

УДК 629.4.067.3:629.4.027.11

*Петухов В. М., ст. преподаватель (УкрГАЖТ)*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА БУКСЫ

**Постановка проблемы.** Встроенные средства диагностики буксовых узлов подвижного состава позволяют не только своевременно определить отказ, но также способны выявить неисправность на ранних стадиях её появления, а также способны накапливать информацию о развитии дефекта[1]. Таким образом, появляется возможность спрогнозировать остаточный ресурс буксы, выраженный в расстоянии или во времени. Такой прогноз позволит либо принять решение о замене колесной пары на ближайшем ПТО, либо довести вагон до пункта назначения, с непременным обеспечением безопасности движения.

**Цель исследования** рассмотреть применимость метода временных рядов для прогнозирования остаточного ресурса буксы с использованием встроенных средств технической диагностики.

**Основная часть.** Использование доступных к моменту времени  $t$  наблюдений температуры буксы временного ряда для прогнозирования его значения в некоторый момент времени в будущем  $t+l$  может явиться основой для краткосрочного прогнозирования, если появилась необходимость в прогнозе вперед на интервал, называемый временем упреждения  $l$  и зависящий от конкретных условий движения (например, от расстояния до пункта назначения или до ближайшего ПТО).

Предполагается, что наблюдения производились в дискретные, примерно равноотстоящие друг от друга моменты времени. Температура шейки оси  $z_t$ , на в момент времени  $t$  и температура  $z_{t-1}$ ,  $z_{t-2}$ ,  $z_{t-3}$  и т.д. могут быть использованы для прогноза с упреждением  $l$ . Функция  $\hat{z}_t(l)$ ,  $l = 1, 2, \dots$  дающая в момент прогнозы для всех будущих времен упреждения, называется прогнозирующей функцией в момент  $t$ . Цель — получить такую прогнозирующую функцию, у которой среднее значение квадрата отклонения  $z_{t+l} - \hat{z}_t(l)$  истинного от прогнозируемого значения является наименьшим для каждого упреждения  $l$ .

В дополнение к вычислению наилучшего прогноза необходимо также указать его точность, чтобы можно было оценить риск, связанный с решениями, основанными на прогнозировании. Точность прогноза может быть выражена вероятностными пределами по обе стороны от каждого прогнозируемого значения. Эти пределы можно вычислить для любого набора вероятностей, например для 95%. Смысл этих пределов в том, что значение временного ряда, которое появится в соответствующее время, с указанной вероятностью будет лежать внутри этих пределов.

Прогнозы с минимальной среднеквадратичной ошибкой можно получить непосредственно из представления модели в виде разностного уравнения. Для практических вычислений прогнозов температуры буквы наиболее приемлемым является подход, основанный на использовании представления модели разностным уравнением[2]. Такие прогнозы в момент  $t$  будут иметь вид:

$$\begin{aligned}\hat{z}_t(1) &= 1,8z_t - 0,8z_{t-1}, \\ \hat{z}_t(2) &= 1,8\hat{z}_t(1) - 0,8z_t, \\ \hat{z}_t(l) &= 1,8\hat{z}_t(l-1) - 0,8\hat{z}_t(l-2), \quad l = 3, 4, 5, \dots\end{aligned}\tag{1}$$

Чтобы вычислить новые прогнозы путем коррекции старых, требуется определить веса  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{l-1}$ .

Для используемой модели веса вычисляются рекуррентным способом:

$$\begin{aligned}\psi_1 &= 1,8, \\ \psi_j &= 1,8\psi_{j-1} - 0,8\psi_{j-2}, \quad j = 2, 3, 4, \dots\end{aligned}\tag{2}$$

Как только становится известно новое значение температуры буквы  $z_{t+1}$ , появляется возможность пропорционально подправить прогноз. Для этого определяется импульс  $a_t$ , определяемый как разность  $a_t = z_t - \hat{z}_{t-1}$

Тогда уточненный прогноз определяется следующим выражением:

$$\hat{z}_{t+1}(l) = \hat{z}_t(l+1) + \psi_l a_t.\tag{3}$$

Из предположения, что  $a$  подчиняются нормальному закону, следует, что при известных значениях процесса до момента  $t$  условное

распределение вероятности  $p(z_{t+l} / z_t, z_{t-1}, \dots)$  будущего значения процесса  $z_{t+l}$  будет также нормальным со средним значением  $\hat{z}_t(l)$  и стандартным отклонением  $\left\{1 + \sum_{j=1}^{l-1} \psi_j^2\right\}^{1/2} \sigma_a$ .

Приближенные  $(1 - \varepsilon)\%$ -ные вероятностные пределы  $z_{t+l}(-)$  и  $z_{t+l}(+)$  для  $z_{t+l}$  будут иметь вид:

$$z_{t+l}(\pm) = \hat{z}_t(l) \pm u_{\varepsilon/2} \left\{1 + \sum_{j=1}^{l-1} \psi_j^2\right\}^{1/2} s_a. \quad (4)$$

Пределы  $z_{t+l}(-)$  и  $z_{t+l}(+)$  интерпретируются следующим образом. Если известна информация о временном ряде к моменту  $t$ , то с вероятностью  $1 - \varepsilon$  наблюдаемое значение  $z_{t+l}$  будет заключено в этих пределах, т. е.,

$$Pr\{z_{t+l}(-) < z_{t+l} < z_{t+l}(+)\} = 1 - \varepsilon. \quad (5)$$

Для исследования использовались результаты стендового испытания вагонного роликового подшипника.

На рисунке 1 и в таблице 1 показаны значения температуры нагрева подшипника при проведении испытаний на стенде.

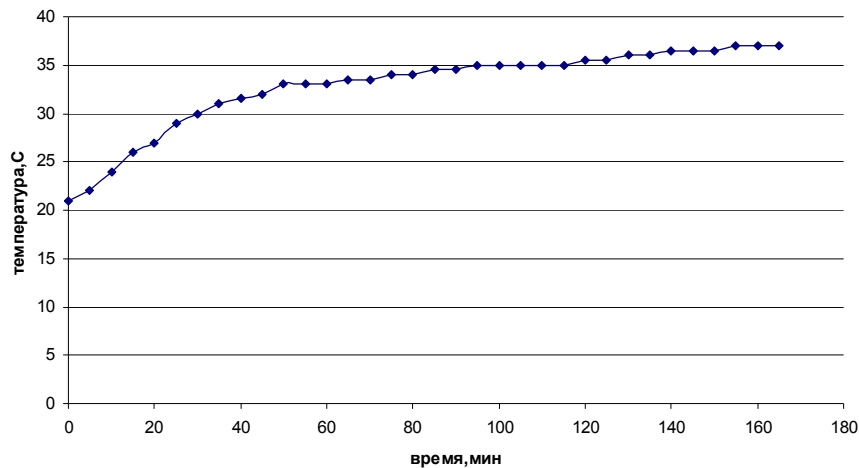


Рисунок 1 — График значений температуры подшипника при испытаниях

Таблица 1 – Расчет прогноза температуры подшипника на 60 мин.

Время работы подшипника, мин	Температура подшипника, °С	Прогноз температуры подшипника в момент времени $t_0=30$ мин
30	30	-
35	31	31,4
40	31,5	32,0
45	32	32,4
50	33	32,7
55	33	33,0
60	33	33,2
65	33,5	33,3
70	33,5	33,5
75	34	33,6
80	34	33,7
85	34,5	33,7
90	34,5	33,8

Прогноз сделан через 30 минут после начала испытаний на время упреждения  $l=60$  мин без уточнения прогноза (рис.2, табл.1). Как видно из таблицы, расхождение с фактической температурой составило  $0,7$  °С.

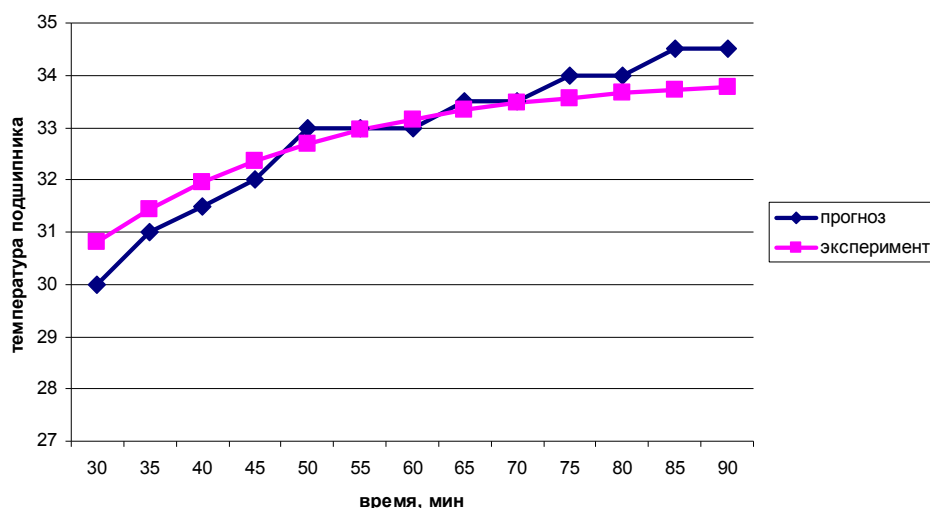


Рисунок 2 — График прогнозирования температуры подшипника на 60 мин. и фактические значения температуры

**Вывод.** Таким образом, проведенное исследование показало, что использование метода временных рядов позволяет его применять для краткосрочных прогнозов остаточного ресурса букс с приемлемой точностью. Несомненно, что при использовании двух и более диагностических признаков[3], точность прогноза возрастет.

### *Список литературы*

1. Петухов, В.М. Буксовая диагностическая станция [Текст]/В.М.Петухов //Сб. научн. работ. - Донецк: ДонИЖТ, 2008.-Вып.13.-С. 96-101.
2. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление.Т1 [Текст]/ Бокс Дж., Дженкинс Г. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
3. Петухов В.М. Аналіз температурних ознак розпізнавання несправних букс[Текст]/В.М.Петухов //Зб. наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вып.№107.- С.128-132.

**УДК 629.4.06:621.822.614**

*Равлюк В.Г., ст. викладач (УкрДАЗТ)*

## **ВІБРОДІАГНОСТИКА ТА МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ**

**Вступ.** Підшипники кочення є найпоширенішим елементом конструкції будь-якого роторного механізму й, у той же час, найбільш вразливим елементом [1]. Підшипники кочення здійснюють просторову фіксацію обертаючих колісних пар вагонів і, отже, саме підшипники сприймають більшу частину статичних і динамічних зусиль, що передаються від вагона. Стан підшипників кочення є найважливішою складовою технічного стану буксового вузла вагона, від якого залежить справність та працездатність [2].

Вібродіагностика стану підшипників кочення в наш час є однією з найбільш розвинених, розроблених областей віброметрії як у теоретичному плані, так і в плані практичної апаратурної реалізації.

Вібродіагностика підшипників кочення є прекрасною ілюстрацією того, як можна діагностувати один й той самий вузол різними методами, заснованими на різних вібраційних процесах, що генеруються дефектами