

УДК 004.65:629.488

О МЕТОДИКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ АПК «БОРТ» ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТИВА

¹Четвергов В.А., ²Величко М.С., ³Мишин А.И., ²Сиряк П.А.

¹Омский государственный университет путей сообщения, Омск, e-mail: Chetvergova@mail.ru;

²ООО «Производственное конструкторско-технологическое предприятие «Транспорт», Омск;

³ООО «Научно-производственная фирма «Транспорт», Омск

Бортовые системы диагностирования тягового подвижного состава железнодорожного транспорта формирует поток измерительной информации. Эта информация архивируется на серверах, формируя базы данных. В дальнейшем она не используется в техническом диагностировании локомотивов. В статье описывается одна из возможных методик использования накопленной базы данных измерений параметров дизель-генераторной установки тепловозов комплексом АПК «Борт» для оценки технического состояния локомотива. Предложен проект методики использования накопленной базы данных измерений параметров дизель-генераторной установки тепловозов комплексом АПК «Борт» для оценки технического состояния локомотива. Методика предполагает наличие результатов статистической обработки результатов измерений, находящихся в базе данных (выбор закона распределения, оценки параметров, закономерности изменения параметров распределения). Поставлены задачи для дальнейших исследований по подготовке данных для реализации методики.

Ключевые слова: техническое диагностирование, экспериментальные статистические данные, диагностирование, распределение, методика

A METHOD OF USING HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX BORT DATABASE FOR LOCOMOTIVE TECHNICAL CONDITION EVALUATION

¹Chetvergova V.A., ²Velichko M.S., ³Mishin A.I., ²Siryak P.A.

¹Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: Chetvergova@mail.ru;

²OOO Manufacturing engineering and design enterprise «Transport», Omsk;

³OOO Scientific-production firm «Transport», Omsk

On-board locomotive diagnostics systems generates a stream of measurement information. This information is archived to form a database server. In the future it is not used in the technical diagnosis of locomotives. An article describes one of the possible methods of using accumulated database of locomotive diesel-generator set parameters measurements by hardware and software complex BORT to evaluate the technical condition of the locomotive. An article suggests one of the possible methods of using accumulated database of locomotive diesel-generator set parameters measurements by hardware and software complex BORT to evaluate the technical condition of the locomotive. The methods intends the availability of the results of statistical processing of measurement results stored in the database (choice of the distributive law, parameters estimation, regularities of variation of distribution parameters). The tasks for further research in data preparation for the implementation of the methodology are supplied.

Keywords: technical diagnosis, experimental statistic data, diagnostic, distribution, method

Более 3000 магистральных и маневровых тепловозов, находящихся в эксплуатации ОАО «РЖД», оснащены бортовым аппаратно-программным комплексом «Борт» (АПК «Борт»). Основное назначение комплекса – мониторинг баланса топлива на борту локомотива. Для выполнения этой функции, а также учета объемного и массового расхода топлива в соответствии с выполненной локомотивом работой, измеряется ряд параметров работы дизель-генераторной установки. К числу таких параметров относятся, в частности, напряжение и сила тока тягового генератора и вычисленная по этим величинам мощность.

С начала установки первых комплексов на локомотивы результаты измерений параметров архивировались. В итоге на сервере

предприятия изготовителя АПК «Борт» сформирована база данных. Однако данные базы в настоящее время из-за отсутствия методик не используются для мониторинга или оценки технического состояния локомотивов. Целью данной статьи является описание одного из вариантов методики использования накопленной в базе данных измерительной информации для мониторинга технического состояния локомотива и постановка задач на подготовку данных для использования этой методики. Предполагается, что статистические выборки сформированы на основе информации, находящейся в доступной для авторов базе данных измерительной информации АПК «Борт» и в соответствии с требованиями и технологией, описанной в статье [4].

Основные параметры, измеряемые АПК «Борт» на тепловозе ТЭМ2

Наименование параметра		Диапазон измерения или значение параметра	Основная относительная погрешность, не более, %	Допускаемая абсолютная погрешность, не более
Основные				
1. Ток тягового генератора, мВ/А		от 0 до 75 от 0 до 2000	1,0	
2. Напряжение тягового генератора, В		от 0 до 1000	1,0	
3. Мощность тягового генератора, кВт		от 0 до 900	1,5	
4. Масса топлива, кг		от 250 до 5800	0,7 (приведенная)	
5. Плотность топлива, кг/м ³	нижний предел, не менее	0,8 · 10 ³	0,5	
	верхний предел, не более	0,88 · 10 ³	0,5	
6. Давление масла после фильтра, МПа (кгс/см ²), не более		0,6 (6,0)	± 5	
7. Давление топлива, МПа (кгс/см ²), не более		0,6 (6,0)	± 5	
8. Температура воды контура охлаждения, °С		от 0 до 100		± 4 °С
9. Температура масла контура охлаждения, °С		от 0 до 100		± 4 °С
10. Температура топлива, °С	нижний предел, не менее	минус 40		± 1 °С
	верхний предел, не более	плюс 50		
11. Давление в тормозной магистрали МПа (кгс/см ²), не более		от 0 до 1 (от 0 до 10)	± 2,5	
12. Частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин, не более		2000	± 2	
Дополнительные				
13. Объем топлива, л		от 500 до 6000	0,5 (приведенная)	
14. Частота вращения вала турбины турбокомпрессора, об/мин, не более		2000	± 5	
15. Скорость тепловоза, км/ч, не более		160		
16. Позиция контроллера машиниста		8		
17. Температура окружающей среды, °	нижний предел, не менее	минус 40		± 4 °С
	верхний предел, не более	Плюс 50		

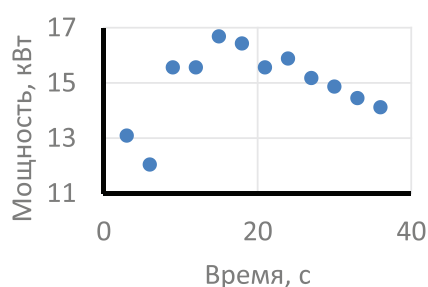


Рис. 1. Изменение мощности тягового генератора в течение переходного процесса

На момент начала работы по этой тематике основная масса АПК «Борт» была установлена на маневровые локомотивы ТЭМ2. В АПК «Борт» предусмотрено измерение силы тока I и напряжения U тягового генератора (ТГ) (в соответствии с таблицей). Мощность ТГ вычисляется $P = I * U$. Значение мощности записывается в файл

наряду с другими параметрами в виде целого числа в киловаттах. Округление в этом случае получается достаточно точным в рамках требований заказчика, но грубым при проведении статистических оценок. В этом случае необходимо принять значения мощности, как произведение предельных в файле соответствующих значений тока и напряжения.

Мощность тягового генератора локомотива P является случайной величиной. В каждом из выбранных переходных процессов она непостоянна (например, в соответствии с рис. 1). Характер ее изменения определяется не только номером позиции контроллера машиниста, но и внешними факторами: скоростью движения локомотива; нагрузкой; техническим состоянием элементов локомотива (дизеля, генератора, системы управления, тягового двигателя, ходовой части и т.п.).

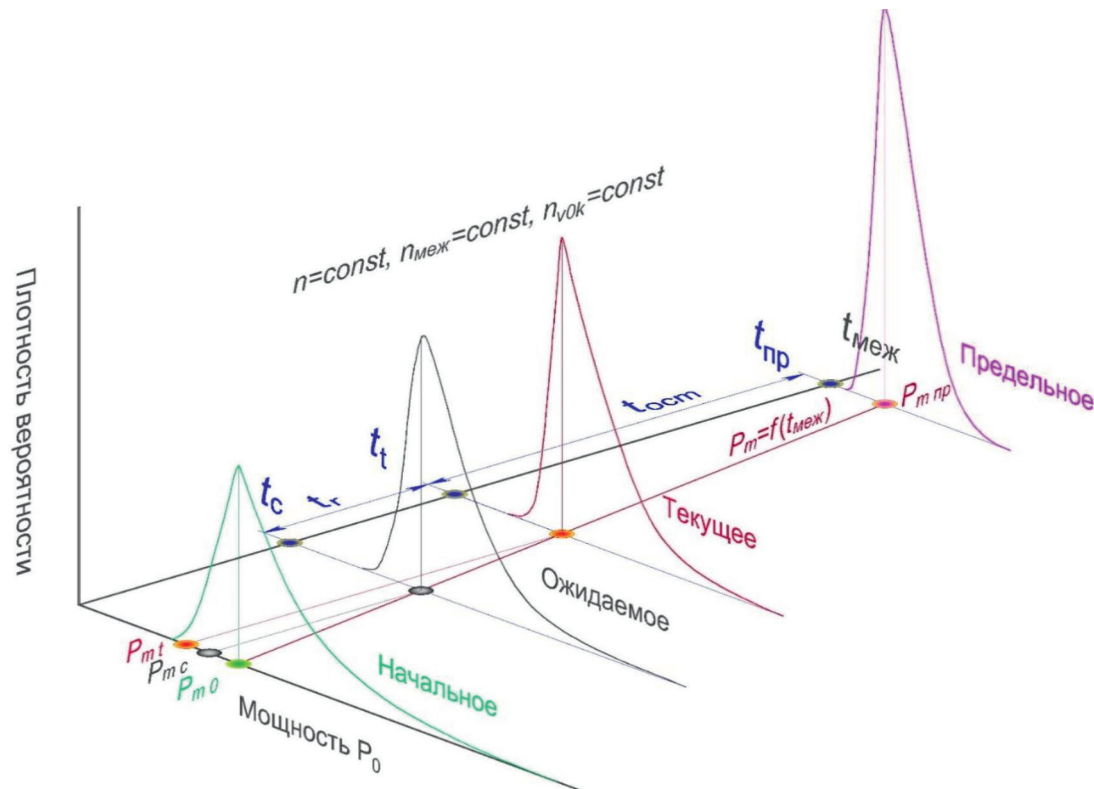


Рис. 2. Методика определения технического состояния локомотива

Под переходным процессом будем понимать процесс изменения выходных параметров тягового генератора (в частности – силы тока, напряжения, мощности) после включения n_i позиции контроллера машиниста. В работе [4] при отборе переходных процессов установлено требование – ток должен постоянно убывать. Этим определяется продолжительность отобранных переходных процессов. В данной работе не предусматривается задача установить статистическими или иными методами закономерность изменения P в каждом отдельном переходном процессе, а предлагается рассматривать изменение мощности тягового генератора P_0 , измеренной в начальный момент времени после установки контроллера машиниста в какую-либо позицию, на протяжении межремонтных периодов, определенных в [4]. После сортировки переходных процессов по позициям n_i , номеру межремонтного периода n_{mj} и номеру интервала начальной скорости $n_{v_{ok}}$ необходимо получить соответствующие выборки $P_0 = f(n_{i,j}, n_{mj}, n_{v_{ok}})$. Значение P_0 в момент начала переходного процесса (включения позиции n_i) будем называть начальной мощностью.

Пусть определен закон распределения начальной мощности и получены оценки его

по информации базы данных, полученной с помощью АПК «Борт». В этом случае формируются условия для построения семейства функций распределения $f_0(n, t_{мж}, n_{v_0}, P, \Theta)$ какой-либо случайной величины P или каких-либо величин в координатах «позиция n – номер интервала начальной скорости n_{mj} – номер интервала межремонтного периода $n_{v_{ok}}$ – межремонтная наработка $t_{мж}$ – плотность вероятности» (в соответствии с рис. 2). Здесь n – номер позиции контроллера машиниста; $t_{мж}$ – межремонтная наработка на межремонтном периоде $n_{mj} = const$; $n_{v_0} = const$ – номер интервала начальной скорости – измеренной скорости локомотива в первый промежуток времени записи данных бортовой системой после включения позиции n ; $\Theta(n, t_{мж}, V_0)$ – вектор параметров закона распределения.

В рассматриваемом случае случайной величиной P является начальная мощность P_0 – измеренная мощность в тот же момент времени, что и V_0 . Представленный рисунок соответствует условию $n = const$, $n_{v_0} = const$, $n_{mj} = const$, носит качественный характер и предназначен только для описания предлагаемой методики. Поэтому показаны лишь крайние функции плотности распределения $f_0(n, t_{мж}, n_{v_0}, P_0, \Theta)$ в начальный

момент при $t_{\text{меж}}[0, \dots, 36] = 0$ и конечное распределение при $t_{\text{меж}}[0, \dots, 36] = t_{\text{пр}} = 36$ мес., промежуточные функции при $t_{\text{меж}} = [0, \dots, t_{\text{пр}}]$ не показаны.

Совокупность случайных функций $f_0(n, t_{\text{меж}}, V_0, P_0, \Theta)$ – случайный процесс изменения начальной мощности [1] (при заданном номере позиции контроллера машиниста, номере межремонтного периода [4] и номере диапазона начальной скорости). Стационарность, эргодичность этого процесса в данной статье не рассматриваются. Если выполняются условия $n = \text{const}$, $m_{V_0} = \text{const}$, $n_{\text{меж}} = \text{const}$, то функция f_0 становится трехмерной, т.е. $f_0(t_{\text{меж}}[0, \dots, 36], P_0)$, а $\Theta(t_{\text{меж}})$ – двумерной.

Таким образом, совокупность функций f_0 есть статистическое отображение начальной мощности для множества локомотивов рассматриваемого типа на пространство описанных координат, характеризующее её эволюцию.

Методика использования f_0 заключается в том, что для каждого отдельного локомотива бортовой диагностической системой оцениваются параметры текущего распределения $\hat{F}_{n-V_0}$ при условии, что позиция контроллера машиниста постоянна, номер диапазона начальной скорости и межремонтного периода не изменяется, а межремонтная наработка t_i на определенном промежутке времени считается постоянной. Такой величиной t_i может быть, например, среднее значение наработки между началом и концом формирования репрезентативной выборки начальной мощности при $n = \text{const}$, $n_{V_0} = \text{const}$, $n_{\text{меж}} = \text{const}$, или середина трехмесячного интервала [4]. Необходимо, чтобы в каждом из выбранных интервалов для каждой позиции контроллера машиниста на промежутке времени мониторинга технического состояния имелось достаточное количество информации о переходных процессах [4]. Для выполнения этого условия 12 летний интервал от одного капитального ремонта маневрового тепловоза до следующего разбит на 48 интервалов m по три месяца. Выборки для оценки параметров распределения Θ формируются при мониторинге контролируемого параметра P_0 тягового генератора наблюдаемого локомотива. При накоплении достаточного объема выборки при межремонтной наработке t_i оцениваются каждый из параметров вектора $\Theta(t_i)$ текущей функции распределения $f_0 = \hat{F}_{n-V_0}(P_0, t_{\text{меж}})$ и характеристики выборки (например, моды).

В качестве параметра для сравнения закона распределения начальной мощности $\hat{F}_{n-V_0}$ наблюдаемого тепловоза и статисти-

ческого распределения для множества тепловозов f_0 могут выступать или коэффициенты α, β (например, для распределения Вейбулла – Гнеденко параметр масштаба и формы [3]) или характеристики выборки (распределения) (математическое ожидание, дисперсия, мода, медиана). Чувствительность и однозначность этих величин как диагностических признаков [2] должна быть оценена при разработке методики. Эти характеристики понимаются в соответствии с определениями, приведенными в [5]. В качестве примера параметром для сравнения выбрана мода P_m . В рассматриваемом примере предполагается также, что мода линейно зависит от межремонтной наработки. Реальный закон изменения P_m должен быть определен после оценки закона распределения P_0 .

Мода P_m распределения начальной мощности P_0 – величина начальной мощности, наиболее часто встречающаяся при фиксированной позиции контроллера машиниста, межремонтной наработке, номере диапазона начальной скорости P_0 . Мода показывает величину, свойственную значительной части совокупности ранжированных значений начальной мощности.

В рассматриваемом примере мода линейно изменяется на промежутке времени от $t_{\text{меж}} = 0$ до $t_{\text{меж}} = t_{\text{пр}}$, т.е. $P_m = f(t_{\text{меж}})$. Ожидаемое распределение – распределение P_0 с модой P_{m0} при текущем значении межремонтной наработки t_i , рассчитанное по оценке параметров распределения (например α, β), выполненной для множества локомотивов [4]. Текущее распределение – распределение P_0 с модой P_{mi} , полученное в результате обработки измерений мощности в ходе мониторинга параметров работы дизель-генераторной установки контролируемого локомотива бортовой системой диагностирования на промежутке времени $t_{\text{меж}} = [t_i - 1,5, \dots, t_i + 1,5]$ мес.

Если $P_{m0} \leq P_{mi}$, то тепловоз работоспособен и не требуется углубленного диагностирования, остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ достаточен для эксплуатации от t_i до $t_{\text{пр}}$. В противном случае как минимум необходимо этот локомотив отнести к группе риска.

В [4] обосновано принятие минимального периода межремонтной наработки для формирования выборки – 3 месяца. При этом принято допущение, что техническое состояние локомотива за такой промежуток времени изменяется незначительно. Поэтому, если $t_r = |t_{ic} - t_i|$ больше трех месяцев, то объект должен пройти углубленное диагностирование. Величина в три месяца является ориентировочной и подлежит уточнению.

Соотношение $P_{mc} > P_{mt}$ указывает на возможно недостаточный остаточный ресурс до очередного ремонта ТРЗ, СР, КР. Решение о необходимых ремонтных воздействиях на локомотив должно принимать после углубленного диагностирования.

Величина $t_{ост} = |t_{пр} - t_i|$ может служить косвенной оценкой остаточного ресурса локомотива по ДГУ.

Соотношения между P_{mc} , P_{mt} , t_c , t_i показаны в соответствии с примером на рис. 2 и должны быть уточнены после выбора закона распределения начальной мощности, оценки параметров распределения и определения характера изменения параметра распределения, принятого в качестве диагностического признака.

При расчете оценок коэффициентов α_c и β_c должно производиться исключение промахов. Наличие таких промахов, если АПК «Борт» работоспособен, свидетельствует о нарушении режимов эксплуатации или износе каких-либо систем локомотива больше среднестатистического уровня. В первом случае должны следовать организационные мероприятия, во втором – углубленное диагностирование.

На основании такого анализа может приниматься решение о необходимости ремонтных, организационных или других воздействий на локомотив или систему локомотива. Один из вариантов решения – углубленное диагностирование в стационарных условиях или специализированными мобильными диагностическими средствами.

Таким образом, функции распределения начальной мощности могут быть использованы для технического диагностирования дизель-генераторной установки локомотива. Закон и оценки параметров распределения начальной мощности для совокупности локомотивов может быть определен по архивным данным измерений параметров с помощью соответствующей бортовой системы. Распределение начальной мощности наблюдаемого тепловоза необходимо определять по результатам мониторинга контролируемого параметра в описанных условиях. Для получения результата технического диагностирования может использоваться совокупность распределений начальной мощностей, оценки параметров или

характеристик распределения. Для реализации предложенной методики использования информации базы данных измерительной информации бортовой диагностической системы рекомендуются направления дальнейших исследований:

1. Определение закона распределения начальной мощности P_0 для совокупности локомотивов, измерительная информация для которых была сохранена в базе данных за время эксплуатации АПК «Борт».
2. Удаление значений, являющихся выбросами (промахами).
3. Подтверждения соответствия выборки выбранному закону распределения.
4. Получение точечной оценки параметров закона распределения для отдельных позиций контроллера машиниста, номеров интервалов начальной скорости и межремонтной наработки.
5. Оценка достоверности аппроксимации законом распределения статистических данных.
6. Выбор сочетания номера позиции контроллера машиниста, номера интервала начальной скорости, для которых максимальна достоверность аппроксимации выбранным законом распределения статистических данных для совокупности локомотивов.
7. Обоснование рекомендаций по выбору закона распределения по результатам оценки достоверности аппроксимации.
8. Описание методики использования полученных оценок параметров закона распределения для оценки технического состояния локомотива.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. [Текст] // Е.С. Вентцель – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
2. ГОСТ 20911 – 89 Техническая диагностика. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 9 с.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. [Текст] // А.И. Кобзарь – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
4. Четвергов В.А. Нарботка локомотивов в едином временном пространстве [Текст] // В. А. Четвергов, А.И. Мишин, П.А. Сиряк // Известия Транссиба // Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2013. – № 2(14). – С. 37–45.
5. Юхименко В.Ф. Техническая эксплуатация силовых агрегатов и трансмиссий // В.Ф. Юхименко, ред. С.Г. Масленникова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://abc.vvsu.ru/books/tehn_akspil_sil_agreg/page0009.asp.