



Критерии надежности тепловозов



Алексей АБОЛМАСОВ

Alexey A. ABOLMASOV

В статье оценивается влияние идущей на железных дорогах России реформы на локомотивный комплекс, в котором происходят кардинальные изменения. Наиболее актуальное из них – перевод локомотивного парка на сервисное обслуживание в частные компании. В русле сложившихся тенденций автор описывает свои наработки (структурную схему и направление работ) по созданию автоматизированной системы управления надежностью тепловозов. Одновременно обосновываются критерии, важные для системных построений сервисного обслуживания и мониторинга технического состояния подвижного состава. В анализе используется математический аппарат, находят отражение теоретические и методические материалы, стандарты управления качеством.

Ключевые слова: железная дорога, надежность тепловозов, локомотивное хозяйство, отказ, коэффициент технической готовности, мониторинг, сервисное обслуживание.

Аболмасов Алексей Александрович – аспирант кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Постоянной и обязательной задачей локомотивного хозяйства железных дорог остается доведение технических показателей тягового подвижного состава до требований технических условий и снижение количества отказов в работе, а также сокращение времени их устранения. Основными инструментами повышения коэффициента технической готовности и надежности локомотивов является контроль за соблюдением технологии обслуживания и ремонта, совершенствование системы материально-технического обеспечения ремонтных предприятий, мониторинг технического состояния подвижного состава с помощью средств бортовой и стационарной диагностики.

Внедрение методов математического анализа и статистики в мониторинг позволяет строить тренды и с их помощью со значительной точностью прогнозировать дальнейшее развитие той или иной ситуации. В целом же управление надежностью помогает совместить преимущества плано-предупредительной системы технического обслуживания и возможности оперативного реагирования на происходящие события за счёт более

полного использования информации, получаемой в процессе бортовой диагностики.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ

Для управления надежностью в ОАО «РЖД» создана информационная система учета отказов технических средств «КА-САНТ». Она использует понятие «критерий отказа» — признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Критичность отказа определена как совокупность признаков, характеризующих последствия отказа. Нарушения безопасности движения в поездной и маневровой работе раньше классифицировались как крушения поездов; аварии; особые случаи брака в работе; случаи брака (теперь термин «брак» официально не используется). Отказ в соответствии с ГОСТ 27.002-89 считается событием, влекущим за собой нарушение работоспособного состояния объекта. Введена классификация отказов — эксплуатационные, производственные, конструктивные, деградационные и др., а также категории отказов.

В зависимости от последствий отказов они делятся по категориям:

Отказ 1-й категории: приводит к задержке пассажирского или пригородного поезда на 6 минут и более, грузового поезда на перегоне (станции) на 1 час и более либо предполагает случаи нарушения безопасности движения в поездной или маневровой работе.

Отказ 2-й категории: приводит к задержке грузового поезда на перегоне (станции) продолжительностью от 6 минут до 1 часа, или когда оказанное воздействие ухудшило эксплуатационные показатели, исключая задержки поездов, относящиеся к отказам 1-й категории.

Отказ 3-й категории: не имеет последствий, относящихся к отказам 1-й и 2-й категорий; учет данных отказов производится в рамках автоматизированных систем управления хозяйств.

Критерием отказа в локомотивном хозяйстве является любое из следующих событий:

— невыполнение графика движения поездов (масса, скорость, время хода по участкам и стоянок за одну поездку);

— восстановление работоспособности локомотива (его сборочных единиц и деталей) локомотивной бригадой в пути следования без нарушения графика движения поездов;

— необходимость выполнения непланового ремонта;

— превышение установленного объема работ (восстановление, замена, регулировка) любой сборочной единицы локомотива на плановом техническом обслуживании или ремонте, вызывающее превышение нормы простоя или трудоемкости ремонта локомотивов, если это восстановление, замена и регулировка не входит в объем обязательных работ [3].

Использование информации из КА-САНТ желательно, однако следует отметить, что понятие отказа не считается основным показателем в системе управления надежностью, поскольку он очень неточно отражает свое влияние на перевозочный процесс. Именно поэтому в дирекции по управлению движением задумались над этим вопросом и используют в качестве такого показателя «потерянные поездочасы», хотя еще правильнее было бы брать в расчет «потерянные тонно-км брутто», т. е. количество непереvezённых грузов, ведь это упущенная компаниями прибыль.

Поэтому базовыми показателями в системе управления надежностью локомотивного хозяйства должны быть: коэффициент технической готовности (КТГ), потерянные поездочасы, задержка поездов, простой на различных видах ремонта, стоимость восстановления работоспособности и др.

Для управления надежностью локомотивов предлагается применять хорошо зарекомендовавший себя в ОАО «РЖД» стандарт ITIL (ISO20000), использованный, в частности, при разработке единой системы мониторинга и администрирования (ЕСМА) сети связи холдинга (разработчик ЗАО «Трансетель», г. Нижний Новгород). В качестве программной среды при этом предлагается комплекс программ автоматизированной системы управления надежностью в локомотивном хозяйстве (АСУТ) (разработчик ЗАО «Инфоком») [4].



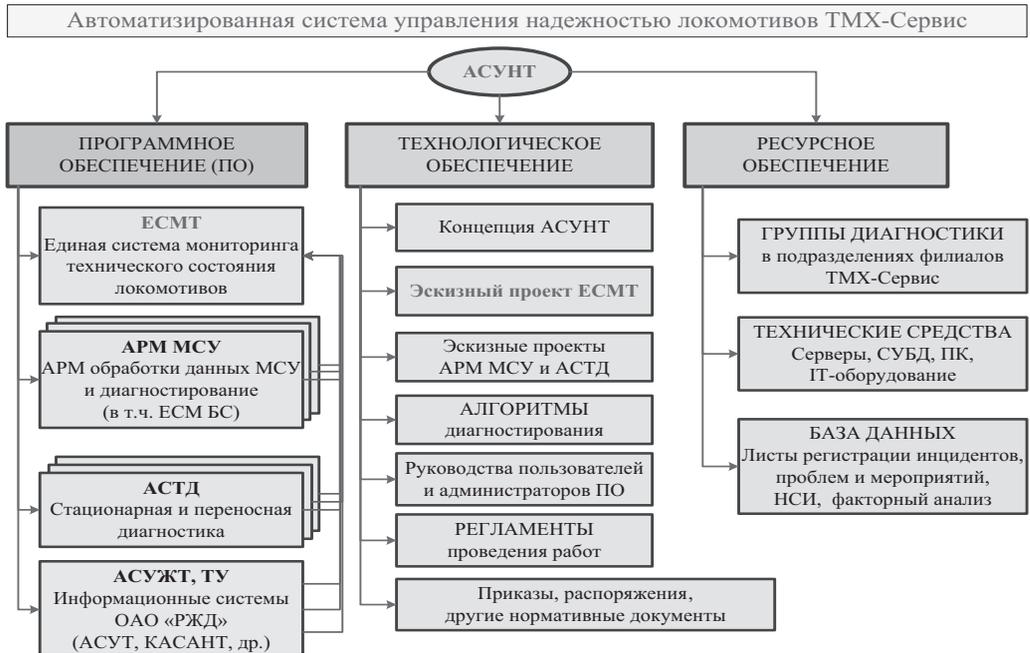


Рис. 1. Структурная схема АСУНТ «ТМХ-Сервис».

Fig. 1. Structural diagram of ASUNT (automatic control system of reliability for locomotive facilities) "TMH-Service".

Управление инцидентами (Incident Management). Каждый инцидент должен быть зафиксирован ЕСМТ, которая создается в ТМХ–Сервис. Причем фиксируется информация всего жизненного цикла инцидента. На ее основании производится разбор причин возникновения ситуации, выявляются корневые системные проблемы и устраняются, чтобы свести до минимума последствия инцидента.

Пилот-проект системы управления инцидентами реализуется как вертикаль управления исполнительного аппарата ТМХ–Сервис (департамент научно-технического развития) и филиалы, где обеспечивается мониторинг технического состояния.

Управление проблемами (Problems Management). Реализуется в автоматизированной системе управления надежностью в локомотивном хозяйстве как статистическая и аналитическая надстройка над системой управления инцидентами. Представляет собой совокупность алгоритмов, позволяющих проанализировать данные, накопленные в ходе работы с инцидентами.

Включает анализ тенденций и контроль известных ошибок с расчетом на устранение их источников в долговременной пер-

спективе. Применительно к локомотивам предусматривается комплексный факторный подход к информации об инцидентах, выявление и устранение узких и затратных мест технологического процесса [1].

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА

Автор участвует в разработке автоматизированной системы управления надежностью в локомотивном хозяйстве, которая будет внедряться в ООО «ТМХ–Сервис». Задача заключается в математическом и алгоритмическом сопровождении системы, внедрении требований стандартов ОАО «РЖД» в области качества и надежности, отладке информационных технологий.

Основополагающий принцип построения системы управления надежностью локомотивов – постоянное улучшение. Этот принцип зафиксирован в международном стандарте качества ISO 9000, национальном ГОСТ Р ИСО 9000–2001, функциональной стратегии управления качеством и безопасностью ОАО «РЖД» [3].

Основы управления по принципу постоянного улучшения были заложены еще в 30-е годы XX века Уолтером Шухартом (Bell Laboratories). Его система «статистического контроля качества» предполагала,

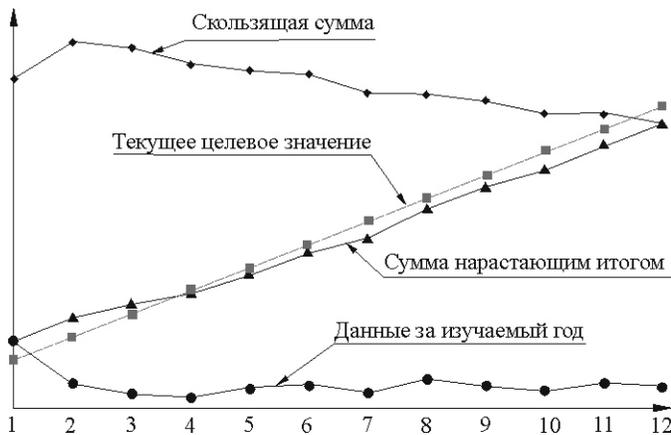


Рис. 2. Пример Z-графика.

Pic.2. An example of Z-graph.

что дефекты есть и будут. Надо только зафиксировать их текущее количество, ввести статистический учет, планомерно выявлять причины появления и регулярно проводить мероприятия по повышению качества продукции.

Его последователь Эдвард Деминг создал теорию вариабельности в производстве, применил системный подход, известный как «Цикл Деминга» или цикл PDCA (Plan, Do, Check, Act) – «планируй, осуществляй (исполняй), проверяй результат, действуй (корректировка результатов)». Методика цикла предполагает возобновление действий по решению проблемы следующего уровня после завершения предыдущего в отношении проблемы более низкого порядка.

С учетом постановки задачи создания АСУНТ и очевидного прогресса информационных систем АСУЖТ (обобщенное название совокупности программных средств, используемых на железнодорожном транспорте, прежде всего АСУТ) автором разработаны структурная схема (рис. 1) и концептуальный подход к формированию АСУНТ:

1. Предполагается создание локальных систем мониторинга технического состояния локомотивов по данным бортовых микропроцессоров. При этом необходима адаптация программного обеспечения АРМ производителей МСУ.

2. Намечена разработка совместно с ООО «АВП Технология» эскизного проекта программного обеспечения АСУНТ – единой системы мониторинга технического состояния локомотивов (ЕСМТ), которая позволит реализовать управление

надежностью с использованием методологических подходов стандартов ITIL и ISO20000, а также всех стандартов России и ОАО «РЖД» в области управления надежностью и качеством технического обслуживания.

3. Планируется правление надежностью на базе информационно-управляющей системы ЕСМТ в режиме ручного ввода данных. Постепенно развивается ее функциональность, расширяется зона охвата.

4. На информационной базе ЕСМТ создается система статистического факторного анализа с выводом обработанной информации в виде таблиц и визуальных элементов (графиков, гистограмм и др.).

5. Ведется доводка автоматизированных рабочих мест для получения диагностических данных с микропроцессорных систем управления локомотивов (АРМ МСУ), создается технология взаимодействия с автоматизированными диагностическими комплексами (АСТД) – микропроцессорными и компьютерными, стационарными и переносными.

6. Производится стыковка используемых элементов в единую автоматизированную систему управления надежностью локомотивов [5].

Z-ГРАФИКИ

Метод полезен для контроля тенденций развития процессов на этапе анализа эффективности проектов и выявления необходимости инноваций. На рис. 2 приведен пример Z-графика.

Графическое представление информации (как правило, в зависимости от времени) позволяет визуально определить нали-



Рис. 3. Пример определения диапазона variability Z-графика.

Fig. 3. Example of determining the range of variability of Z-graph.

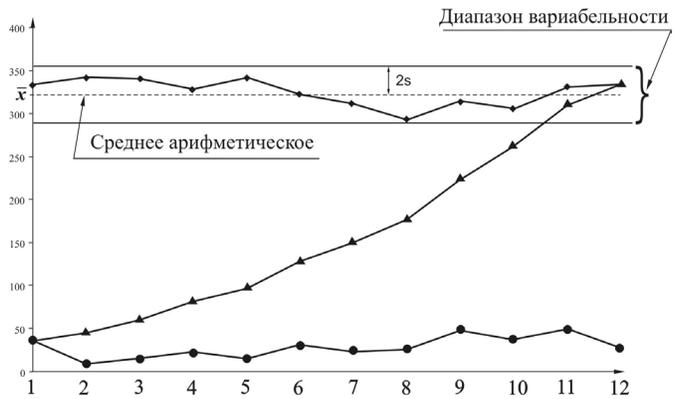
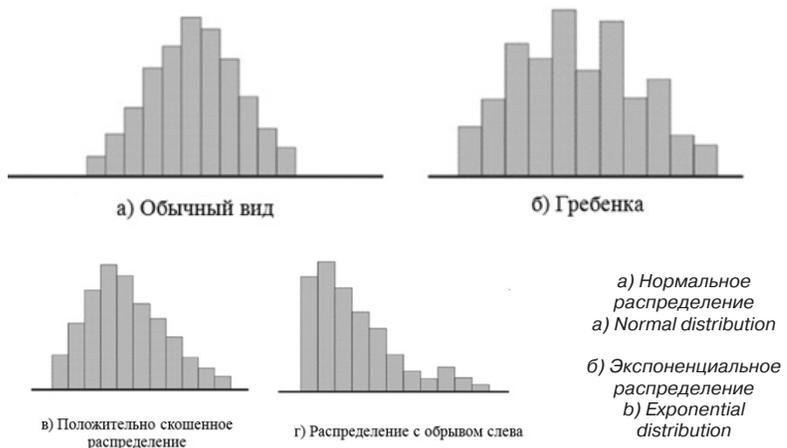


Рис. 4. Примеры распределения.

Fig. 4. Examples of distribution.



чие закономерности. Выявление тренда (общей тенденции при разнонаправленном движении, выраженной общей направленности изменения показателя во времени) — главная задача Z-графиков. Если в этом есть потребность, оценивают диапазон variability по завершению изучаемого периода времени.

Значения показателя в разные моменты времени различны, поскольку на любой показатель влияют факторы, меняющиеся во времени. Различия в значениях могут быть большими, а могут быть неизмеримо малыми, но они всегда присутствуют (исключение составляют дискретные величины, например, количество перевезенных пассажиров, такие величины могут точно совпадать).

Диапазон variability отражает пределы, в которых с большой вероятностью и далее будут находиться значения скользящих сумм и суммарное значение показателя за год, если система влияющих на показатель факторов в среднем не изменится. Причем вероятность того, что зна-

чения скользящих сумм будут лежать выше (ниже) середины этого диапазона — равна 0,5. Вероятность получения определенных значений при приближении к границам этого диапазона уменьшается. Для того чтобы с большой вероятностью получить значения за пределами этого диапазона, следует внести изменения в систему влияющих факторов.

— Определяем *max* и *min* полученных данных.

— Определяем среднее арифметическое по формуле:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

— выборочное стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

— диапазон variability:

$$\{\bar{x} - k \cdot s; \bar{x} + k \cdot s\} \quad (3)$$

(k обычно принимается равное 2).

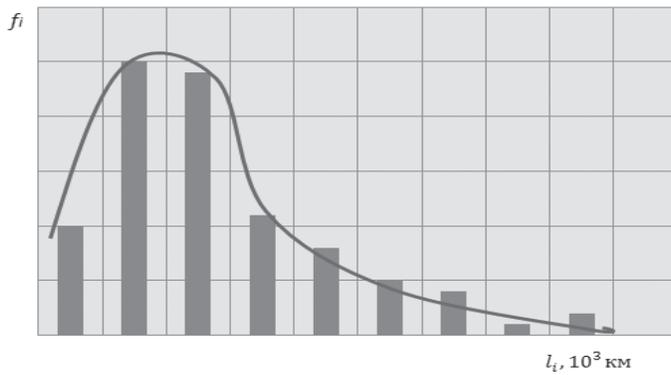


Рис. 5. Приближенное нормальное распределение.

Pic. 5. Approximate normal distribution.

Z-график помогает отследить динамику отказов, в том числе их случаи в локомотивном комплексе (рис. 3) [6].

НОРМАЛЬНЫЙ ЗАКОН

Гистограммы позволяют наглядно видеть характер распределения случайной величины, визуальнo оценивать репрезентативность выборки, бороться со «средней температурой по больнице». Построение гистограмм полезно на всех этапах анализа данных.

В ОАО «РЖД» основные показатели не проверяются на закон распределения случайной величины (рис. 4).

Для более точного анализа необходимо проверить исходные данные на соответствие одному из законов распределения случайной величины. Главный из них – это нормальное распределение или распределение Гаусса. Строго говоря, о среднем значении величины можно говорить только в случае, если она подчиняется нормальному распределению.

Для оценки параметра необходимо взять не одно значение x_i , а выборку из n значений (объем выборки). Среднее значение μ (математическое ожидание) определяется по формуле [2]:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum x_i. \quad (4)$$

Оценку разброса показателя вокруг среднего значения оценивают по среднеквадратичному отклонению (СКО) σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{(n-1)}}. \quad (5)$$

Если распределение является нормальным, то оно будет иметь следующую функцию распределения случайной величины $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

На рис. 5 приведен пример статистических данных, полученных из локомотивного депо Тынды Дальневосточной дирекции тяги за 2011 год по неплановым ремонтам тепловозов (из-за неисправностей цилиндра-поршневой группы) серии 2ТЭ10М с дизелем типа 10Д100.

Для проверки допустимости (проверка гипотезы) использования нормального закона (или любого другого) к полученным данным существует ряд методов, наиболее часто употребляемым из которых является проверка по критерию Пирсона (критерий χ^2) [7].

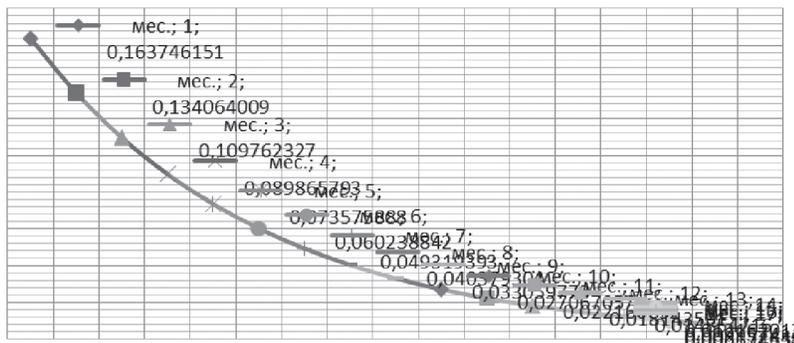


Рис. 6. Приближенное экспоненциальное распределение.

Pic. 6. Approximate exponential distribution.





ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ ЗАКОН

Наряду с нормальным распределением большое распространение имеет экспоненциальный (показательный) закон распределения, особенно в задачах управления надежностью [2].

Случайная величина x имеет показательный закон распределения с параметром λ , если ее плотность вероятности $f(x)$ для $x > 0$ имеет вид:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (7)$$

а закон распределения:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (8)$$

При этом среднее значение μ (математическое ожидание) определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

Приведем пример. Если оборудование отказывает в среднем раз в 5 месяцев, то $\lambda = 12/5 = 2,4$, а распределение будет соответствовать графику на рис.6. Тогда вероятность того, что оборудование откажет в течение месяца, будет:

$$Q_1 = 1 - e^{-\lambda x} = 1 - e^{-2,4 \cdot \frac{1}{12}} = 0,18 \quad (10)$$

а за год:

$$Q_{год} = 1 - e^{-2,4 \cdot 1} = 0,91 \quad (11)$$

Применительно к тяговому подвижному составу принято брать распределение величины не во времени, а в пробеге. Тогда по оси абсцисс будет отложено не время, а километры (10 тыс. км, млн км и др.).

ВЫВОДЫ

По мнению автора, создание АСУНТ позволит на практике использовать математические и логические методы теории надежности и управления качеством в режиме on-line непосредственно на рабочих местах руководителей и специалистов железнодорожного транспорта. При этом «сложная математика» будет «защита» в программу, и конечный пользователь системы сможет извлекать из накопленной статистики (по проблемам и инцидентам) всю интересующую его информацию в обработанном по всем правилам статистики виде.

Представленные материалы помогут получить на выходе конечного информационно-аналитического продукта возможность значительно повысить надежность тягового подвижного состава железных дорог России за счет реализации передовых научно-технических методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев В. И., Лакин И. К. и др. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава: Учеб. пособие. – М.: Маршрут, 2012. – 578 с.
2. Четвергов В. А., Пузанков А. Д. Надежность локомотивов: Учебник. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.
3. Нормативная документация ОАО «РЖД» по управлению качеством.
4. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ/Под ред. И. К. Лакина. – М.: ОЦВ, 2002. – 515 с.
5. Концепция автоматизированной системы управления надежностью локомотивов (АСУНТ). – М.: ООО «ГМХ–Сервис», 2012. – 159 с.
6. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.6 Методы и инструменты улучшений. Z-график и исследование вариабельности. – М., 2009.
7. Стандарт ОАО «РЖД». СТК 1.05.515.5 Методы и инструменты улучшений. Исследование разброса параметра. Гистограммы. – М., 2009. ●

RELIABILITY CRITERIA OF DIESEL-ELECTRIC LOCOMOTIVES

Abolmasov, Alexey A. – Ph.D. student of the department of locomotives and locomotive facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

In the article the author assesses the impact of current reform of Russian railways on locomotive complex, where dramatic changes occur. The most challenging of them is shifting locomotive park service functions to private service organizations. In line with the prevailing trends, the author describes his groundwork (block diagram and aspects of work) to create an Automatical system of locomotive set reliability control (ASUNT). Simultaneously, criteria important for system building of service maintenance and monitoring of technical state of rolling stock are justified. In the analysis mathematical techniques

are used, theoretical and methodological materials, quality management standards are reflected.

ENGLISH SUMMARY

Background

Permanent and mandatory task of locomotive economy on railways is bringing technical indicators of traction rolling stock to specification requirements and reducing the number of failures, as well as reducing the time to eliminate them. The main technical tools for improving the coefficient of availability and reliability of locomotives are monitoring compliance with technology maintenance and repair, improvement