

УДК 629.488

Белецкий Ю. В.

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ МОДЕРНИЗОВАННЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с повышением достоверности расчета надежности модернизированных маневровых тепловозов. Указаны пути совершенствования методологии определения безотказности железнодорожного подвижного состава, что повышает адекватность моделирования систем содержания локомотивов.*

Экономический кризис последнего десятилетия в значительной степени ограничил возможность реновации вновь построенными локомотивами парка тягового подвижного состава (ТПС) ведущих в отношении железнодорожного транспорта стран мира, и одновременно актуализовал модернизацию морально устаревших, низкоэкономичных в аспекте рядовой эксплуатации серий более прогрессивными агрегатами, системами и узлами современного уровня технического совершенства и надежности. Следует отметить, что параллельно происходят процессы минимизации количества эксплуатируемых активных единиц ТПС, кадрового состава и производственных мощностей ремонтно-обслуживающей инфраструктуры ж/д транспорта. Таким образом, дальнейший рост его материально-производственных составляющих и их влияния на коэффициент готовности и эксплуатационную надежность локомотивов расцениваются, как не отвечающие современным требованиям к интенсификации использования подвижного состава. На фоне этого первоочередными задачами выглядит усиление и активизация использования информационной компоненты системы содержания ТПС.

Однако, модернизированные тепловозы ввиду разного технического уровня их узлов и агрегатов, а также недостаточного опыта эксплуатации нуждаются при прогнозировании уровня их надежности на разных этапах эксплуатационно-ремонтного цикла в привлечении заимствованных сведений относительно результатов эксплуатации идентичных узлов и агрегатов на других сериях тепловозов, а также информацию разного рода, имеющуюся в соответствующих литературно-технических источниках, в том числе, априорную информацию и экспертные оценки. Результаты такого рода изысканий в отношении тепловоза ЧМЭЗП до первого технического воздействия высокого ранга – ТОЗ представлены в табл. 1. При этом показатель надежности приведен как характерный для группы элементов, например, электродвигатели, поскольку их соединение при расчете безотказности следует рассматривать как последовательное, без дублирования элементов. В этом случае использование существующего формального подхода [1, 2] к определению надежности технических многоэлементных систем транспортных средств любого уровня состоит в использовании классического соотношения между вероятностью безотказного состояния системы  $P_c$  и безотказностью  $P_i$   $n$  ее функциональных элементов  $P_c = \prod_{i=1}^n P_i$  (1)

что представляется в определенной степени сомнительным.

Это соотношение, очевидно, является слишком простым и ни в коем случае не отражает эксплуатационное поведение таких сложных технических систем как, например, локомотив. Мало того, практические расчеты с его использованием в отношении локомотивов приводят к несколько парадоксальным результатам. Так, при безотказности элементов систем локомотива (например, представленных в табл. 1) на уровне 96% вероятность безотказной работы тепловоза составит всего ~ 0,4, а при 0,97 ~ 0,5, 0,98 ~ 0,63 и лишь при 0,99 получится более-менее приемлемый уровень ~ 0,8. Такое соответствие, очевидно, не отвечает действительному порядку вещей. Нетрудно понять причины этого. Столь сложные системы как тепловоз в процессе эксплуатации периодически подвергаются процедурам технического обслуживания и ремонта оборудования разного уровня, логически увязанных в систему содержания. Иными словами, направленность стратегии системы содержания – это исключение отказов ПС. Однако при разложении выражения (1) по степеням влияния вероятностей отказов элементов  $q_i$  на отказ

$$P_c = \prod_{i=1}^n P_i = 1 - Q_c = \left( 1 - q_1 P_2 P_3 \dots P_n + q_2 P_1 P_3 \dots P_n + \dots + \frac{q_1 P_1 P_2 \dots P_i \dots P_n}{P_i} + \dots + \frac{q_n P_1 P_2 \dots P_i \dots P_n}{P_n} + \dots \right. \\ \left. + \frac{q_1 q_2 P_1 P_2 \dots P_i \dots P_n}{P_1 P_2} + \frac{q_1 q_3 P_1 P_2 \dots P_i \dots P_n}{P_1 P_3} + \dots + \frac{q_1 q_j P_1 P_2 \dots P_i P_j \dots P_n}{P_1 P_j} + \dots \right. \\ \left. + \frac{q_1 q_j \dots q_k \dots q_n}{q_k} \cdot \frac{P_1 P_2 \dots P_k \dots P_n}{P_1 P_2 \dots P_n} + \dots + q_i q_j \dots q_k \dots q_n \right) \quad (2)$$

выясняется, что левая часть данного выражения корректна только при учете всех компонентов

правой части формулы (2). Таким образом, несмотря на кажущуюся очевидность, соотношение (1), оказывается, подразумевает даже возможность отказа одновременно **всех** элементов системы, что, учитывая применение системы содержания ПС, представляется в достаточной степени невозможным. Например, для системы из трех элементов

$$Q_c = q_1 P_2 P_3 + q_2 P_1 P_3 + q_3 P_1 P_2 + q_1 q_2 P_3 + q_1 q_3 P_2 + q_2 q_3 P_1 + q_1 q_2 q_3 \quad (3)$$

Таким образом, соотношение (3), вытекающее из (2), идентичного (1), (что доказывается вполне тривиально), оказывается, подразумевает возможность отказа одновременно всех трех элементов системы (из трех), что, учитывая применение системы содержания ПС, выглядит нереальным. Очевидно, исходя из тех же соображений, следует также исключить и возможность одновременного отказа двух элементов в системах оборудования локомотивов с элементным составом до 8...10 ед. (по крайней мере, до этапа ТОЗ). Указанные выше положения служат основными постулатами выдвигаемой гипотезы. В соответствии с принятыми положениями формула (3) должна быть записана в следующем виде:  $Q_c = q_1 P_2 P_3 + q_2 P_1 P_3 + q_3 P_1 P_2$ .

Для повышения адекватности результатов прогнозирования уровня надежности модернизированных локомотивов при недостатке сведений, связанных с их эксплуатацией, было предложено выражение для определения безотказности систем оборудования из n элементов, получение которого и являлось основной целью данных исследований:

$$P_c = 1 - \sum_{i=1}^n q_i \frac{P_1 P_2 \dots P_i \dots P_n}{P_i} \quad (4)$$

Следует отметить, что данное выражение, по сути, соответствует формуле полной вероятности отказа с гипотезами  $H_i Q(A) = \sum_{i=1}^n Q(H_i) Q(A/H_i)$  или, при принятых обозначениях:  $Q_c = \sum_{k=1}^n P(q_k) \cdot q_k$ .

при определении гипотезы  $P(H_i) = P(q_k)$  как произведения безотказностей элементов  $\prod_{i=1}^n \frac{P_i}{P_k}$  при 1-ой степени зависимости безотказности от отказов  $q_k$ , что не может быть расценено как случайное совпадение и в определенной степени подтверждает его корректность.

Таблица 1

Данные расчета показателей надежности маневровых локомотивов ЧМЭ и ЧМЭЗП (модернизированного) до проведения ТОЗ.

Системы тепловоза	№ элемента	Элемент системы	Безотказность элементов $P_c(ТОЗ)$		Безотказность подсистем $P_n(ТОЗ)$		Безотказность систем $P_c(ТОЗ)$		Гипотезы (норм.)		Безотказность локомотива (норм.)	
			ЧМЭЗ	ЧМЭЗП	ЧМЭЗ	ЧМЭЗП	ЧМЭЗ	ЧМЭЗП	ЧМЭЗ	ЧМЭЗП	ЧМЭЗ	ЧМЭЗП
1. Ходовая часть	1	Рама тепловоза	0,99	0,995	$P_{1па} \downarrow$		0,87 6	0,880	0,26 0	0,447	0,81	0,89
	1	Автосцепное устройство	0,98	0,98	0,961	0,961						
	1	Ударопоглощающий аппарат	0,98	0,98								
	1	Рама тележки	0,99	0,99	0,99	0,99						
	1	Тормозная система	0,98	0,98	0,98	0,98						
	1	Буксовый узел с комплектом пружин	0,98	0,98	$P_{1пр} \downarrow$							
	1	Гидравлические гасители колебаний	0,99	0,99	0,97 0	0,970						
	1	Возвращающее устройство	0,98	0,98								
	1	Колесная пара	0,99	0,99	$P_{2вд} \downarrow$							
вспомогательными системами	2	Топливная система	0,96	0,985	0,816	0,929	0,77 2	0,917	0,44 3	0,207		
	2	Масляная система	0,95	0,985								
	2	Система охлаждения	0,96	0,985								
	2	Система воздушоснабжения	0,95	0,985								
	2	Система	0,96	0,985								

3. Электрическая передача	5	автоматики									
	6	Дизель	0,93	0,985	0,93	0,985					
	3	Тяговый генератор	0,975	0,985	0,975	0,985	0,903	0,920	0,138	0,197	
	3	Силовая электросхема	0,97	0,98	P <sub>зтп</sub> ↓						
	3	Тяговый электродвигатель	0,98	0,98	0,951	0,951					
	3	Тяговый редуктор	0,97	0,97	P <sub>4вс</sub> ↓						
4. Вероятительные системы	4	Редукторы, вентиляторы	0,97	0,985	0,933	0,956	0,890	0,938	0,159	0,150	
	4	Система электроснабжения, отопления	0,98	0,985							
	4	Система снабжения песком	0,98	0,985							
	4	Система диагностики	0,95	0,98							0,95

Отличием предложенной формулы от выражения для полной вероятности является ненормированность к 1-це суммы гипотез  $\sum_{k=1}^n P(q_k) \neq 1$ . Это можно расценить как совместность событий, определяемых гипотезами, или их взаимозависимость. Оценка такого рода, очевидно неприменима к тепловозу, для которого выполнение одной из гипотез ввиду насущной необходимости проведения технического обслуживания высокого уровня вполне определенно близится по характеристикам к достоверному событию, т.е.  $\sum_{k=1}^n P(q_k)_y = 1$ . Для достижения полного соответствия выражения (4) выражению для полной вероятности можно воспользоваться известной формулой Байеса, которую для каждой уточненной гипотезы  $P(q_k)_y$  запишем в виде 
$$P(q_k)_y = \frac{P(q_k)q_k}{\sum_{k=1}^n P(q_k)q_k}$$

что дает возможность не только нормировать сумму уточненных гипотез к 1, но и количественно уточнить вероятность безотказности тепловоза в целом перед постановкой его на ТОЗ. Для этого подставляем найденные значения уточненных гипотез  $P(q_k)_y$  в полученное ранее выражение (4) и выполняем соответствующий расчет безотказности тепловоза, представляя в качестве элементов надсистемы (локомотива) его 4-ре системы (см. табл.1).

Результаты данных расчетов (с учетом уточнения гипотез) представлены в табл.1. Результаты сравнительного расчета показателей надежности тепловоза ЧМЭЗ (прототипа) и модернизированного ЧМЭЗП в составе систем и в целом (см. табл.1) свидетельствуют о повышении вероятности безотказной работы последнего между ТОЗ в результате модернизации с 0,81 до 0,89, т.е. на ~ 10%. Таким образом, установлено, что пробеги модернизированных тепловозов между обслуживаниями ТОЗ могут быть увеличены на величину порядка 10% при соответствующем увеличении межремонтных пробегов. Вследствие этого следует прогнозировать также ощутимое снижение денежных и материальных затрат на содержание модернизированных тепловозов в эксплуатации в сравнении с их прототипами.

**Выводы.** 1. По результатам аналитических исследований предложена усовершенствованная методология для определения показателя надежности основных систем локомотивов и единицы ТПС в целом, которая посредством корректировки существующих аналитических соотношений учитывает влияние системы содержания на указанный параметр. 2. Доказано, что эксплуатационный пробег модернизированных тепловозов между техническими обслуживаниями может быть увеличен на ~ 10% в сравнении с прототипом. Это следует расценивать как важный фактор при оценке целесообразности пополнения парка локомотивов в Украине переделкой существующего ПС с заменой устаревших групп оборудования прогрессивными высокоэффективными агрегатами и узлами.

Литература

1. Долговечность автомобилей. – М.: Машгиз, 1961. – 432 с.
2. Методологические основы оптимизации надежности автомобиля. – К.: Выща школа. 1976. – 140 с.
3. Лукинский В.С. Долговечность деталей шасси автомобиля. - Л.:Машиностроение, 1984. – 231с.