

# КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА

В.Н. Лисунов, В.П.Смирнов

Приведены результаты исследования надежности электровозов при эксплуатации их в условиях Транссибирской магистрали. Установлено, что эксплуатация электровозов без системы регулирования тепловыми режимами оборудования увеличивает количество отказов в 1,5-3,5 раза.

Проведен системный анализ надежности предельно нагруженного оборудования электровоза – выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП), сглаживающих реакторов (СР), тяговых электродвигателей (ТЭД) и асинхронных вспомогательных машин (АВМ). Исследования показали, что наибольшее влияние на пробои изоляции ТЭД железных дорог Западной Сибири оказывает токовая нагрузка (температура нагрева изоляции) и ее характер (скорость нагрева изоляции). Зимой наблюдается интенсивное увлажнение состарившейся изоляции и ее пробой.

Установлено, что зависимости параметров потоков отказов двигателей  $\omega_{ТЭД}$  электровозов постоянного тока ВЛ10У и переменного тока ВЛ80Т, ВЛ80С, ВЛ80Р и их изоляции  $\omega_{из}$  от величины токовой нагрузки носят параболический характер. При значениях токов тягового двигателя, равных длительному режиму и менее наблюдается почти линейная зависимость  $\omega_{ТЭД}$ ,  $\omega_{из}$  от нагрузки (рис.1). В случае работы двигателей с токами, большими тока длительного режима, наблюдается резкое увеличение  $\omega_{ТЭД}$ ,  $\omega_{из}$ .

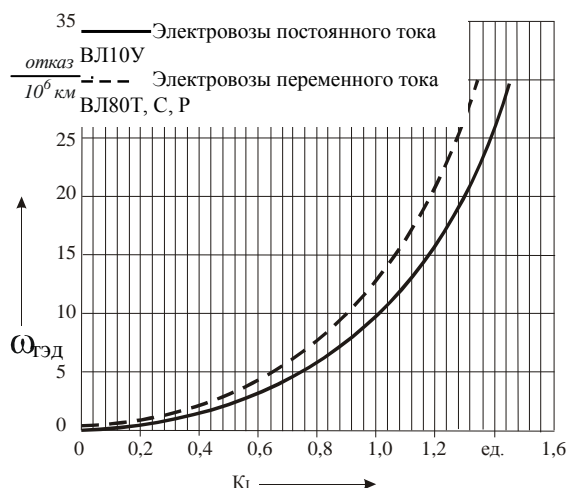


Рис.1. Зависимость параметра потока отказов ТЭД от коэффициента  $K_1$ , ( $K_1 = I_{cp}/I_{\infty}$  - где  $I_{cp}$ ,  $I_{\infty}$  - токи среднего и продолжительного режима)

Анализ показал, что надежность двигателей НБ-418К6 выше, чем НБ-514 почти в полтора раза. Отказы двигателей НБ-514

электровозов ВЛ85 северного направления Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) Тайшет-Таксимо (депо Вихревка – ТЧ9, Северобайкальск – ТЧ12) более, чем в два с половиной раза превышают отказы двигателей того же типа электровозов депо Нижнеудинск (ТЧ2) и Улан-Удэ (ТЧ7) южного направления Тайшет – Петровский Завод (рис.2). Это вызвано большей нагрузкой и продолжительностью эксплуатации в условиях низких температур воздуха двигателей северного направления. Аналогичная закономерность наблюдается и у двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80. Отказы НБ-418К6 северного направления более чем в три раза превышают отказы двигателей этого же типа южного направления дороги.

Таким образом, подтверждается закономерность по старению изоляции ТЭД, обусловленная не только превышением предельно допустимой температуры для данного класса изоляции, но и в большей степени превышением предельно допустимой скорости нагрева ее. Установлено, что отказы ТЭД электровозов Красноярской железной дороги (КярЖД) имеют аналогичный характер. Наибольшее количество отказов вызвано пробоем изоляции обмоток и круговыми огнями на коллекторах. Одной из причин, вызывающих круговой огонь на коллекторе является затягивание меди.

Выполнен анализ надежности АВМ пяти групп электровозов ВСЖД и КярЖД. У наиболее повреждаемых АВМ электровозов ВЛ85 депо Нижнеудинск отказы роторов находятся на уровне отказов статорных обмоток (рис. 3). Столь высокая доля выплавлений роторов двигателей АНЭ225 указывает на их работу в режиме, близком к режиму индукционного нагревателя. Установлено, что это вызвано отсутствием вентиляторов, вентиляционных каналов в листах ротора, скоса пазов ротора, открытием пазов ротора, а также неудовлетворительной защитой двигателей электро-тепловыми реле из-за значительного различия постоянных времени нагревания реле и АВМ.

## КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА

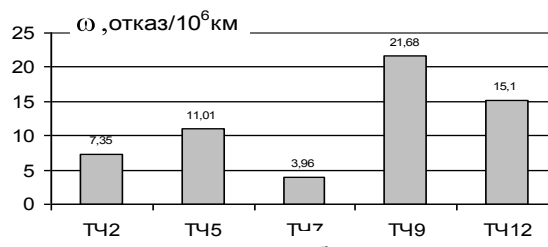
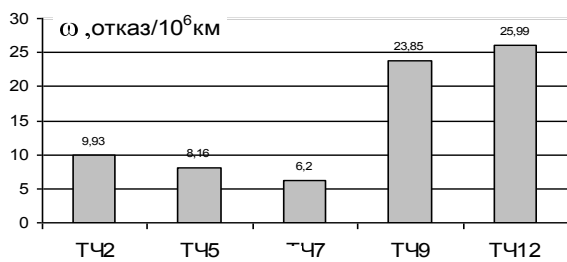
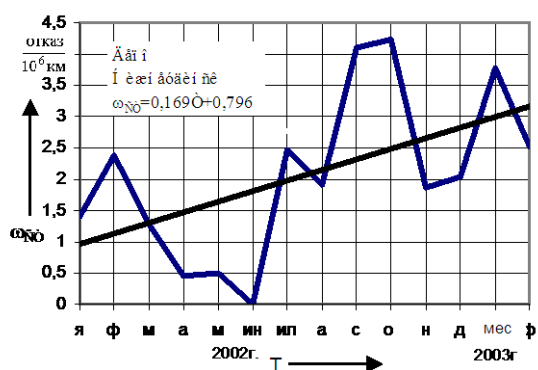
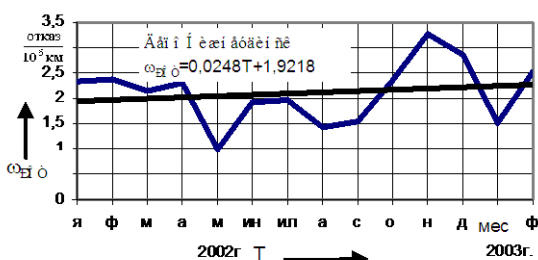


Рис. 2а,б. Надежность двигателей НБ-514 (а) и НБ-418К6(б)



а



б

Рис. 3а,б. Характер изменения параметров потоков отказов двигателей АНЭ225

Выявлено, что отказы выпрямительно-инверторных преобразователей электровозов ВЛ85 нередко обусловлены существенным превышением их температуры из-за значительной неравномерности вентиляции. Повышенный нагрев и колебания температуры ведут к ускоренному термомеханическому старению электронных приборов (ЭП), что проявляется в ухудшении их характеристик и последующем выходе из строя. При нарушении характеристик ЭП растет неравномерность распределения нагрузки оборудования электровоза, а также нарушается нормальная работа ВИП (броски тока) из-за помех, особенно в холодный период. При появлении бросков тока ВИП электровоз выводится из

эксплуатации. Наиболее часто отказы ВИП наблюдаются у электровозов ВЛ85 северного направления Тайшет-Таксимо ВСЖД (рис .4). Это свидетельствует о существенном влиянии внешних условий эксплуатации, и прежде всего температуры окружающей среды, на надежность преобразователей.

Установлено четырехкратное снижение расхода воздуха сглаживающих реакторов электровозов ВЛ85 по сравнению с аналогичными реакторами электровозов ВЛ80 при практически равных потерях. Испытания электровозов ВЛ85 свидетельствуют о снижении расхода воздуха у трети реакторов до значений, составляющих четверть и менее номинального значения. Выявлено, что при этом возможен перегрев реактора с его воспламенением. Наблюдается снижение надежности сглаживающих реакторов и в первую очередь электровозов ВЛ85. Часть перегревов реакторов вызвана перегрузкой по току, ослаблением крепления подводящих перемычек и уменьшением теплоотдачи из-за значительного загрязнения обмоток. Несмотря на то, что отказы сглаживающих реакторов составляют лишь несколько процентов отказов электровозов, они наиболее опасны, так как большая часть пожаров оборудования электровозов ВЛ85 вызывается именно ими.

Тяговые электродвигатели отечественных электровозов переменного тока не имеют защиты от перегрева. Условную защиту от превышения температуры осуществляют токовые реле и быстродействующие выключатели. Однако они имеют токи уставки, составляющие 1,7-2,2 номинального тока, и допускают чрезмерный перегрев изоляции двигателей. Электротепловые реле не срабатывают в большинстве случаев, вызывающих повышенный нагрев элементов АВМ. Нет контроля температуры СР и ВИП. В то же время противопожарная защита, установленная на электровозах ВЛ85, как показывает опыт эксплуатации, не эффективна.



Рис. 4. Динамика изменения показателя безотказности выпрямительно-инверторных преобразователей ВИП-4000 электровозов ВЛ85

Таким образом, анализ состояния электровозов ВСЖД свидетельствует об необходимости ввода непрерывного контроля и стабилизации температуры основного оборудования ТЭД, СР, ВИП и АВМ. Система непрерывного контроля и стабилизации температуры предельно нагруженного оборудования обеспечит минимально возможный тепловой и термомеханический износ изоляции обмоток ТЭД, АВМ, СР и тиристоры ВИП, оптимальные условия работы коллекторно-щеточного

узла ТЭД и ВИП, а также исключит переохлаждение элементов оборудования в зимний период эксплуатации.

Функционирование технологического процесса перегона железной дороги (ПЖД) с расчетным подъемом можно схематично представить как систему, состоящую из восьми последовательно соединенных элементов, отказы которых принято считать независимыми (рис. 5а).

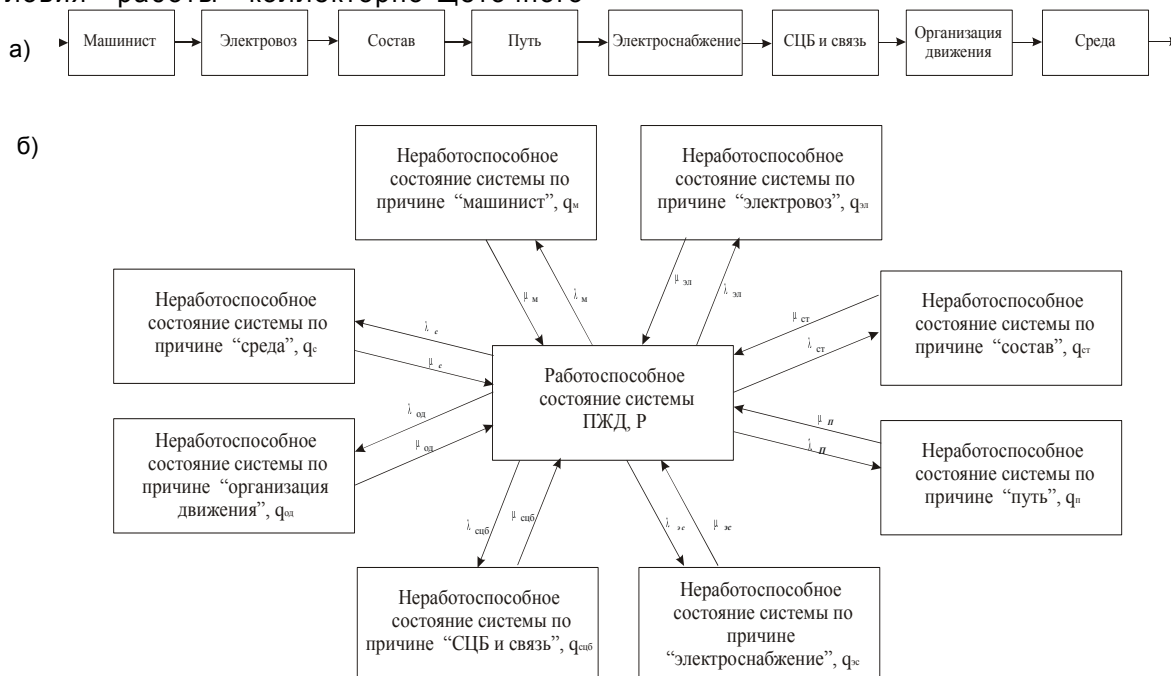


Рис. 5а, б: Схема (а) и граф состояний функционирования восьмизлементной системы перегона железной дороги (б)

Представив технологический процесс ПЖД глобальной кибернетической системой,

с позиций теории вероятностей, можно рассматривать его функционирование как поток

событий (отправление поезда с промежуточной станции, проследование сигналов, остановки поезда по техническим, технологическим и другим причинам и т.д.), наступающих поочередно одно за другим в случайные моменты времени, квалифицируя его как простейший, марковский процесс, с некоторым допущением, можно считать, что он обладает всеми свойствами случайного простейшего процесса: стационарностью; отсутствием последствия; ординарностью. Марковские процессы, протекающие в системе с дискретными состояниями и непрерывным временем характеризуются вероятностями состояний  $P(t)$ ,  $q_i(t)$  в любой момент времени  $t$ , которые определяются системой дифференциальных уравнений Колмогорова. Она составляется по мнемоническому правилу с использованием графа состояний (рис. 5 б)

$$\frac{dP(t)}{dt} = -P(t) \sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \mu_i q_i(t),$$

$$\frac{dq_i(t)}{dt} = \lambda_i P(t) - \mu_i q_i(t). \quad (1)$$

Эту систему решают при условиях, задающих вероятности состояний в начальный момент времени  $t = 0$ , и выполнении нормировочного условия

$$P + \sum_{i=1}^n q_i(t) = 1. \quad (2)$$

Если потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, стационарны ( $\lambda_i, \mu_i = const$ ), общее число состояний конечно и состояний без выхода нет, то существует предельный режим функционирования системы, характеризуемый предельными (финальными) вероятностями

$$q_i = \lim_{t \rightarrow \infty} q_i(t), \quad (i = \overline{1, n}). \quad (3)$$

Для установившегося режима функционирования технологической системы будем иметь следующее решение системы уравнений (1)

$$P = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_{эл}}{\mu_{эл}} + \frac{\lambda_{см}}{\mu_{см}} + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_{эс}}{\mu_{эс}} + \frac{\lambda_{сцб}}{\mu_{сцб}} + \frac{\lambda_{од}}{\mu_{од}} + \frac{\lambda_c}{\mu_c}},$$

$$q_m = \frac{\lambda_m}{\mu_m} \cdot P, q_{эл} = \frac{\lambda_{эл}}{\mu_{эл}} \cdot P, q_{см} = \frac{\lambda_{см}}{\mu_{см}} \cdot P, q_n = \frac{\lambda_n}{\mu_n} \cdot P,$$

$$q_{эс} = \frac{\lambda_{эс}}{\mu_{эс}} \cdot P, q_{сцб} = \frac{\lambda_{сцб}}{\mu_{сцб}} \cdot P, q_{од} = \frac{\lambda_{од}}{\mu_{од}} \cdot P, q_c = \frac{\lambda_c}{\mu_c} \cdot P, \quad (4)$$

где  $P$  – вероятность безотказной работы;  $q_i$  – вероятность отказов системы по соответствующим причинам:  $q_m$  – машиниста (локомотивной бригады);  $q_{эл}$  – электровоза;  $q_{см}$  – состава;  $q_n$  – пути;  $q_{эс}$  – электроснабжения;  $q_{сцб}$  – СЦБ и связи;  $q_{од}$  – организации движения;  $q_c$  – среды.

Интенсивности отказов  $\lambda_i$  и восстановлений  $\mu_i$  ПЖД по соответствующим причинам

$$\lambda_i = \frac{1}{t_\lambda^i}; \mu_i = \frac{1}{t_\mu^i}, \quad i = m, \text{эл}, \text{см}, n, \text{эс}, \text{сцб}, \text{од}, c, \quad (5)$$

где  $\overline{t_\lambda^m}, \overline{t_\lambda^{эл}}, \overline{t_\lambda^{см}}, \overline{t_\lambda^n}, \overline{t_\lambda^{эс}}, \overline{t_\lambda^{сцб}}, \overline{t_\lambda^{од}}, \overline{t_\lambda^c}$  – средняя продолжительность работы системы ПЖД до отказа по соответствующим причинам (наработка на отказ);  $\overline{t_\mu^m}, \overline{t_\mu^{эл}}, \overline{t_\mu^{см}}, \overline{t_\mu^n}, \overline{t_\mu^{эс}}, \overline{t_\mu^{сцб}}, \overline{t_\mu^{од}}, \overline{t_\mu^c}$  – средняя продолжительность нахождения системы в состоянии соответствующих отказов.

Как показывают данные об отказах перегонов с расчетными подъемами железных дорог Восточного региона наиболее уязвимыми элементами в глобальной системе ПЖД являются сложнейшая энергетическая кибернетическая система «электровоз», состоящая из тысяч деталей, нередко работающая с нагрузками, существенно превышающими номинальные и не менее сложная биологическая кибернетическая система «машинист» (локомотивная бригада) существенно, до 40-50% и более, изменяющая свою работоспособность (надежность функционирования) в течение суток. Определена надежность нормального функционирования электровоза при движении по расчетному подъему с поездом расчетной массы в штатном режиме работы –  $K_{11}, \omega_1 = \lambda_1$ , (рис. 6) и при отключении одного предаварийного силового блока (ВИП (ВУК), СР, два ТЭД) без остановки поезда по сигналу системы непрерывного контроля температуры –  $K_{12}, \omega_2 = \lambda_2$ . Установлено, что при движении в течении получаса до промежуточной станции надежность нормального функционирования электровоза осталась практически на одном и том же уровне.

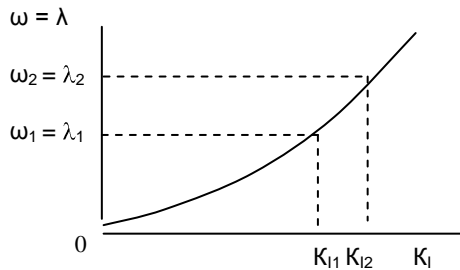


Рис. 6. Зависимость показателя безотказности электровоза от коэффициента использования по току

Таким образом, введение системы непрерывного контроля температуры предельно нагруженного оборудования обеспечивает высокий уровень надежности, как электровоза, так и всей системы «Перегон железной дороги».

Введение системы непрерывного контроля температуры оборудования электровоза увеличит информационную нагрузку на локомотивную бригаду и может снизить в целом надежность глобальной системы «машинист – электровоз – состав – путь – электроснабжение -СЦБ и связь - организация движения - среда». С целью повышения управляющей деятельности машиниста нами предлагается средство в виде оздоровительного чая, технология и техника производства которого разработана сотрудниками ИрГУПС. В основе технологии оздоровительного чая для локомотивных бригад заложено новое научное направление «Биоэлектромагнитоло-

гия». Это научное направление базируется на гипотезе о том, что жизнь зародилась и совершенствуется в результате постоянного информационно - энергетического обмена в природе.

Разработаны система, классификация, методы и средства температурного контроля предельно нагруженного оборудования электровозов переменного тока – узлов и элементов тяговых двигателей, сглаживающих реакторов, выпрямительно-инверторных преобразователей (выпрямительных установок), асинхронных вспомогательных машин. Теоретические, лабораторные и производственные исследования по внедрению элементов системы непрерывного контроля температуры предельно нагруженного оборудования электровоза показали, что введение системы уменьшает: отказы тяговых двигателей на 30-35%; отказы сглаживающих реакторов на 55-60%; отказы выпрямительно-инверторных преобразователей на 30-35%; отказы асинхронных вспомогательных машин на 35-40%; возгорания оборудования электровозов на 55-60%; затягивание меди коллекторов тяговых двигателей в 2,6-3,3 раза; количество круговых огней на коллекторах тяговых двигателей в 3,1-3,7 раза; износ коллекторов тяговых двигателей в 2,8-3,4 раза; износ щеток тяговых двигателей в 1,2-1,3 раза. Предложено средство для повышения управляющей деятельности машиниста и разработаны теория, технология и техника его получения.