижного состава между ремонтами с учетом последних достижений науки и техники и накопленного опыта, остается открытым.

Сегодня наибольшую долю в отказах оборудования составляют открытые отказы, т.е. такие, которые не могут быть выявлены на плановых ремонтах из-за отсутствия необходимых технических средств контроля и диагностики. По данным эксплуатации, процент скрытых отказов достигает 30 %. Только в 2007 году расходы в локомотивном хозяйстве из-за неплановых ремонтов и порч на линии превысили 25 млрд. сум. В то же время затраты на планово-предупредительные виды ремонта и технического обслуживания составили 15 млрд. сум.

Увеличение количества неплановых ремонтов, приходящихся на I млн. км пробега, и общего их числа привело к существенному росту объема деповского ремонта локомотивов. Годовой пробег электровозов

по сравнению с 1995 годом вырос на 249 %, а программа текущих ремонтов электровозов ТР-3 за этот период увеличилась на 199,6 %, ТР-I на 256,1 %. В среднем в течение года каждый электровоз исключается из работы на 15-18 суток, или на 4-5 % календарного времени.

Все это свидетельствует о том, что существующие методы оценки качества ремонта и система плановых затрат на восстановление агрегатов и узлов оборудования несовершенны. В задачу технического обслуживания и ремонта локомотивов должно входить не только восстановление отказавших узлов и агрегатов, но и максимальное предупреждение отказов. А это достигается организацией ремонта по фактическому техническому состоянию оборудования. Предупредить отказы, которые могут возникнуть в электрической схеме локомотива, механической части и пневматической системе локомотива, возможно только при использовании современных средств контроля и диагностики, базирующихся на микроЭВМ, микропроцессорной технике, информационно-измерительных системах.

Оценка качества ремонта подвижного состава должна носить интегральный характер, при этом постоянная или поступающая через определенные интервалы времени информация об эксплуатируемом оборудовании анализируется в центральном процессоре и принимается

решение о постановке локомотива на ремонт по фактическому техническому состоянию. Внедрение автоматизированных систем контроля и диагностики на ремонте локомотивов позволит снизить число порч и неплановых ремонтов электровозов в эксплуатации, увеличить их межремонтный пробег, снизить трудоемкость работ, сделать более совершенной систему планово-предупредительного ремонта с помощью создания единой информационно-измерительной системы технического состояния электровозов.

Данные эксплуатации электроподвижного состава в сочетании с применением методов теории надежности дают возможность определить такие важные показатели, как вероятность безотказной работы и имеющийся ресурс. Если известны процентные ресурсы деталей и узлов, лимитирующих межремонтные пробеги, то можно определить рациональную структуру ремонтного цикла, при которой соответствующие детали заменяются по сроку службы или по наработке. Контроль за параметрами лимитирующих узлов и деталей в основном производится на планово-предупредительном ремонте, а доля внезапных отказов зависит от многих факторов, поэтому все сколько-нибудь серьезные отказы в эксплуатации относят к неплановым ремонтам, т.е. в этих случаях требуется техническое обслуживание уже после отказа.

Новая технология должна предусматривать непрерывный, а также I периодический контроль и измерение параметров, определяющих технологическое состояние оборудования, с целью поддержания заданного

уровня эксплуатационной надежности и более полного использования индивидуальных ресурсов. Решение о продлении эксплуатации оборудования до следующей проверки или замены принимается по результатам контроля.

В диагностирование входят совокупность диагностических параметров, периодичности их измерения и упреждающие допуски на указанные параметры. Режим диагностирования предусматривает установление количественных связей между значениями упреждающих допусков и периодичностью контроля технического состояния объекта.

На рис. 1 представлена структура методов технического обслуживания. Получение исходной информации о техническом состоянии оборудования производится путем измерения его функциональных и диагностических параметров. Измерения выполняются с определенной периодичностью при различных видах технического обслуживания средствами автоматизированного контроля, технического диагностирования с помощью контрольно-проверочной аппаратуры, измерительными комплексами на базе микропроцессорной техники и микроЭВМ.

Основой такой технологии является диагностирование как средство получения необходимой достоверной информации о техническом состоянии оборудования. Система диагностирования определяет глубину и качество оценки технического состояния оборудования, от которых зависят правильность и эффективность принимаемых решений. Структура организации ремонта электровозов по фактическому техническому состоянию оборудования показана на рис. 2.

Для выявления предотказного состояния элементов электрооборудования используется принцип назначения упреждающих допусков на наиболее характерные и важные диагностические параметры. Выход такого параметра за предельный уровень означает отказ, достижение предотказного уровня означает необходимость выполнения профилактических работ.

Технологический процесс обслуживания и ремонта электровозов по фактическому техническому состоянию делится на несколько этапов. На подготовительном этапе в центральный банк данных по каналам связи поступает информация с автоматизированной рабочей позиции пункта технического осмотра электровозов (во время прохождения электровозом технического обслуживания по заданному алгоритму). Информация с бортовых систем диагностирования о лимитирующих узлах и агрегатах поступает по каналу радиосвязи. Полученная информация обрабатывается на центральном диспетчерском пункте по специальным пакетам прикладных программ для агрегатированных систем вычислительной техники (АСВТ). На основном этапе подготовки в процессе проведения технологических циклов обслуживания и ремонта электровозов данные об износе и по ряду важнейших контрольных

параметров передаются по каналам связи на центральный процессор и далее в центральный банк данных, эта информация поступает от автоматизированных рабочих позиций, составляющих ядро единого технологического центра. На этапе принятия решения с учетом функциональных зависимостей износа основных узлов и агрегатов, контрольных параметров, а также информации автоматизированной рабочей позиции пункта технического осмотра локомотивов и бортовых систем диагностирования определяются объем работ и необходимость постановки электровоза на ремонт.

Основными компонентами автоматизированного рабочего места (АРМ) является технологическая оснастка, модуль управления, модуль контроля и диагностики. В ряде случаев автоматизированные рабочие места могут представлять собой отдельные технологические стенды, где производится наладка и испытание оборудования в соответствии с заданным алгоритмом и программой.

Модуль управления технологическим процессом (рис. 3) представляет собой однотипную микропроцессорную сборку, встраиваемую в виде кассеты в пульт управления. Кассета состоит из: сборки постоянной памяти с программой управления технологическим процессом (ППЗУ); сборки программы управления процессором (ОЗУ); блока управления 1, предназначенного для выработки управляющих сигналов в соответствии с программой передачи на исполнительное устройство; блоков ввода и вывода для передачи информации с контрольных датчиков, а также подачи допусков на исполнительные элементы; блока управления 2, предназначенного для управления технологическим процессом в автономном режиме; блока контроля функционирования микропроцессорного комплекта.

По идентичной схеме разрабатываются основные модули управления АРМ. Вторым основным блоком АРМ является блок контроля и диагностики, который структурно отличается от модуля управления, что связано прежде всего с различным уровнем задач, решаемых модулями.

Структурная схема типового варианта представлена на рис. 4 . Модуль контроля и диагностирования объекта 1 состоит из матричного коммутатора 7, цифровых измерительных приборов группы АСЭТ – вольтметра 5, омметра 6, амперметра 3, измерителя добротности контура 4 и цифрового мультиметра 2 , которые связаны через интерфейс 8 с миниЭВМ 9 системной линией связи. Результаты измерений выводятся на экран дисплея или графопостроителя.



Рис. 1. Структура методов технического обслуживания

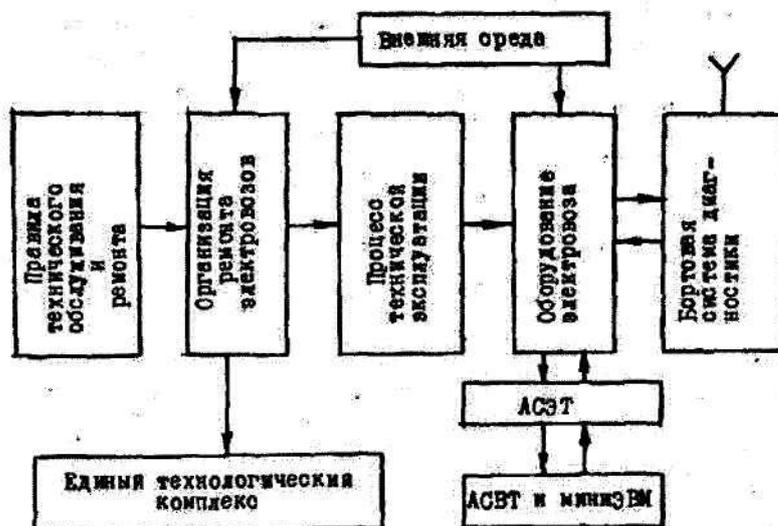


Рис. 2. Структура организации ремонта

Под единым технологическим ремонтным комплексом понимается совокупность автоматизированных рабочих мест, каждое из которых выполняет какую-либо технологическую операцию ремонта оборудования электровоза. Сюда входят модуль управления, модуль контроля и диагностики, управляемые от локальных микропроцессорных систем и связанные с центральным процессором для получения оперативной информации о программе ремонта. Автоматизированные рабочие места являются звеньями информационной системы управления качеством и программой ремонта в зависимости от фактического технического сос-

тояния электроподвижного состава.

Для организации технологии ремонта подвижного состава по фактическому техническому состоянию оборудования необходимо в корне изменить структуру ремонтного цикла. Прежде всего следует представить каждую ремонтную позицию как самостоятельный блок-участок(АРМ),

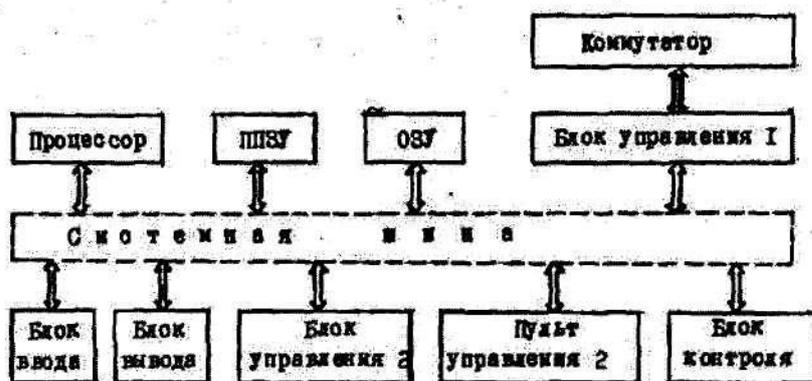


Рис. 3. Модуль управления технологическим процессом

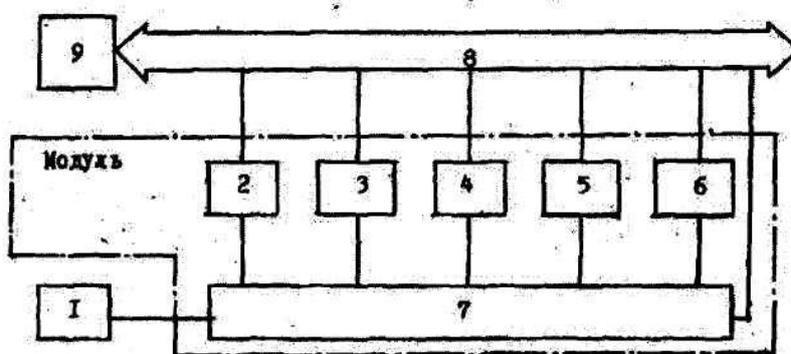


Рис. 4. Структурная схема типового варианта АРМ

где совершается определенный технологический процесс. Для этого надо выделить ряд следующих автоматизированных рабочих позиций (АРП) с соответствующими функциями.

Стенд диагностирования технического состояния электровоза включает в себя средства автоматизированной системы электроизмерительной техники (АСЭТ) и агрегатированные средства вычислительной техники (АСВТ). При этом алгоритм испытаний реализуется на базе микропроцессорной техники.

Бортовые системы диагностирования технического состояния электровоза регистрируют эксплуатационные параметры оборудования с записью на магнитную ленту. Информация о превышении контрольного допуска на узлы, лимитирующие безопасность движения поездов, передается по радиоканалу на центральный диспетчерский пункт основного депо.

Автоматизированная рабочая позиция на пункте технического обслуживания электровозов в оборотном депо выполняет проверку технического состояния оборудования по сокращенной программе. Результаты контроля передаются по каналу связи на центральный диспетчерский пункт основного депо.

АРП контроля электрических машин и аппаратов, производит их испытание по заданному алгоритму, выполняет расчет остаточного ресурса оборудования, передает в банк данных его контрольные параметры.

АРП контроля технологического цикла ремонта колесно-моторных блоков анализирует данные вибродиагностики, контролирует ряд эксплуатационных параметров.

АРП контроля технологического цикла ремонта буксовых подшипников анализирует параметры вибродиагностики. АРП контроля ремонта колесных пар производит измерение и анализ соответствующих контрольных параметров.

После завершения формирования ремонтных АРП выполняется второй этап построения единого технологического комплекса. При этом рассматривается возможность функционирования отдельных АРП в общем комплексе, определяются локальные связи между модулями средств контроля и диагностики на базе микропроцессоров (МП) и центральным процессором информационно-измерительной системы. Структура взаимодействия АРП единого технологического комплекса с центральным процессором представлена на рис. 5.

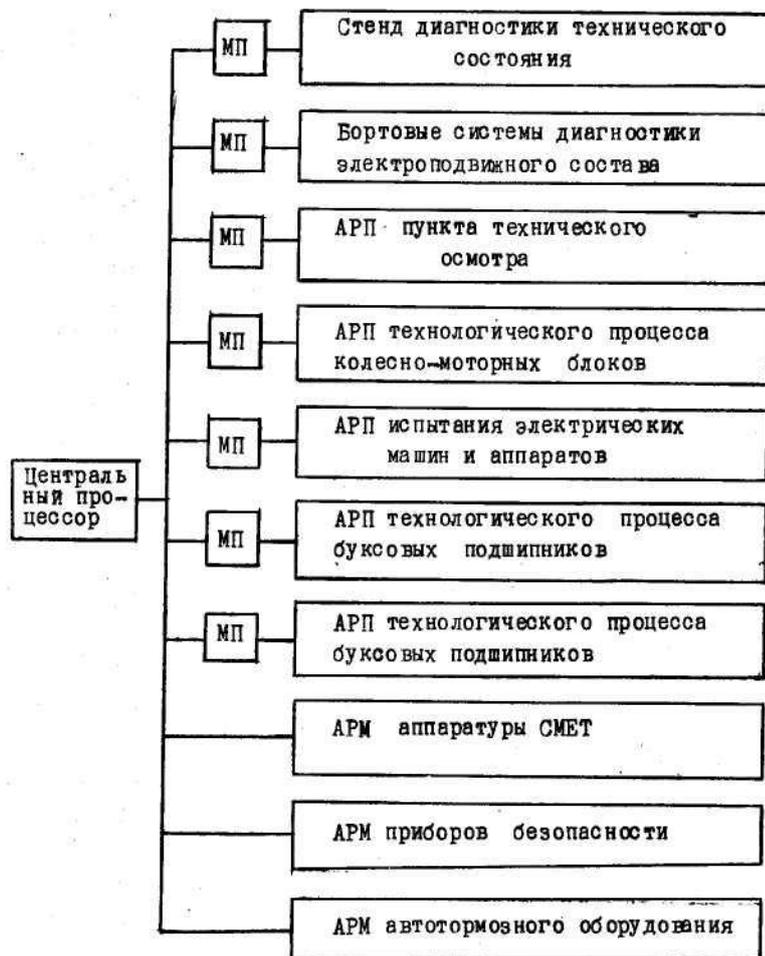


Рис. 5. Структура взаимодействия АРП единого технологического комплекса

Внедрение и широкое распространение новой техники и технологии оказывают значительное влияние на экономические и социальные аспекты деятельности людей. Поэтому любые производственно-технические проекты еще на начальной стадии требуют тщательного системного рассмотрения и выявления возможных последствий.

Комплексный анализ эффективности информационно-измерительной системы контроля за качеством ремонта электровозов можно разделить на несколько составляющих, это - общий анализ затрат и потерь для существующей системы планово-предупредительного ремонта; общий анализ затрат и экономии, получаемой в результате перехода на новую технологию ремонта по фактически техническому состоянию; сравнительный анализ работы единого технологического комплекса по экономическим критериям; анализ степени экономического риска.

При новой технологии автоматизируются не только технологичес-

кие процессы и рабочие места, но и обработка информации, организация управления, обслуживание производства, это дает значительную дополнительную косвенную экономию. При расчете основной экономии учитывается сокращение числа плановых ремонтов за счет увеличения межремонтных пробегов электровозов, сокращения работников, занятых на ремонте, операторов технической конторы, занятых организацией труда и подводом электровозов на ремонт и др. Кроме того, внедрение средств контроля и диагностики позволяет существенно снизить число внезапных отказов оборудования в эксплуатации, а следовательно, и неплановых ремонтов.

Согласно произведенной экспертной оценке, внедрение средств контроля и диагностики на ремонте электровозов позволит: сократить число порч электровозов в эксплуатации на 15 %; уменьшить число неплановых ремонтов на 10 %; увеличить межремонтные пробеги на 20-25 %; снизить трудоемкость ремонта на 30 %.

Чтобы практически реализовать систему ремонта по новой технологии, предстоит решить ряд серьезных научно-технических и организационных задач. Прежде всего надо получить качественную оценку параметров оборудования электровоза, измеряемых при помощи агрегатированных средств электроизмерительной техники, необходимо также внедрить стационарные и бортовые системы диагностирования для оценки технического состояния оборудования электровозов при ремонте и в эксплуатации, а также агрегатированные системы средств вычислительной техники (АСЧТ) или микроЭВМ для создания единого банка оперативной информации о техническом состоянии различных узлов и агрегатов. И на завершающем этапе надо организовать единый работоспособный технологический комплекс ремонта электрических локомотивов.

Для организации внедрения новой технологии ремонта электроподвижного состава (а эти же принципы с некоторыми изменениями можно использовать в вагонном хозяйстве и на метрополитене) следует создать специальный инженерный центр. Им мог бы стать отраслевой центр, который координировал бы все работы в этой области и ускорял внедрение последних достижений науки и техники в ремонтное производство. Было бы также полезно организовать сотрудничество железнодорожников с научно-производственными объединениями других отраслей народного хозяйства.

Решение этой задачи позволит получить систему планово-предупредительного ремонта тягового подвижного состава по фактическому состоянию его оборудования с программируемым ремонтным циклом. В результате появится реальная возможность существенно снизить общие эксплуатационные расходы железных дорог, повысить надежность локомотивного парка и безопасность движения поездов.

Практическая работа № 8

НОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС С ГИБКО ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ (2 часа)

Разработанный измерительно-вычислительный комплекс с гибко изменяемой структурой (ИВК-ТД) предназначен для построения систем сбора и обработки информации при создании автоматизированных рабочих мест по контролю и диагностике оборудования подвижного состава.

Структурной и конструктивной основой комплекса является каркас со встроенными источниками питания в модульном исполнении. Конструкция каркаса соответствует каркасу КИИ по ОСТ 25.1174-84. Внутри каркаса имеется 20 мест для подключения модулей конструктива Е2 в двух зонах - с интерфейсом И41 (ОСТ 25 969-83) и интерфейсом "канал общего пользования" (КОП) по ГОСТ 26003-80. Количество мест в зонах может меняться в зависимости от назначения комплекса. В зоне интерфейса КОП могут быть размещены модули универсальных интерфейсных карт (УИК) для подключения приборов, не имеющих выходов на КОП. В зоне И41 размещаются модули, составляющие тракты преобразования информации и управления приборами, выдающими стимулирующие воздействия. Для этого могут быть использованы модули с высокими метрологическими характеристиками разработки ВНИИЭП, а также любые другие модули, совместимые с интерфейсом И41.

Управление работой комплекса может осуществляться:

- 1) через интерфейс И41 от УЗК, имеющих этот интерфейс в качестве системного (СМ 1800, СМ 1810, "Искра-1030М" и другие);
- 2) через интерфейс КОП от любых УВК;
- 3) от ПЭВМ семейства IBM PC через адаптер магистралей PC-И41, встраиваемый в ПЭВМ.

Программное обеспечение ИВК-ТД включает программы управления трактами измерения, выдачи и коммутации постоянных тока и напряжения через интерфейс И41, программы управления интерфейсом КОП, а также программы контроля исправности модулей каркаса.

Тестовые воздействия на объект диагностирования подаются через внешний силовой коммутатор, взаимодействующий с комплексом через модуль дискретного ввода-вывода (МДВВ).

В процессе диагностирования определяется техническое состояние силовых цепей (тяговые электрические двигатели, трансформаторы,

вспомогательные машины, аппараты защиты и т.д.) и цепей управления (низковольтные контакторы, реле управления и защиты, реле времени и т.д.), в том числе и состояние изоляции.

Преимуществом данного ИВК-ТД является возможность формирования локальных систем технического диагностирования для контроля составных частей подвижного состава (например, контроль только силовых цепей). В отличие от аналогов, данный комплекс можно агрегатировать с разными типами УВК и другими модульными системами. Комплекс автономен, обладает открытой архитектурой, при изменении состава модулей и трактов, возможно диагностирование различных типов подвижного состава.

Ориентировочная стоимость ИВК-ТД составляет 50 тыс. рублей. Состав ИВК-ТД определяется при заказе под конкретные задачи технической диагностики подвижного состава.

Первый опыт применения технической диагностики в локомотивных депо сети железных дорог показал возможность существенного улучшения технического и теплотехнического состояния локомотивов. Требуется единый методический подход и обоснование при строительстве пунктов технического диагностирования (ПТД). При этом возникают вопросы определения эффективной зоны действия центральных пунктов технического диагностирования (ЦПТД) как региональных для нескольких депо, обоснования целесообразного расстояния пересылки локомотивов на ЦПТД из других депо.

Проводить предварительную работу по составлению технико-экономического обоснования (ТЭО) на создание ПТД рекомендуется в следующей последовательности (рис. 1, 2, 3, 4)



Рис.1.

Экономическая целесообразность создания пункта технического диагностирования в локомотивном депо определяется неравенством

$$(C_1 + A_H \cdot K_1 + Z_1^{a\ddot{u}}) < (Z_2 + E_H \cdot K_2 + Z_2^{a\ddot{u}}) \quad (1)$$

где

Z_1 и Z_2 - затраты, связанные с выполнением технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) соответственно с диагностированием и без него;

K_1 и K_2 - удельные капитальные вложения, приходящиеся на ТО и ТР с диагностированием и без него;

E_H - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложения ($E_H = 0,15$);

$Z_1^{a\ddot{u}}$ и $Z_2^{a\ddot{u}}$ - затраты, вызванные снижением мощности, увеличением расхода топлива и снижением надежности локомотивов с диагностированием и без него.

Таким образом, при составлении технико-экономического обоснования (ТЭО) на создание пункта технического диагностирования (ПТД) необходимо произвести выбор локомотивных депо и серий локомотивов, организовать отбор объектов изучения, рассчитать значения показателей, определить влияние технического диагностирования на показатели эффективности локомотивов и производства в локомотивных депо, оценить точность выполненных расчетов и достоверность полученных результатов.

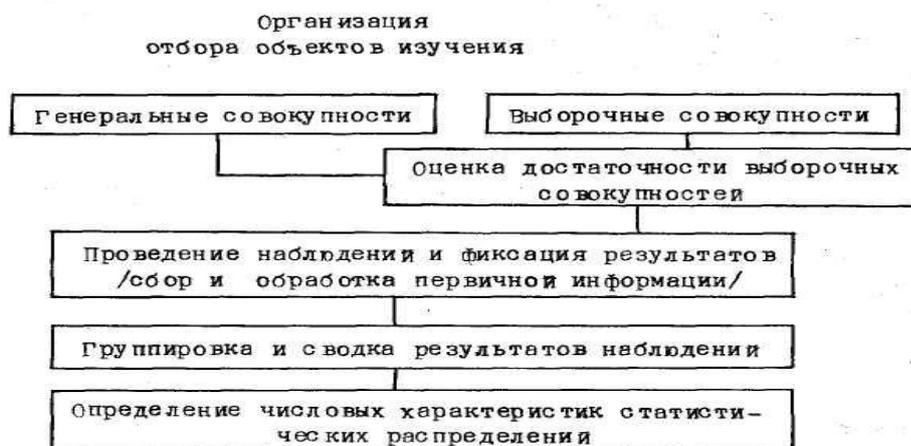


Рис.2



Рис.3

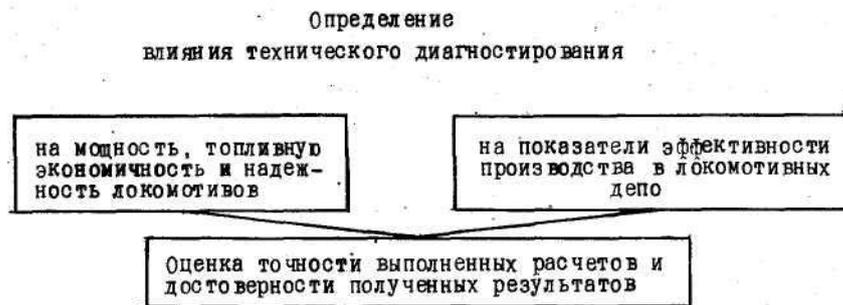


Рис. 4

Практическая работа № 9

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЯГОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ (4 часа)

При разработке методик диагностирования тяговых зубчатых передач колесно-моторных блоков (КМБ) тепловозов следует учитывать следующие основные факторы.

1. Режим работы при диагностировании, определяемый передаваемой мощностью, частотами вращения ведущего и ведомого вала, характером нагрузки.

2. Конструктивные особенности шестерни, зубчатого колеса, валов и подшипниковых узлов последних. Передачи могут быть прямозубые, косозубые, тонические и т.п., причем параметры и геометрия их могут существенно отличаться.

3. На режим работы зубчатой передачи существенное влияние оказывают погрешности зубчатого зацепления, проявляющиеся в виде изломов, трещин, сколов зубьев, износа их по толщине, биения зубчатого зацепления относительно осей вращения (колеса или шестерни и т.п.).

В тяговой зубчатой передаче тепловозов наибольшее распространение получили зубчатые колеса. Поэтому проанализируем условия работы такой передачи. Для тяговой передачи тепловозов одно из важнейших характеристик зубчатого зацепления является коэффициент ε_A степени перекрытия зубчатого зацепления, величина которого зависит от параметров зубчатых колес, величина межцентрового расстояния и его приращения происходящего от износа вкладышей моторно-осевых подшипников. Согласно правилам [I, с.250] допускается увеличение зазоров в моторно-осевых подшипниках (измерение в вертикальной плоскости) до 3 мм, при этом фактическое увеличение межцентрового расстояния может достигать $\Delta A = 4$ мм.

Увеличение $\Delta A = 4$ мм оказывает существенное влияние на ε_A и участвующую в передаче нагрузки высоту зуба шестерни h_3 , которое иллюстрируется таблицей I.

Таблица I

Значения коэффициента степени перекрытия ε_H зубчатого зацепления и высота зуба h_3 в зависимости от увеличения межцентрового расстояния

$\Delta R,$ ММ	0	1	2	3	4
E_A	1,35	1,26	1,17	1,12	1,05
h_3	20,8	19,8	18,8	17,8	16,8
	6	6	6	6	6

Коэффициент ε_A отражает динамические условия передачи окружных усилий в зубчатом зацеплении, показывая интервалы времени τ_1 и τ_2 , передачи усилия P_3 одной и двумя парами зубьев в течение каждого импульса времени $\tau_n = E_A T_z = E_A \frac{60}{n_1 Z_1}$ передачи нагрузки одним зубом (за один оборот шестерни или колеса)

$$\tau_1 = (2 - E_A) \tau_n, \tau_2 = (E_A - 1) \tau_n \quad (1)$$

для анализа этих динамических условий воспользуемся следующими допущениями.

I. В качестве расчетной принимаем схему зубчатой передача с массовыми моментами инерции, J_1 шестерни с якорем зубчатого колеса,

J_2 с колесной парой, приведенными к угловой скорости вращения зубчатого колеса; считаем, что перед режимом диагноза зубчатая передача вращается с постоянным режимом вращения, когда зубчатое колесо передает постоянный крутящий момент $P_3 \tau_2$ (- постоянная составляющая окружного усилия, τ_2 радиус делительной окружности зубчатого колеса).

В режиме диагностирования колесная пара КМБ, опираясь на подвижное упругое основание диагностического стенда, совершает вертикальные колебания Y_c относительно фундамента последнего, причем угловые колебания φ_3 зубчатой передачи связаны соотношениями, идентичными приведенным в

[2, с.240], т.е.

$$\varphi_3 = \frac{(i+1)Y_c}{i(a+A)}, \quad \varphi_3 = \frac{(i+1)Y_c}{i(a+A)} = \frac{E_A}{i} \quad (2)$$

где

$i = Z_2 / Z_1$; a и A - расстояния (см.рис. 161 [2]с.239);

ε_A - угловое ускорение якоря [2];

Z_1 и Z_2 - числа зубьев шестерни и колеса.

Массу деталей КМБ и стенда, совершающих совместные вертикальные колебания Y_c обозначим через m_c , а коэффициент жесткости подвижного основания стенда относительно его фундамента через C_c .

В течение каждого интервала времени τ_u передачи нагрузки каждым зубом в передаче окружного усилия P_3 , принимают участие либо один зуб (интервал времени τ_1), когда податливость связи между массами J_1 и J_2 равна $e_1(t)$, либо два зуба (интервал времени τ_2), когда податливость этой же связи равна $e_2(t)$. Для учета вышеизложенного воспользуемся импульсивными функциями времени [3, с.47-51] и допущением о том, что податливость каждого зуба за интервал времени изменяется по закону

$$e_1(t) = 0,5e_1 \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{E_A T_Z}\right) \quad (3)$$

а податливость всей зубчатой передачи

$$e_3(t) = 0,5e_1 \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{E_A T_Z}\right) \sum_{n=0,1,2}^{\infty} [\delta_0(t - nT_Z) - \delta_0(t - nT_z - E_A T_z)] \quad (4)$$

где

ℓ_1 - максимальная податливость зубчатой передачи при нагружении одной пары зубьев шестерни и колеса (определение дано ниже).

2. Следствием колебаний податливости зубчатого зацепления является возникновение угловых колебаний $\varphi_k(t) = P_3 r_2 e_3(t)$, которые возбуждают крутильные колебания всей тяговой зубчатой передачи.

Аналитическими исследованиями доказано, что для диагностирования состояния зубчатой передачи и вкладышей моторно-осевых подшипников целесообразно выбирать режимы резонансных колебаний, которые удовлетворяют условию

$$C_n - K^2 \omega_z^2 J_n = 0 \quad (5)$$

где

$C_n = C_{3c} (i+1)^2 + c_c i(A+a)^2$ - приведенная жесткость системы;

$J_n = J_2 (i+1)^2 + m_c i^2 (a+A)^2$ - приведенный массовый момент инер-

ции системы;

C_{3c} - постоянная составляющая жесткости тяговой зубчатой передачи.

Из (I) с учетом $K\omega_z = \frac{K\pi}{30} Z_1 n_{RP}$ можно получить формулу для расчета резонансной частоты вращения вала якоря в режиме диагностирования зубчатой передачи.

$$n_{RP} = \frac{30}{\pi K Z_1} \sqrt{\frac{C_{3c} (i+1)^2 + C_c i^2 (a+A)^2}{J_2 (i+1)^2 + m_c i^2 (a+A)^2}}; \quad (6)$$

где $K = 1, 2, 3, \dots$

В режиме резонанса амплитуды угловых колебаний " K " гармоники оказываются равными

$$\varphi_{3k} = \frac{(J_1 + J_2) P_3 r_2 \omega_z}{2\pi (E_A^2 K^2 - 1) K_3 C_3 c} \quad (7)$$

3. Изменение податливости зубчатого зацепления обусловленное изменением числа зубьев, участвующих в передаче окружных усилий даже при $P_3 = \text{пост.}$, приводят к возникновению дополнительных инерционных

усилий в зубчатом зацеплении ΔP_{3k} (на зубьях колеса) и $\Delta P_{3ш}$ (на зубьях шестерки), возбуждающих угловые колебания колесно-моторного блока и приводящих к появлению ускорений W_c точки на поверхности статора в зените оси вращения якоря. Величины вышеуказанных усилий и ускорений определяем с использованием допущений принятой-расчетной схемы и

введенных В. Н. Ивановым [2] с. 239 - 241

$$\Delta P_{3k} r_2 \approx -\Delta P_{3\omega} r_2 = -\varphi_3 (J_1 + J_2); \quad (8)$$

$$M_{KB} = \Delta P_{3K} (A + a) - \Delta P_{3III} a = -E_{KB} J_{KB}; \quad (9)$$

где

ε_{KB} и M_{KB} - угловое ускорение и момент сил инерции колесно-моторного блока при угловых поворотах его относительно горизонтальной оси, проходящей через условный шарнир на блоке пружин опоры статора на раму тележки;

J_{KB} - массовый момент инерции колесно-моторного блока относительно вышеупомянутой оси его угловых поворотов. Используя последние зависимости после выполнения преобразований, можно получить следующую формулу для расчета ускорений статора:

$$W_c = aE_{KB} = \frac{\varphi_3 (J_1 + J_2) A a}{r_2 J_{KB}} \quad (10)$$

Для следующих расчетов целесообразно определять максимальные значения W_c^m , которые достигаются при выполнении условия (I)

$$W_c^m = \frac{aA(J_1 + J_2)^2 P_3 \omega_Z^3 K^2}{2\pi(E_A^2 K^2 - 1)K_3 J_{KB} C_{3c}}; \quad (11)$$

4. Для численных расчетов W_c^m используются следующие исходные данные:

а) податливость зубчатой передачи, приведенная к зубчатому колесу и учитывающая составляющие от изгиба зубьев колеса ℓ_2 , шестерни $\ell_1 (\frac{Z_1}{Z_2})^2$, контактных деформаций ℓ_k рабочих поверхностей зубьев колеса и шестерни, крутильных деформаций $\ell_B (\frac{Z_1}{Z_2})^2$ участка вала якоря между центрами тяжести шестерни и пакета железа якоря с обмоткой и коллектором

$$e_{3c} = 0,5E_{AO} \left[e_2 + e_K + e_1 \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 \right] + e_b \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 ; \quad (12)$$

где

ε_{AO} - коэффициент степени перекрытия зубчатого зацепления тяговой зубчатой передачи с неизношенными зубьями шестерни, колеса и вкладышами моторно - осевых подшипников.

Перед определением ℓ_1 , и ℓ_2 предварительно получим зависимости для расчета минимальной изгибной жесткости одного зуба C_3 при условии приложения изгибающего окружного усилия к вершине зуба и представления зуба в виде консольного закрепленного стержня высотой h_3 (рабочая высота зуба), площадью поперечного сечения S_H х B (S_H - средне интегральная толщина зуба по его высоте $0-h_3$ от вершины, B - ширина зуба шестерни и колеса); при таких условиях согласно [9 с. 356]

$$C_3 = \frac{3EJ}{h_3^3} = \frac{EbS_n^3}{4h_3^3}; \quad (13)$$

где

E - модуль упругости материала зуба;

J - момент инерции площади поперечного сечения зуба на расстоянии h_3

от его вершины;

Для отыскания S_H предварительно принимаем функцию $S(h)$

изменения толщины зуба в зависимости от расстояния h от его вершины в виде

$$S(h) = S_0 + \frac{h}{h_3}(S_p - S_0) - 2\delta \quad (14)$$

где

S_0 и S_p - толщина зуба у его вершины и на расстоянии h_3 от последней;

2δ - средний износ зуба по его толщине на высоте $0-h_3$

Интегрируя $S(h)$ в пределах $h = 0 = h_3$, можно получить отдельно для зубьев шестерни и колеса.

Расчетная толщина зуба согласно 5 табл. 37 с.278 может быть определена по формуле

$$S_p = m(0,5\pi + 2Etg\alpha) + (h_3 + r - R_c)tg\alpha_3 \quad (15)$$

Согласно данным [2, с. 246] контактная жесткость зубьев тягового редуктора равна

$$C_k = \frac{Eb}{0,029} = 10,45 \cdot 10^{11} \left[\frac{H}{M} \right]; \quad (16)$$

где

B - ширина зубьев колеса, м.

С учетом полученных доходных данных при $R_{c1} = 0,1013$, м и $R_{c1} = 0,3885$, и можно определить крутильные жесткости:

$$k_1 = C_{31} R_{c1}^2 = 2,93 \cdot 10^7 \text{ нм/рад};$$

$$k_2 = C_{32} R_{c2}^2 = 38,3 \cdot 10^7 \text{ нм/рад};$$

$$k_k = C_k r_2^2 = 142 \cdot 10^7 \text{ нм/рад};$$

Согласно [2 с. 254] и [6 рис. I с. 84, 85] крутильная податливость вала якоря может быть определена по формуле:

$$eb = \frac{32}{\pi C_T} \left(\frac{e_1}{d_1^4} + \frac{e_2}{d_2^4} \right); \quad (17)$$

где

$G = 8 \cdot 10^{11}$ н/м² - модуль сдвига материала вала;

ℓ_1 и ℓ_2 - длины участков вала с эквивалентными диаметрами и между центром тяжести и шестерни и задним торцом нажимной шайбы от последнего до центра тяжести пакета железа якоря с обмоткой и коллектором.

Для иллюстрации в таблице I приведены величины жесткости тяговой зубчатой передачи электровоза при постоянном межцентровом расстоянии.

Таблица I

$2\delta, \text{мм}$	0	2	4	6
$C_{3c} \cdot 10^{-7} \frac{\text{нм}}{\text{рад}}$	8,88	7,92	6,14	4,63

б) приведенный коэффициент жесткости C_c подвижного ос-

нования [7] рекомендуется принимать в пределах $C_c = (3.3 - 4) \cdot 10^8 \left[\frac{H}{M} \right]$

в) величины окружных усилий P_3 , определяемые как усредненные по данным опытов.

Для иллюстрации в таблице 2 приведены осредненные по 24 тяговым электродвигателя тепловозов 2ТЭ10Л величины $M_{я}$ крутящих моментов на вале якоря при диагностировании в функции от частоты вращения n_z этого вала.

Таблица 2

N_R об/мин	35	45	55	65	75	100
$M_{я}$, НМ	2140	1840	1600	1430	1310	1130
P_3 , Н	26900	22300	19400	17300	15900	13700

г) массовые моменты инерции системы J_1, J_2 и масса m_c определяются расчетом. В частности для КМБ электровозов;

$$J_2 = 16,9 \text{ кгм м с}^2;$$

$$J_{KB} = J_0 + J_2 + d \frac{C_{ТТД}}{q} + \frac{(A+a)^2}{q} (C_{ТТК} + C_{ТС}); \quad (18)$$

где

$$J_0 = 22 \text{ кг м с}^2;$$

$$G_{ТД} = 3100 \text{ кг [2] с.242}$$

$G_{ТК} = 2770 \text{ кг}$ - вес колесной пары с буксами и балансирами;

$G_{ТС} = 640 \text{ кг}$ - вес деталей станда, совершающих совместные вертикальные колебания с колесной парой; определен нами расчетом;

размеры $a = 0,469 \text{ м}$,

$A = 0,6456 \text{ м}$, и $r_1 = 0,825 \text{ м [2] с. 242}$;

после выполнения расчетов было получено $J_{KB} = 419 \text{ кг м с}^2$

$$m_c = 496 \text{ кгс}^2/\text{м};$$

д) подставляя вышеприведенные данные для зубчатой передачи тягового редуктора тепловоза 2ТЭ10Л, получают по формуле (2)

диапазон резонансных частот вращения вала якоря $n_{яР}$ при $\varepsilon_A = 1,35$, различных величинах износов шестерни и колеса $2\delta = 0 - 6 \text{ мм}$ ($C_{3с}$ из табл.

1) при $K = 1,2,3$.

Эти величины сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Значения $n_{яР}$ об/мин

26, ММ		0	2	4	6
К	1	194	189	184	178
	2	94	94,5	92	89
	3	64,7	63	61,3	59,3

е) в табл.4 сводят данные расчетов по формуле (11) величин W_c^m ускорений точки статора при $\varepsilon_A = 1,35 - 1,05$ (табл.4 при $\Delta A - 0 - 4$ мм), которые возникают при резонансных режимах диагностики зубчатой передачи и $K = 3$ (выбор режима обусловлен желанием снизить до минимума влияние вибраций подшипников на W_c^m . При расчетах W_c^m величины $C_{зс}$ принимают из табл. I, P_3 определяют интерполированием по таблице 2, а K_3 расчетом по формуле

$$K_3 = \frac{M_R(n_{прин_R} = 55 \frac{об}{Мин}) - M'_Я(n_{прин_R} = 65 \frac{об}{Мин})}{\frac{\pi}{30}(65 - 55)} = 162 НМС ; \quad (19)$$

И

$$\omega_2 = \frac{\pi Z1}{30} nRP ; \quad (20)$$

Данные таблиц 3 и 4 показывают, что об износе боковых поверхностей зубьев шестерни и колеса можно судить по изменению резонансных чисел оборотов $n_{яР}$ якоря ТЭД, а после определения 2δ по данным таблицы 3 при известном W_c^m определить и величину приращения межцентрового расстояния ΔA , свидетельствующего об накопленном износе вкладышей моторно-осевых подшипников.

Виброускорения статора в режиме диагноза зубчатой передачи.

Таблица 4

26, ММ		0	2	4	6
$\frac{E_A}{\Delta A}$	$\frac{1,35}{0}$	3,0	3,90	4,53	5,20
	$\frac{1,26}{1,0}$	3,51	4,54	5,29	6,05
	$\frac{1,17}{2,0}$	3,83	4,97	5,8	5,64
	$\frac{1,12}{3,0}$	3,95	5,13	5,96	6,85
	$\frac{1,05}{4,0}$	4,33	5,62	6,66	7,5

Вышеизложенное касалось рассмотрения динамических явлений при работе тяговой зубчатой передачи с равномерно изнашивающимися зубьями. В действительности износ зубьев шестерни и колеса, связанный с спецификой их механической и химикотермической обработки, динамическими воздействиями в процессе эксплуатации, возникающими перекосами осей вращения шестерни и колеса (из-за неравномерного износа моторно-осевых подшипников) протекает неравномерно. По этой причине в процессе эксплуатации у ряда зубьев появляются погрешности в виде разности окружных шагов.

Приближенные значения амплитуд импульсных угловых ускорений, вызванных погрешностями в виде разности окружных шагов у зубьев могут быть определены по формуле

$$\Delta\varphi_3 = \frac{\Delta SC_{3c}}{2r_2(J_1 + J_2)}; \quad (21)$$

а амплитуды импульсов виброускорений ΔW_c^m статора соответственно

$$\Delta W_c^m = \frac{\Delta SC_{3c} aA}{2r_2 J_{кБ}}; \quad J_R \varphi_R \approx Ct; \quad (22)$$

Результаты расчета ΔW_c^m (м/с²) для различных разностей окружных шагов $\Delta S = (5, 10, 15, 20) \cdot 10^{-5}$ м при резонансных режимах падения вала якоря (см.табл.3) сведены в таблицу 5.

Таблица 5

$\Delta S \cdot 10^5, \text{ м}$	5	10	15	20
$2\delta = 0$ $n_{\text{яр}} = 64,7 \text{ об/мин}$	0,81	1,62	2,43	3,24
$2\delta = 2 \text{ мм}$ $n_{\text{яр}} = 63 \text{ об/мин}$	0,715	1,43	2,15	2,46
$2\delta = 4 \text{ мм}$ $n_{\text{яр}} = 61,3 \text{ об/мин}$	0,56	1,12	1,68	2,24
$2\delta = 6 \text{ мм}$ $n_{\text{яр}} = 59,3 \text{ об/мин}$	0,425	0,85	1,27	1,7

Данные последней таблицы могут быть использованы для определения ΔS у смежных зубьев шестерни и колеса, если известны разности амплитуд $\Delta W_c = W_c^i - W_c^{i+1}$, виброускорений статора, например, из виброграмм.

В случае наличия сколов или трещин в зубьях следует ожидать появления дополнительных виброимпульсов ускорений, значительно превышающих приведенные в табл. 5.

Одним из важных показателей технического состояния, характеризующих износ зубьев зубчатой передачи является величина бокового зазора δ_3 между нерабочими поверхностями зубьев. Эту величину целесообразно диагностировать по времени выборки зазора t_0 шестерней совместно с якорем под действием крутящего момента на вале якоря при его запуске во вращательное движение. Для определения t_0 воспользуемся следующими допущениями.

1. Считаем, что перед началом диагностирования зубья шестерни и колеса касаются друг друга одними рабочими поверхностями, а между их нерабочими поверхностями имеется зазор δ_3 . Шестерня и колесо неподвижны.

2. После включения приводного двигателя в момент времени движение зубьев шестерни совместно с валом якоря происходит в сторону выборки зазора δ_3 , до момента времени соударения нерабочих поверхностей этих зубьев, при этом зубья зубчатого колеса неподвижны.

3. Уравнения движения вала якоря, имеющего массовый момент инерции $J_{\text{я}}$, для интервала времени $t = 0 - t_0$ имеет вид

$$J_{\text{я}} \ddot{\varphi}_{\text{я}} \approx C_{\text{э}} t \quad (23)$$

где

$C_{\text{э}}$ - крутизна тяговой характеристики: "приводной электродвигатель

- источник питания";

$\varphi_{я}$ - угол поворота якоря, предельная величина которого при $t = t_{\delta}$ достигает значения $\varphi_{яп} = \frac{\delta_3}{r_1}$

В последнем уравнении пренебрегалось силами трения в подшипниках вала в виду их малости.

4. В период времени $t \geq t_{\delta}$ произойдет соударение зубьев шестерни и колеса, от которого возникнут динамические составляющие усилий на зубья последних, равные $\Delta P_{\delta} \approx C_{\delta} t_{\delta} / r_1$ и импульсивное ускорение W_{CH} на поверхности статора тягового электродвигателя, которое будет зарегистрировано датчиком регистрирующего прибора.

С использованием введенных допущений после интегрирования (23), выполнения преобразований можно получить формулу

$$t_{\delta} = \sqrt{\frac{6J_R \delta_3}{C_3}}, \Delta P_{\delta} \approx \frac{1}{r_1} \sqrt[3]{B \delta_3 C_{\delta}^2 J_R}; \quad (24)$$

$$W_{CH} = \frac{\Delta P_{\delta} A a}{J_{KB}} \quad (25)$$

На основании материалов проведенных исследований рекомендуется выполнять:

1. Диагностирование накопленного усредненного износа рабочих поверхностей зубьев 2δ выполнять по резонансной частоте $n_{яР}$ вращения вала якоря тягового электродвигателя диагностируемого КМБ, опирающегося на подвижное основание диагностического стенда [7].

Определение $n_{яР}$ может осуществляться либо по виброграммам ускорений статора КМБ, записанным при медленном увеличении частоты вращения вала якоря в диапазоне $n_{я} = 55 - 68$ об/м, либо визуальным наблюдением за показаниями приборов, одновременно регистрирующих амплитуды - виброускорений статора и частоту вращения вала якоря. В последнем случае определяют резонансную частоту вращения вала якоря при максимальных установившихся амплитудах виброускорений статора КМБ.

2. Накопленный износ вкладышей моторно-осевых подшипников, приводящий к увеличению ΔA межцентрового расстояния зубчатой передачи, выполнять по среднеарифметическим значениям (не менее Z_2 значений) амплитуд ускорений W_c^m статора, определенных по виброграммам резонансного режима (при $n_{яР}$) и сопоставления их с

данными табл. 4 определяют при ранее определенных (п.1 таблица 3) величинах 2δ . При известных W_c^m и 2δ по данным таблицы 4 определяют ΔA методом интерполирования. Браковочное $\Delta A_B = 3,3$ м, определено из условия достижения максимального зазора 3 мм в моторно-осевых подшипниках согласно правилам деповского ремонта [9. С.250].

При наличии зазоров на вкладышах моторно-осевых подшипников и шейках оси колесной пары резонансный режим тягового привода будет неустойчивым и определение $n_{ЯР}$ затруднено.

3. Диагностирование погрешностей ΔS окружного шага смежных зубьев шестерни и колеса по величинам импульсов ΔW_c^m , амплитуд ускорений статора, записанных на виброграммах в режиме резонанса крутильных колебаний тягового привода.

При известных ΔW_c^m , определенных в результате обработки виброграмм, и величине 2δ (п. 1) по данным табл. 5 методом интерполирования рассчитывают максимальные ΔS_m .

При наличии трещин и сколов зубьев шестерни или колеса на виброграммах будут записаны величины W_c^p , большие в 1,5. W_c^m (табл.4), а стрелки показывающих приборов будут получать резкие толчки.

4. Диагностирование накопленного бокового зазора δ_3 между нерабочими боковыми поверхностями зубьев шестерни и колеса по времени t_δ выборки этого зазора при запуске вала якоря с шестерней во вращательное движение до соударения с зубьями колеса. Для повышения точности регистрации t_δ операцию, запуска проводить с реверсированием вала якоря не менее 5 раз, с последующим угловым поворотом шестерни и колеса на 5-6 зубьев, повторением реверсивных запусков (две последние операции повторить не менее 3 раз). По опытным данным рассчитывают среднеарифметическое $t_{\delta c}$ (не менее чем по 15 измерениям), а затем вычисляют величину усредненного бокового зазора между нерабочими поверхностями зубьев

$$\delta_{3c} = \frac{C_3 t_{\delta c}^2}{\delta J_R} \quad (26)$$

Браковочные значения этого зазора согласно правилам деповского ремонта [9. С.250] $\delta_{3б} = 0,0065$ м.

При разработке методики диагностирования якорных подшипников качения ТЭД следует учитывать следующие основные факторы.

1. Режим работы при диагностировании, определяемый величиной и характером нагрузки на подшипник, частотой вращения его внутреннего (наружного) колена, температурой нагревания деталей и т.п.

2. Конструктивные особенности подшипникового узла, возможность возникновения перекосов и передачи осевых углов, расположенные относительно массивных деталей на валу и зубчатых передач, направление распространения ударных импульсов по станине (статору) и т.п.

3. Характер и величины дефектов на дорожках и телах качения подшипников, накопленные зазоры между их телами и дорожками качения, влияние импульсов ударов от работы тяговой зубчатой передачи и других подшипниковых узлов

Проанализируем специфические особенности динамических явлений в якорных подшипниках ТЭД тепловозов с учетом выбора параметров для диагностирования их технического состояния в виде величин накопленных радиальных зазоров B_{II} и дефектов (выбоин, раковин, сколов), на дорожках и телах качения.

Для такого анализа воспользуемся упрощенной схемой подшипникового узла и следующими допущениями.

1. Считаем, что в пределах угла φ_6 передачи нагрузки от вала и внутреннего кольца, на тела качения (ролики) и дорожку качения наружного кольца 4 подшипника одновременно участвуют $\varepsilon_n = \frac{Z_p}{k}$ роликов [5 с. 143],

где

Z_p - количество роликов в подшипнике;

$K= 4,6$ для роликовых подшипников с $Z_p = 10 - 20$.

2. В качестве динамической расчетной принимаем схему, для которой m_n - приведенная масса вала к подшипнику, $e_n(t)$ - податливость упругой связи между валом и корпусом подшипникового узла. Перемещения центра подшипника относительно статора характеризуются $Y_C - Y_{II}$,

где

Y_C - кинематическая координата перемещений, обусловленная периодическим или импульсивным изменением количества роликов в пределах угла передачи нагрузки.

Считаем, что при отсутствии дефектов на дорожках и телах качения подшипника податливость упругой связи изменяется согласно аналитической зависимости

$$e'_n(t) = e_{nc} - \frac{e_1}{2} \cos \omega_p t \sum_{n=0,1,2}^{00} [\delta_0(t - nTp) - \delta_0(t - nTp - E_n T_p)]; \quad (27)$$

где

e_{nc} - постоянная составляющая податливости упругой связи между

валом и статором при наличии минимального количества тел качения (эта величина равна целому числу до запятой от отношения Z_p/k) в пределах угла φ_b ;

e_1 - податливость упругой связи между валом и корпусом подшипников при наличии между наружным и внутренним кольцами одного ролика;
 $n_{я}$ - частота вращения вала якоря, об/мин;

$$T_p = \frac{60}{n_{я} z_p}, \quad \omega_p = \frac{2\pi}{T_p} - \text{круговая частота поворота вала якоря на угол } P$$

между смежными роликами в подшипнике.

4. Ввиду малости контактных деформаций дорожек и тел качения якорных подшипников в режиме их диагностирования (менее 0,02 мм), сравнительно с наиболее вероятными зазорами $\delta_n = 0,1 - 0,4$ мм, между дорожками и телами качения в них, пренебрегая влиянием первых из них составляющие податливости постоянную составляющую $e_{пс}$ и e_1 определяем до формулам:

а) для случаев отсутствия дефектов на дорожках и телах

$$e_{nc} = \frac{\delta_n K}{Z_p G_n}; \quad (28)$$

где

G_n - доля веса вала якоря, отнесенная к якорному подшипнику;

K/Z_p - коэффициент, учитывающий снижение податливости подшипникового узла за счет количества роликов Z_p/k , участвующих в передаче нагрузки от внутреннего кольца на наружное;

G_n/δ_n - приближенное значение жесткости подшипникового узла с радиальным зазором (18) (см. раздел 3);

б) в случае дефектов на дорожках и телах качения подшипника в пределах интервала времени прохождения роликом угла передачи нагрузки φ_b наблюдаются кратковременные импульсивные разгрузки

одного и догрузки других роликов.

При этом податливость упругой связи между валом и статором увеличивается до

$$e_{пд} = \frac{K \delta_n}{(Z_p - K) - G_{Tn}}; \quad (29)$$

на величину

$$e_1 = e_{пд} - e_{nc} = \frac{K^2 \delta_n}{Z_p (Z_p - K) G_{Tn}}; \quad (30)$$

5. Приближенное уравнение колебаний массы m_n , вала, приведенной к якорному подшипнику относительно корпуса (статора), записываем в виде

$$m_n Y_n + \frac{Y_n}{e_{nc}} = m_n Y_c; \quad (31)$$

В котором сопротивлениями колебаний вала пренебрегается (такое допущение обусловлено тем, что диагностирование влияния дефектов и тел качения подшипников выполняется на режимах медленного вращения (n_z об/мин, когда силы сопротивления колебаниям малы).

Для решения уравнения (31) выполняем предварительное осреднение функции $e_n(t)$, пользуясь операционным исчислением по одной переменной

$$Y_n(t) = \frac{G_{Tn} e_1 \omega_p^2}{\pi} \sum_{n=1,2}^{00} \frac{n \sin n\pi(E_n - 2) \cos n\omega_p t}{P_n^2 - n^2 \omega_p^2}; \quad (32)$$

Где

$$P_n = \sqrt{\frac{1}{e_{nc} m_n}} = \sqrt{\frac{g Z_p}{K \delta_n}}; \quad (29) \quad \text{- частота собственных колебаний}$$

массы m_n якорного подшипника относительно корпуса (статора).

Условиями резонансного возбуждения собственных колебаний массы m_n являются следующие:

$$P_n^2 - n^2 \omega_p^2 = 0; \quad (33)$$

откуда могут быть рассчитаны резонансные частоты вращения вала якоря $n_{яп}$, при которых следует ожидать возбуждения таких колебаний,

$$n_{яп} = \frac{30}{\pi n} \sqrt{\frac{g}{Z_p K \delta_n}}; \quad (34)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

При колебаниях $\delta_n = (0,1 \div 0,4)$ мм в условиях эксплуатации

резонансные частоты $n_{ян}$ будут отличаться от средних ($\delta_n = 0,2\text{мм}$) при $\delta_n = 0,4\text{мм}$, и

В $1/\sqrt{2}$ при $\delta_n = 0,1\text{ мм}$.

Для диагностирования радиального зазора δ_n рационально выбрать режим $n_{зр} = 100 - 60$ об/мин. Для такого диапазона будем иметь:

- а) при $\delta_n = 0,1\text{ мм}$, $n_{зр}$ равны 75 и 93,8 об/мин;
- б) при $\delta_n = 0,2\text{ мм}$, $n_{зр}$ равны 66,5 и 88,7 об/мин;
- в) при $\delta_n = 0,3\text{ мм}$, $n_{зр}$ равны 59,8 и 79,8 об/мин;
- г) при $\delta_n = 0,4\text{ мм}$, $n_{зр}$ равны 62,8 и 34,2 об/мин;

Для диагностирования приведены расчеты, величин P_{II} и $t_{II} = P_{II} / 2\pi$ в виде табл. 6 для якорного подшипника № 32328 тягового электродвигателя ЭД 107.

Таблица 6

δ_n	ММ	0,1	0,2	0,3	0,4
P_n	рад/с	546	397	315	273
f_n	Гц	37	63,2	50	43,5

Примечание. Данные таблицы получены при $Z_p = 14$, $k = 4,6$.

Силы энергии, вызванные колебаниями массы m_{II} вала передаются на статор, вызывая появление ускорений $W_{сн}(t)$ которые могут быть зарегистрированы измерительной аппаратурой.

Масса всего статора m_c при колебаниях от воздействия сил инерции $m_n Y_n$ совершает угловые колебания вокруг оси колесной пары, при этом доля веса статора $0,5m_c q$ нагружает вкладыши моторно-осевых подшипников (для опорно-осевого подвешивания тяговых электродвигателей электровозов). Поэтому можно принять $m_{сн} \approx 0,5m_c$. Величины амплитуд ускорений могут быть определены из условия $m Y_c = 0,5m_c W_{сн}$, которое после дифференцирования (I9) и выполнения преобразований может быть записано в виде

$$W_{сн} = \frac{2K^2 G_n \delta_n \omega_p^2}{\pi G_{Tc} Z_p (Z_p - K)} \sum_{n=1,2}^{00} \frac{n^3 \omega_p^2 \sin n\pi(E_n - 2)}{P_n^2 - n^2 \omega_p^2}; \quad (35)$$

Расчеты амплитуд $W_{сн}$ по последней формуле показывают, что в

зонах резонанса такие амплитуды превышают " q " ($9,81 \text{ м/с}^2$). Эти обстоятельства и позволяют осуществить диагностирование величин зазоров в якорных подшипниках по записям виброускорений $W_c(t)$ статора тягового электродвигателя на диагностическом стенде.

В процессе эксплуатации тяговых электродвигателей наиболее вероятные зазоры в якорных подшипниках находятся в пределах $\delta_n = 0,1 - 0,35 \text{ мм}$, а их частоты собственных колебаний в пределах $90-50 \text{ Гц}$, поэтому на приборе, регистрирующем ускорения $W_c(t)$, целесообразно включение фильтра 63 Гц .

Особый интерес представляют случаи работы подшипников при наличии дефектов на дорожках, и телах качения. Наличие таких дефектов в зависимости от их глубины и длины вызывают частичное или полное снятие нагрузки с каждого ролика при взаимодействии с дефектом. Частичное снятие нагрузки с такого ролика будет наблюдаться в тех случаях, когда глубины дефектов оказываются меньшими величин контактных деформаций ролика с дорожками качения наружного и внутреннего колец [8.с.75].

$$2\delta_{ck} = \delta \cdot 10^{-4} G_{Tn}^{0,9} (0,9ep)^{0,9} [\text{мм}]; \quad (36)$$

Длины дефектов могут быть значительными, например, в случае установки роликов меньшего диаметра, чем у двух рядом расположенных, или короткими (от выбоин, раковин и т.п.). В первом случае изменение закономерности ускорения будет характеризоваться колебаниями амплитуд ускорений от тех роликов, которые взаимодействуют с дефектом. Во втором случае при коротких длинах дефектов взаимодействие с такими участками будет импульсивным, а кинематическое перемещение $Y_c(t)$ массы m_n представлено приближенной функцией вида

$$Y_c(t) = G_{Tn} e_1 [\delta_0(t) - \delta_0(t - t_n)]; \quad (37)$$

где

t_n - время длительности импульса взаимодействия.

После подстановки (34) в уравнение (28) и его решения с использованием метода операционного исчисления [3] было получено

$$Y_{III}(t) = G_{Tn} e_1 \left[\cos P_n t - \overbrace{\cos p_n (t - t_n)}^{\text{импульс}} \right]; \quad (38)$$

Импульсивные ускорения $Y_{\Pi n}(t)$ вызывают появление также импульсивных ускорений $W_{c\Pi}(t)$, возбуждаемых с частотой собственных колебаний P_{Π} подшипникового узла. Максимальные значения таких ускорений могут быть определены по формуле

$$\Delta W_{cn} = \frac{2m_n G_{Tn} e_1 P_n^2}{m_{cn}} = \frac{2G_{Tn} K}{m_{cn} (Z_P - K)}; \quad (39)$$

Расчеты по последней формуле показывают, что величины ΔW_{cn} для режимов диагностирования якорных подшипников ($n_z = 100 - 200$ об/мин тяговых электродвигателей тепловозов превышает $0,3 g$ (3 м/с^2)).

При выборе режима диагностирования дефектов дорожек и тел качения якорных подшипников в зонах колебаний с выполнением условия (30) и наличии таких дефектов короткой длины на виброграммах ускорений $W_c(t)$ статора будут наблюдаться всплески одиночных или групп 2-4 амплитуд величиной $W_{c\Pi} + \Delta W_{c\Pi}$ круговой частоты P_{Π} собственных колебаний подшипникового узла, при этом доказательством наличия таких дефектов будет выполнение условия

$$W_{cn} + \Delta W_{cn} > 1,3W_{cn}; \quad (40)$$

Вторым доказательством наличия дефектов на дорожках и телах качения якорных подшипников является повторение импульсов ускорений с амплитудами $W_{c\Pi} + \Delta W_{c\Pi}$ через определенные интервалы времени T_b, T_u, T_p, T_u . Такие интервалы времени могут быть определены исходя из кинематических соотношений между движением деталей якорного подшипника и без учета относительного проскальзывания последних и рассчитаны по следующим формулам:

а) при наличии дефекта на дорожке качения внутреннего кольца будут возникать группы импульсов с интервалами времени между смежными импульсами

$$T_b = \frac{60(r_b + r_r)}{n_{Rp} Z_p (0,5r_b + r_p)} [c]; \quad (41)$$

и последовательным повторением таких импульсов через отрезки времени

$$T_b = \frac{60(r_b + r_p)}{n_{Rp}(0,5r_b + r_p)} [c]; \quad (42)$$

где

r_b и r_p - радиусы дорожки качения внутреннего кольца подшипника и ролика;

б) при наличии дефекта на дорожке качения наружного кольца (в пределах угла передачи нагрузки от внутреннего кольца)

$$T_b = \frac{120(r_b + r_p)}{n_{Rp}r_b + r_p}; \quad (43)$$

в) при наличии дефекта на одном из роликов будут возникать группы импульсов с интервалами времени между смежными импульсами

$$T_p = \frac{60r_p}{n_{Rn}r_B} \quad (44)$$

или $0,5 T_p$ с последовательным повторением таких импульсов через отрезки времени.

На основании материалов проведенных аналитических исследований рекомендуется выполнять:

1. Диагностирование накопленных радиальных зазоров на якорных подшипниках по величине резонансной частоты t_{II} собственных колебаний подшипникового узла, определяемой в результате обработки виброграмм вертикальных ускорений статора, записанных при включении на регистрирующем приборе фильтра с частотой 63 Гц.

После определения t_{II} величина радиального зазора может быть рассчитана по формуле

$$\delta_n = \frac{gZp}{4Kf_n^2\pi^2} \quad (45)$$

которая при $q = 3810 \text{ мм/с}^2$ и $K = 4,6$ приводится к упрощенному виду

$$\delta_n = 54,4 \frac{Zp}{f_n^2} [MM] \quad (46)$$

2. Диагностирование наличия дефектов на дорожках и телах качения подшипников выполнять по результатам обработки виброграмм вертикальных ускорений статора, записанных при установившемся вращении вала якоря на режимах резонансных колебаний подшипниковых

узлов при установке на регистрирующем приборе фильтра с частотой 63 Гц. О наличии таких дефектов будет свидетельствовать появление импульсов у амплитуд ускорений (одиночных или групп из 2 - 4) статора, превышающих средние значения таких амплитуд в 1,3 раза и следующие с интервалами времени T_v , T_n , T_r , T_u (43 - 46) в зависимости от конкретного дефекта.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БУКСОВЫХ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ (2 часа)

Для выбора режимов для диагностирования буксовых роликподшипников могут быть использованы аналитические зависимости, полученные для якорных подшипников тяговых электродвигателей, так как их условия работы подобны во многом.

Специфической особенностью работы буксовых подшипников в режиме их диагноза являются большие статические составляющие нагрузки (на буксу электровоза такая вертикальная нагрузка равна 86000 н [2, с. 141] при относительно малых динамических составляющих). Поэтому возбуждение колебаний буксовых роликподшипников возможно на режимах вращения, когда возбуждаются собственные и вынужденные колебания. Для буксовых ролик-подшипников электровоза типа 32532 характерны следующие параметры: диаметры ролика $2r_p = 188$ мм, количество роликов $Z_p = 18$, в каждой буксе установлено два параллельно работающих подшипника, причем на каждый подшипник передается статистическая нагрузка – 43000 н.

В условиях эксплуатации радиальные зазоры в этих подшипниках могут находиться в пределах $\delta_{rr} = 0,1 - 0,5$ мм, причем разница между зазорами в подшипниках, установленных в одной буксе не должна превышать 0,03 мм. Поэтому для упрощения в последующих расчетах принимаем радиальные зазоры в обоих подшипниках равными.

Ввиду того, что на буксовые подшипники действуют значительные статические нагрузки, целесообразно использование дополнительных вынужденных вибраций, энергия которых могла бы усилить собственные колебания этих подшипниковых узлов. В качестве таких вибраций целесообразно использовать вынужденные колебания, возбуждаемые работой тяговой передачи с зубцовой частотой.

Условия возбуждения таких колебаний удовлетворяют соотношению: (при одном подшипнике в буксовом узле)

$$f_n = \frac{n_k Z_2}{60} = \frac{n_R Z_1}{60}; \quad (1)$$

откуда может быть получена формула для расчета резонансной частоты вращения колесной пары

$$n_{кБ} = \frac{30}{\pi Z_2} \sqrt{\frac{q Z_p}{\kappa \delta_{II}}} \quad (2)$$

При двух подшипниках в буксовых узлах тепловоза из-за наличия сдвига тел качения в подшипниках следует ожидать снижения приблизительно в 2 раза и поэтому возможно проведение диагностирования на режиме

$$n_{кД} = 0,5 n_{кБ} = \frac{15}{\pi \gamma 2} \sqrt{\frac{n Z_p}{K \delta_n}} \quad (3)$$

Результаты расчета в об/мин для буксовых подшипников тепловозов

$$n_{к\delta}, n_{R\delta} = n_{к\delta} \frac{Z_2}{Z_1}, n_{кД} u_{яД} = n_{кД} \frac{Z_2}{Z_1}; \quad (4)$$

сводим в табл.1

Таблица 1

$\delta_n, \text{мм}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$n_{к\delta}$	88	62,2	50,8	44	39,2
$n_{R\delta}$	398	282	230	199	178
$n_{кД}$	44	31,1	25,4	22	19,6
n_{RD}	199	141	115	99,5	99

Выполненные расчеты позволяют дать следующие рекомендации о методике диагностирования роликоподшипников букс электровозов.

1. Диагностирование усредненной величины зазоры $\delta_{IIБ}$ по двум

Роликоподшипникам одной буксы целесообразно выполнять по величине резонансной частоты $n_{яД}$ (или $n_{кД}$) вращения вала якоря, при

которой возбуждаются максимальные вертикальные ускорения корпуса буксы. При возможных колебаниях $\delta_{пс}$ в эксплуатации 0,1- 0,4 мм поиск резонансных режимов подшипников букс должен осуществляться в диапазоне частот вращения вала якоря $n_{я} = 80-210$ об/мин.

Численная величина усредненного зазора $\delta_{пс}$ при известном $n_{яд}$ может быть определена из формулы, идентичной (3)

$$n_{яд}^2 = \frac{225nZp}{\pi^2 Z_1^2 K_{n\delta}}; \quad (5)$$

$$\delta_{n\delta} = \frac{225gZp}{\pi^2 Z_1^2 K n_{яд}^2}; \quad (6)$$

В частном случае для букс электровозов с подшипниками 32532, для которых $Zp = 18$, $K = 4,6$ и тягового привода с $Z_1 = 15$ при $g = 9810 \text{ км/с}^2$ формула (6) упрощается и оказывается следующей

$$\delta_{n\delta} \approx \frac{3890}{n_{яд}^2} [\text{мм}]; \quad (7)$$

2. Диагностирование дефектов на дорожках и телах качения буксовых роликоподшипников выполнять по результатам обработки виброграмм, вертикальных ускорений корпуса буксы, записанных при установившемся вращении оси колесной пары на режиме резонанса $n_{кд} = n_{яд} \frac{Z_1}{Z_2}$; при установке на регистрирующем приборе фильтра с частотой 63 Гц.

О наличии таких дефектов будет свидетельствовать появление импульсов амплитуд ускорений одиночных (или групп из 2-4) букс превышающих среднее значения таких амплитуд в 1,3 раза и следующих в зависимости от расположения дефекта с интервалами времени: при наличии дефекта на дорожке качения внутреннего кольца

$$T_{b\delta} = \frac{60(r_b + r_p)Z_2}{n_{яд}Z_p(0,5r_b + r_p)Z_1} [c]; \quad (8)$$

при наличии дефекта на дорожке качения наружного кольца

$$T_{нб} = \frac{60r_p \cdot Z_2}{n_{яд}r_b Z_1} [c] \quad (9)$$

при наличии дефекта на ролике

$$T_{PB} = \frac{60r_p Z_2}{n_{яд} r_B Z_1} \quad (10)$$

а интервал времени повторения групп импульсов от наличия дефектов на дорожке качения внутреннего кольца или у одиночного ролика окажется равным

$$T_{HB} = \frac{120Z_2}{n_{яд} Z_1} \quad (11)$$

Для букс электровозов с подшипниками типа 32332 формулы (9-11) упрощаются:

$$T_{PB} = \frac{26,1}{n_{яд}} [C], \quad T_{HB} = \frac{35,8}{n_{яд}} [C] \quad (12)$$

$$T_{PB} = \frac{50,7}{n_{яд}} [C], \quad T_{HB} = \frac{543,6}{n_{яд}} \quad (13)$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МОТОРНО-ОСЕВЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ (2 часа)

В динамическом отношении подшипники скольжения относят к системе с зазорами [9.с.72] . При исследовании таких систем осуществляют либо линеаризацию зазора эквивалентной жесткостью связи между шипом (валом) и подшипником, либо представляют взаимные движения последних в виде комбинации процессов колебаний, движения в пределах зазоров и соударений после выборки зазоров.

Для использования методов должны быть заранее известны амплитуды колебаний масс внутри зазоров и коэффициенты жесткости поверхностей этих масс при их упругом контакте [10. рис.88,с.241] , [2, рис. 179, с. 284]. Обычно такие амплитуды заранее неизвестны, а на коэффициенты жесткости оказывают существенное влияние слои смазки, имеющиеся в большинстве подшипников скольжения. Поэтому точное решение задачи по определению линеаризованной жесткости подшипника скольжения и зависящая от этой жесткости частота собственных колебаний существенно усложняются. Приближенное значение частоте

собственных колебаний подшипника скольжения с зазором может быть определено по формуле

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_c}{m\delta_c}} \quad (1)$$

Для моторно-осевых подшипников КМБ электровозов в качестве исходных данных для расчета частот собственных колебаний могут быть приняты:

$$P_c = \frac{G_{гд}}{4} = \frac{3100}{4} = 775 \text{ кгс} \quad (2)$$

$$m = \frac{G_n}{2q} = \frac{2770}{29810} = 0,142 \frac{\text{кгс}^2}{\text{мм}} \quad (3)$$

где

$G_{гд}$ и G_n - вес тягового электродвигателя ЭД107А и колесной пары с балан-сирами (2.с.242)

δ_c - наиболее вероятные зазоры между вкладышами моторно-осевых подшипников и оси колесной пары согласно правилам [1.с.250]

При принятых исходных данных частоты f_c окажутся в пределах

$$f_c = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{775}{0,142}} = \frac{13,3}{\sqrt{\delta_c}} = (13,3 + 7,72) \text{ Гц} \quad (4)$$

В реальных подшипниках скольжения, в том числе в моторно-осевых КМБ тепловозов, часть энергии удара, вызванная импульсивным воздействием усилия $P_c(G_{гд}/4)$ рассеивается за счет сил внешнего трения контактирующих поверхностей шипа и подшипника, и внутреннего трения в их материале. Поэтому колебательное движение шипа в подшипнике будет затухать. С целью поддержания таких колебаний целесообразен подвод энергии, восполняющей эти потери. Такой подвод энергии может быть осуществлен вынужденными

колебаниями моторно-осевых подшипников, например, за счет введения специального кулачкового механизма, примененного в стенде [3]. Для этого стенда был использован кулачковый механизм, содержащий специальные кулачковые шайбы, жестко закрепленный на катковых валах между опорами. Плоскости симметрии кулачковых шайб перпендикулярные к осям вращения Катковых валов, были совмещены со серединами вкладышей моторно-осевых подшипников, диагностируемых

колесно-моторных блоков. Между кулачковыми шайбами и шапками моторно-осевых подшипников вводились специальные толкатели, направляющие для которых были выполнены в специальных корпусах, заземляемых к верхней плите стенда. При вращении колесной пары от воздействия кулачковой шайбы через толкатель шапка моторно-осевого подшипника совместно с вкладышами получала вертикальные колебания с закономерностью

$$Y_M(t) = Y_a(1 - \cos \omega_1 Z_k t) \quad (5)$$

где

ω_1 - угловая скорость вращения каткового вала;

Z_n - количество маннх неровностей на кулачковой шайбе (для стенда [3] было принято $Z_n = 12$

Y_a - амплитуда колебаний неровностей для кулачковой шайбы (для стенда [3] было принято $Y_a = 4$ мм, больше величины максимального зазора для моторно-осевых подшипников).

При введении кулачкового механизма внешнее усилие, действующее на каждую шапку моторно-осевых подшипников, должно превышать

$$F_T(t) = - \frac{G_{TA}}{4g} \cdot \frac{d^2 y_M(t)}{dt^2} = + \frac{G_{TA}}{4g} y_a \omega_1^2 Z_k^2 \cos \omega_1 Z_k t \quad (6)$$

В этом случае за каждый цикл колебательного движения шапки моторно-осевого подшипника имеет место минимум одно соударение вкладыша моторно-осевого подшипника (МОП) с шейкой оси колесной пары.

Ударный импульс между поверхностями контакта вкладыша моторно-осевого подшипника и шейкой оси может быть рассчитан по формуле

$$q_M = K_M \sqrt{\frac{F_T \delta_M G_{TA}}{2g}} \quad (7)$$

или после подстановки максимального значения F_T из (6)

(8)

$$q_M = \frac{K_M G_{TA} \omega_1 Z_K}{4g} \sqrt{2y_a \delta_M}$$

где

K_M - коэффициент, зависящий от упругих свойств соударяющих поверхностей вкладышей МОП и шейки оси колесной пары.

Ввиду того, что колесная пара нагружается значительным вертикальным усилием (~ 19 тс) от надрессорного строения тепловозов, то можно считать, что весь ударный импульс на вкладыши моторно-осевых подшипников от воздействия кулачкового механизма расходуется на сообщение виброускорений через шапку МОП статора, которые регистрируются датчиком Д 28 прибора ПИ-6, т.е.

$$\frac{q_M}{\Delta t} = \frac{G_{TA} a_c}{4g} \quad (9)$$

где

Δt - время действия ударного импульса от вкладышей МОП на шейку оси колесной пары, приближенно равное

$$\Delta t \approx \frac{\pi}{\omega_1 Z_K} \quad (10)$$

a_c - амплитуде импульса вертикального ускорения шапки моторно-осевого подшипника от воздействия кулачкового механизма. Подставляя Δt в (9), после преобразований можно получить

$$a_c \approx \frac{K_M \omega_1^2 Z_K^2}{\pi} \sqrt{2y_a \delta_M}$$

(11)

На основании материалов проведенных исследований рекомендуется диагностирование моторно-осевых подшипников осуществлять по двум

параметрам.

1. По резонансной частоте собственных колебаний, зависящей от величины зазора δ_M между вкладышами МОП и шейкой оси. Поиск режима таких колебаний целесообразно осуществлять при плавном изменении частоты вращения кулачкового вала в диапазоне

$$n_{1p} = \frac{60 f_c}{z_k} = (66,5 - 39) \frac{об}{мин} \quad (12)$$

При известной величине n_{1p} рассчитанной величине

$$f_c = \frac{n_{1p} z_k}{60} = \frac{n_{1p}}{5} \text{ [Гц]} \quad (13)$$

может быть определено усредненное значение δ_M по формуле, вытекающей из зависимости (7)

$$\delta_M \approx \frac{13,3}{f_c^2} \text{ [мм]} \quad (14)$$

2. По величине амплитуд a_c вертикальных виброускорений шапки МОП от воздействия кулачкового механизма при фиксированной частоте вращения ω_1 кулачкового вала вне резонансных зон. В этом случае для расчета величины зазора δ_M может быть использована формула, вытекающая из (8)

$$\delta_M \approx \frac{\pi^2 a_c^2}{2k^2 \omega_1^4 z_k^4} \text{ [мм]} \quad (15)$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13

СТЕНДОВЫЕ УСТАНОВКИ И АППАРАТУРА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ (2 часа)

Для безразборного диагностирования колесно-моторных блоков тепловозов в настоящее время разработано два варианта конструкции диагностических стендов [3, 7,].

Вариант конструкции стенда [3] разработан сотрудниками кафедры подвижного состава ТашИИТ и Управления Среднеазиатской железной дороги. Этот стенд запущен в эксплуатацию в локомотивном депо Ташкент в конце 1977г. Подобные стенды запущены в эксплуатацию в локомотивном депо Ашхабад и на Ташкентском тепловозо-ремонтном заводе. Специфические особенности конструкции такого стенде заключаются в следующем.

1. Колесная пара диагностируемого КМБ при медленном движении тепловоза накатывается вершинами гребней бандажей на катки с профильными канавками (под верхнюю часть гребня бандажа) и в таком положении тепловоз останавливается.

При этом поверхности гребня бандажа каждого колеса тепловоза опирается на два катка в таком положении, когда между поверхностью круга катания бандажа и головок рельсов сохраняется зазор в 6 - 9 мм.

2. Каждые два катка, на которые опираются гребни бандажей колесных пар, напрессованы на катковые валы. Два катковых вала оперты каждый на два подшипника качения, наружные кольца которых в свою очередь установлены в корпусах подшипников. Катковые валы внутри рельсовой колеи и для обеспечения возможности их вращения часть подошвы рельсов в зоне расположения катков дополнительно срезанный.

В каждой подшипниковой опоре размещено по два подшипника качения последних закреплены к корпусу крышками, которые одновременно закрывают от попадания посторонних частиц в тела качения.

3. Корпусы подшипников катковых валов закреплены болтами к верхней плите стенда, которая совместно с катками может совершать продольные (вдоль пути) и угловые колебания относительно фундамента этого стенда. Для обеспечения таких колебаний верхняя плита оперта на среднюю со смещением относительно оси вращения колесной пары с одной стороны на шарнирную опору (продольная ось опоры перпендикулярна к продольной оси - рельсовой колеи), а с другой стороны - на упругую. В качестве упругой опоры использовано два пакета

тарельчатых пружин, рассчитанных на передачу половины статической нагрузки от колесной пары тепловоза на рельсы.

4. В свою очередь, средняя плита опирается на нижнюю плиту через катки круглого сечения. Размеры (диаметры, длина) катков и число их рядов (4-5) между средней и нижней плитами выбираются в зависимости от величины статической нагрузки от колесной пары на рельсы.

5. Нижняя плита жестко закрепляется к фундаменту, который выполнен внутри специальной канавы. Между нижней и средней плитами установлены специальные упругие элементы (пружины), ограничивающие продольные перемещения средней плиты относительно рельсового пути.

6. На катковых валах в их средней части (между опорами) напрессованы по две кулачковые профильные шайбы, с которыми при диагностировании моторно-осевых подшипников взаимодействуют ролики, закрепленные на осях к специальным толкателям. Оси симметрии шайб, в плоскостях перпендикулярных к осям вращения катковых валов, совмещены с серединами вкладышей моторно-осевых подшипников. Направляющие для толкателей размещены в специальных съемных корпусах, закрепляемых болтами к верхней плите стенда на период диагноза. Штоки толкателей при диагностировании упираются в нижнюю часть шапок моторно-осевых подшипников и при вращении катковых валов возбуждают вынужденные колебания и периодические соударения вкладышей моторно-осевых подшипников.

Направляющие для толкателей размещены в специальных съемных корпусах, закрепляемых болтами к верхней плите стенда на период диагноза. Штоки толкателей при диагностировании упираются в нижнюю часть шапок моторно-осевых подшипников и при вращении катковых валов возбуждают вынужденные колебания и периодические соударения вкладышей моторно-осевых подшипников с шейками оси колесной пары.

7. При диагностировании тяговый электродвигатель КМБ подключают к специальному источнику питания с плавнорегулируемым напряжением. Кабели от источника питания подключают к шунту килоамперметра тягового генератора и к неподвижной губке поездного контактора диагностируемого тягового электродвигателя. В зависимости от диагностируемого узла плавным регулированием напряжения достигают резонансных режимов вращения (см. разделы 1-3) вала якоря и осуществляют регистрацию величин виброускорений соответствующих точек поверхности статора или корпусов букс подшипников.

8. В процессе диагностирования в зависимости от напряжения, подведенного от источника питания к тяговому электродвигателю, колесная пара КМБ приводится во вращение с определенной скоростью. При этом ось вращения колесной пары начинает совершать горизонтальные (вдоль оси рельсового пути), вертикальные угловые колебания совместно с катками и катковыми валами относительно

фундамента стенда. Наличие этих колебаний в свою очередь, возбуждают импульсивные соударения деталей в якорных моторно-осевых, буксовых подшипниках, в зубьях шестерни и зубчатого колеса. В зависимости от частоты вращения вала якоря такие колебания могут быть резонансными для соответствующего подшипникового узла или зубчатой передачи, а именно на этом режиме осуществляется запись виброускорений. Последующая обработка виброграмм позволяет осуществить диагностирование технического состояния соответствующего узла.

9. Для осуществления диагностирования всех остальных КМБ необходимо осуществлять передвижку тепловоза, переключение источника питания и т.п.

Для выполнения диагностирования с использованием диагностических стендов [3, 7] рекомендуется комплект аппаратуры, состоящий из:

- измерителя шумов и вибраций ИВШ-1 (ПИ-6) в комплекте с датчиком виброускорений Д28. Этот прибор имеет диапазон измеряемых частот 0,01 - 12,5 кГц, пределы измеряемых ускорений 0,3 - 980 м/с², частоту фильтров

f_{ϕ} - 400 Гц;

- быстродействующего самописца типа НЗ38-6, регистрирующего виброграммы на бумажной ленте чернильными записями, имеющего диапазон регистрируемых частот С - 150 Гц, скорость протяжки бумаги I - 250 мм/с. В качестве регистрирующего прибора могут быть использованы самописцы другого типа и осциллографы магнитоэлектрические (с записью виброграмм на осциллографной бумаге).

Литература

1. Галкин В.Г., Парамзин В.П., Четвертов В.А. “Надежность тягового подвижного состава” Учеб. Пособие для вузов ж.д. трансп. М.: Транспорт 1981й. 184с.
2. Хомич А.З. и др “Диагностика и регулировка тепловозов” М.: Транспорт. 1980й.
3. Сидоров Н.И., Сидорова И.Н. “Как устроен и работает электровозов” М.: Транспорт 1980й.

СОДЕРЖАНИЕ:

Практическая работа № 1	
Выбор диагностических параметров.....	3
Практическая работа № 2	
Классификация методов диагностирования.....	10
Практическая работа № 3	
Средства измерений и их основные свойства.....	13
Практическая работа № 4	
Средства диагностирования и контроля.....	17
Практическая работа № 5	
Автоматизированная система диагностирования электровозов.....	21
Практическая работа № 6	
Автоматизированное рабочее место контроля и диагностики локомотивов.....	28
Практическая работа № 7	
Система ремонта на базе диагностики.....	32
Практическая работа № 8	
Новый измерительно - вычислительный комплекс с гибко изменяемой структурой.....	42
Практическая работа № 9	
Обоснование методики диагностирования тяговой зубчатой передачи колесно-моторных блоков электровозов.....	46
Практическая работа № 11	
Особенности диагностирования буксовых роликоподшипников.....	66
Практическая работа № 12	
Обоснование методики диагностирования моторно-осевых подшипников скольжения.....	69
Практическая работа № 13	
Стендовые установки и аппаратура для диагностирования колесно-моторных блоков.....	74

Редактор Мулламухамедов С.А.

Подписано в печать

Объем 1,3 п.л.

Формат бумаги 60 x 84 1/16

Кол-во – 30 экз.

Тиражировано в типографии ТашИИТ

Ташкент, улАдылходжаева, 1