

Таблица 1

Q, т	$\alpha$ , %	$e_{т\text{р}}$ кг/10 <sup>4</sup> т.км	$\alpha Q$	$\alpha e_m$
2000	7	21	140	1,470
3000	17	18	510	3,060
4000	24	16	960	3,840
5000	26	13,5	1300	3,510
6000	25	12,5	1500	3,125
7000	1	12,5	70	0,125
<b>Сумма</b>			<b>4480</b>	<b>15,130</b>

Таблица 2

Q, т	$\alpha$ , %	$e_{т\text{р}}$ кг/10 <sup>4</sup> т.км	$\alpha Q$	$\alpha e_m$
2000	-	-	-	-
3000	20,67	18	620	3,721
4000	30	16	1200	4,800
5000	30	13,5	1500	4,050
6000	19,33	12,5	1160	2,416
7000	-	-	-	-
<b>Сумма</b>			<b>4480</b>	<b>14,987</b>

Так же изменяется удельный расход топлива под влиянием характера распределения и других эксплуатационных факторов (осевой нагрузки, технической и участковой скорости, тонно-

Получено 10.12.2001

**S.Y. Frenkel.** About the factors which were not taken into consideration when fuel expenses according to the generalized indexes are set.

Error sources are also taken into account when rate setting and prognosing of the expending of diesel fuel for the train haulage according to the generalized indices. The ways of raising accuracy of calculated rates of fuel expenses are posed in this article.

**Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт – 2002 № 2(5)**

УДК 629.42 – 192

*М. И. КАПИЦА, кандидат технических наук; Днепротетровский национальный университет железнодорожного транспорта, г. Днепротетровск*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЛОКОМОТИВОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Рассмотрена проблема прогнозирования ресурса тягового подвижного состава в заданных условиях и режимах эксплуатации. Приведена методика определения диагностических параметров, которая позволит прогнозировать остаточный ресурс локомотива.

**П**овышение надежности тягового подвижного состава (ТПС) является одним из приоритетных направлений развития железнодорожного транспорта Украины на ближайшее время [1]. Самое важное качество, которое характеризует надежность транспортных средств, – долговечность, определяемая сроком службы и ресурсом. Для поддержания определенного уровня надежности и продления срока службы локомотивов и существует планово-предупредительная система

километровой работы и др.). Следовательно, нормирование или прогнозирование расхода топлива по изменению только средних значений нормообразующих факторов, широко распространенное сегодня, оказывается неточным. А, следовательно, эффективность топливосберегающих решений, принимаемых на основании полученных прогнозов, оказывается низкой. В то же время информация о распределении значений нормообразующих факторов значительно повышает точность прогноза. Этот факт необходимо учитывать при нормировании и прогнозировании расхода энергоресурсов в грузовом, пассажирском и, возможно, пригородном движении.

### Список литературы

1 Методика анализа расхода энергоресурсов на тягу поездов (приложение к указанию МПС от 20 июня 1997 г. № В-741у).

2 Френкель С. Я. Влияние некоторых эксплуатационных факторов на расход топлива магистральными тепловозами // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог: Сб. науч. ст. / Под ред. В. И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 1998. – С. 98-102.

3 Френкель С. Я. Анализ влияния некоторых факторов на расход топлива магистральными тепловозами // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Тр. 2-й науч.-практ. конф.; В 2 кн.. Кн 1. – М.: МИИТ, 1999. – С. IV-27 – IV-28.

технического обслуживания и ремонта локомотивов. В настоящее время эта система, в своей основе, базируется на обязательных объемах и периодичности работ, которые регламентируются на основании среднестатистических данных. В большинстве случаев эти данные не отражают фактическую потребность в техническом обслуживании и ремонте конкретного локомотива, так как в процессе эксплуатации локомотивы подвергаются воздействию большого числа случайных факторов

и происходит значительное рассеивание параметров их технического состояния.

Особое значение имеет проблема прогнозирования ресурса ТПС по результатам **диагностирования** его состояния в заданных условиях и режимах эксплуатации. Прогнозирование ресурса отдельных элементов или локомотива в целом включает установление зависимости его от всех возможных внешних и внутренних факторов.

**Диагностирование** – это процесс определения технического состояния локомотива по характерным косвенным (диагностическим) параметрам без его разборки. При диагностировании проверяют исправность и работоспособность локомотива в целом или его узлов и деталей, отыскивают повреждения, *оценивают остаточный ресурс* [2]. На основе этих данных принимают решение о возможности дальнейшей эксплуатации локомотива или необходимом объеме технического обслуживания и ремонта.

Диагностирование дает объективную информацию о техническом состоянии локомотива, позволяет своевременно выявлять скрытые неисправности, предупреждать отказы, проводить техническое обслуживание в оптимальные сроки и в необходимом объеме. Все это обеспечивает экономию затрат на техническое обслуживание и ремонт локомотивов и повышает надежность их работы.

Локомотив как объект диагностирования можно представить в виде комплекса агрегатов, узлов и деталей (дизель, генератор, тележка и т. п.), для определения технического состояния которых требуется непрерывный или периодический контроль через определенные периоды наработки. Однако непосредственное измерение параметров технического состояния без полной или частичной разборки локомотива, а следовательно, и возможность их использования для определения технического состояния локомотива весьма ограничены. Так, при диагностировании параметры технического состояния, например, дизеля, как правило, определяют косвенно, используя параметры процессов, сопутствующих его работе.

Работа любого дизеля сопровождается множеством сопутствующих процессов: излучение теплоты, вибрация, распространение шума, накопление продуктов изнашивания в смазочном масле и др. Параметры этих процессов достаточно полно отражают техническое состояние и качество работы дизеля и содержат необходимую для диагностирования информацию. Их называют диагностическими параметрами. Они могут быть непосредственно замерены на работающем или неработающем дизеле и использованы для определения его технического состояния.

Диагностические параметры представляют собой физические величины, связанные с парамет-

рами технического состояния дизеля. Ими могут быть: параметры рабочего процесса (среднее индикаторное давление, давление конца сжатия, максимальное давление цикла, температура выпускных газов и др.); показатели работы (мощность, частота вращения, расходы топлива и масла); параметры сопутствующих процессов (амплитуда и частота вибрации, концентрация продуктов изнашивания трущихся деталей в масле, концентрация сажи в выпускных газах и др.); геометрические величины (зазоры, люфты, биения и др.).

Таким образом, можно рассмотреть любую составляющую локомотива и определиться с диагностическими параметрами [3].

Закономерности изменения диагностических параметров в функции наработки локомотива аналогичны закономерностям изменения параметров его технического состояния. В процессе работы локомотива параметры его технического состояния изменяются от начальных, или номинальных, значений  $Z_n$  до предельных  $Z_n$ , то обуславливает соответствующее изменение диагностических параметров от  $D_n$  до  $D_n$  за наработку от 0 до  $T_n$ .

Наработка до предельного состояния  $T_n$  соответствует назначенному ресурсу детали, узла или локомотива в целом. Допустимое значение диагностического параметра  $D_d$  представляет собой уже сточенную величину предельного значения, при которой обеспечивается сохранение работоспособного и исправного состояния дизеля. Если текущее значение диагностического параметра выходит за допустимое значение, то это означает, что хотя локомотив является исправным и работоспособным, его не следует дальше эксплуатировать из-за высокой вероятности отказа и необходимо провести техническое обслуживание или ремонт.

Замеряя текущее значение диагностического параметра  $D_T$  (при наработке  $T$ ) и сравнивая его с допустимым значением  $D_d$ , можно определить техническое состояние локомотива в данный момент и оценить его остаточный ресурс  $T_{ост}$ . Обычно для определения технического состояния локомотива и его узлов требуется замерять и анализировать одновременно несколько диагностических параметров.

Для возможности прогнозирования остаточного ресурса локомотива, кроме того, необходимо иметь информацию о характере изменения диагностических параметров в процессе эксплуатации [4] и знать вид закономерностей, описывающих изменение параметров во времени [5, 6].

Необходимая информация о характере изменения диагностических параметров собирается в процессе диагностирования локомотивов при разной наработке, анализируется и служит основой

для определения закономерности изменения параметров.

В своей основе прогнозирование остаточного ресурса агрегатов локомотива должно осуществляться на базе математического аппарата экстраполяции процессов, описывающих закономерности изменений диагностических параметров. В свою очередь, использование аппарата экстраполяции требует формализованного описания процессов изменения диагностических параметров, т. е. требует создания некоторой математической модели процесса изнашивания (старения), создания методики, алгоритма прогнозирования остаточного ресурса как отдельно взятых агрегатов, так и локомотива в целом.

В целом метод экстраполяции предусматривает следующие этапы:

- анализ имеющейся информации и построение графика изменения диагностического параметра в зависимости от наработки локомотива;
- определение аналитического выражения, описывающего закономерность изменения диагностического параметра;
- оценка значения диагностического параметра при заданной наработке. Изменение большинства диагностических параметров локомотивов в зависимости от их наработки можно выразить функцией вида

$$D = D_n + bT^n \quad (1)$$

где  $D_n$  – начальное (номинальное) значение диагностического параметра;  $b$  – постоянный коэффициент;  $T$  – наработка, ч;  $n$  – показатель степенной функции.

Пользуясь этой зависимостью, можно прогнозировать остаточный ресурс  $T_{ост}$  после некоторой наработки  $T$ :

$$T_{ост} = T \sqrt{\frac{D_d - D_n}{D_T - D_n}}, \quad (2)$$

где  $D_d$  и  $D_n$  – допустимое и начальное значения диагностического параметра;  $D_T$  – значение параметра по наработке на момент диагностирования.

Номенклатуру диагностических параметров, по которым необходимо определить техническое состояние и прогнозировать остаточный ресурс локомотива, его узлов и деталей, устанавливают локомотивостроительные (локомотиворемонтные) заводы с учетом конструктивных, технологических, экономических и других факторов. Локомотивные депо должны строго выдерживаться ее.

Применение методов прогнозирования в период эксплуатации локомотивов даст возможность решить ряд важных задач:

- обосновать периоды проведения ТО и ТР (КР);
- оптимизировать программу поиска неисправностей;
- определить количество запасных частей на прогнозируемый интервал эксплуатации;

- определить остаточный ресурс локомотива.

Подробный анализ исследований [7, 8, 9] методологическом смысле показывает, что для повышения эффективности и срока службы транспортных средств необходимо индивидуальное прогнозирование остаточного ресурса, которое и является основным условием эффективности реализации тактики управления содержанием локомотивов с учетом их *фактического технического состояния*. Качество прогнозирования остаточного ресурса, в свою очередь, будет определено точностью диагностических средств и методов, а также точностью математических моделей, которые описывают изменения тех или иных параметров в течение заданного интервала времени.

Таким образом, прогнозирование включает также исследование способов управления ресурсом транспортных средств. А роль ограничений при этом выполняют структурные или диагностические параметры. Большая часть исходной информации при эксплуатации транспортных средств носит статистический характер.

Решение поставленных задач прогнозирования остаточного ресурса локомотива складывается из трех этапов:

- получение информации с помощью методов диагностики;
- выбор принципов, способов и методов прогнозирования остаточного ресурса локомотива;
- выполнение вычислительных операций, связанных с получением прогноза.

Таким образом, прогнозирование ресурса позволит также определить новые закономерности формирования методов оценки и ресурса эксплуатации, которые учитывают индивидуальные особенности и внешние условия работы конкретного локомотива, а это и есть не что иное, как разработка мероприятий по *фактическому техническому содержанию локомотивов*.

Прогнозирование же ресурса по реализации открывает дополнительные возможности получения экономического эффекта и позволяет не только предупредить возможные отказы, но и более точно планировать режимы эксплуатации, *систему содержания*, а также обеспечение запасными частями. Более того, переход к прогнозированию ресурса по реализации увеличит средний ресурс локомотива, поскольку уменьшает количество агрегатов, **преждевременно направляемых в ремонт**, и открывает пути к обоснованному выбору оптимального срока эксплуатации, т. е. определения остаточного ресурса локомотива в целом.

Но что же такое по своей сути прогнозирование? На это можно ответить словами К. Шеннона [10]:

«В общем физическом смысле предсказание зависит от предположения, что закономерности, наблюдавшиеся в прошлом, будут сохранены в будущем... Это предположение может рассматриваться только как один из центральных постулатов

физики». Этот постулат и заложен в основу **прогнозирования состояния технических средств.**

#### Список литературы

1 Програма розвитку рухомого складу на 2002 – 2005 роки. Затверджена 29.10.01.

2 *Капица М. И., Крячко В. А., Чабанюк В. И.* Исследование влияния диагностирования на надежность технического объекта// Вісн. Східноукр. держ. ун-ту ім. В. Даля. – 2001. – № 7(41). – С. 6 - 10.

3 *Боднар Б. Є., Капица М. І., Ляшук В. М.* Діагностування та прогнозування стану ізоляції обмоток тягових електродвигунів локомотивів// Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2002. – № 6(52). – С. 21 – 25.

4 *Кузнецов Т. Ф., Капица М. І.* Автоматизовані діагностично-статистичні комплекси та їх застосування в системі утримання тягового рухомого складу залізниць// Вісн. Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2002. – Вип. 3. – С. 100 - 104.

5 *Босов А. А., Капица М. И.* Оценка влияния стационарного диагностирования на надежность локомотивов// Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тез. докл. науч.-техн. конф. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 51 – 54.

6 *Капица М. І., Чабанюк В. І., Азевич В. Г.* Комплексна оцінка контролепригодності при прогнозуванні залишкового ресурсу локомотивів// Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2002. – № 6(52). – С. 57 – 62.

7 *Болотин В. В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

8 *Войнов К. Н.* Прогнозирование надежности механических систем. – Л.: Машиностроение, 1978. – 208 с.

9 *Гражданников Е. Д.* Экстраполяционная прогностика: Классификационное и математическое моделирование в исторических и прогностических исследованиях. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. – 144с .

10 *Артемьев Ю. Н.* Основы надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1973. – 163 с.

Получено 29.10. 2002

**M. I. Kapitsa.** The forecasting of the locomotive resource based on the results of diagnosis.

In this article main attention is paid to the problem of forecasting the resource of tie-rod rolling stock in given conditions and modes of exploitation. One can find the principles of determining of diagnostic parameters which will give a possibility for forecasting the residual resource of the locomotive.