

4 Стандартизованный коэффициент множественной линии регрессии.

Чтобы избежать потери точности модели, необходимо установить мультиколлинеарные факторы, т. е. такие, которые имеют высокую степень зависимости между собой. В данной задаче за такой уровень принимаются значения коэффициентов корреляции в пределах 0,80 ... 0,85. Для принятия решения о том, какой из факторов остается у модели, устанавливается теснота связи каждого из факторов с исследуемой величиной. Если один из сильно коррелируемых факторов имеет более тесную связь с функционалом  $T$ , то он остается в модели, а другой отбрасывается.

Для имеющихся статистических показателей для обобщенного ПТО получена модель оптимальной сложности формирования эксплуатационной надежности грузовых вагонов в виде

$$T = (2253 - 88X_1 + 36X_2 + 723X_5 + 90X_6 - 104X_8 + 36X_{13} - 108X_{15}) \cdot 10^3.$$

УДК 629.4

## ВИДЫ УРАВНЕНИЙ ИЗНОСА ДЛЯ РЕЛЬСОВОГО НЕТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ю. Г. ЧЕПИК

*Белорусский государственный университет транспорта*

Большой парк грузового подвижного состава требует огромных затрат на поддержание его исправности и работоспособности. При планировании и прогнозировании грузовых потоков в условиях рынка для расчета себестоимости перевозок нужно учесть будущие затраты по обслуживанию подвижного состава и организации ремонтной базы на предприятиях Белорусской железной дороги. Для учета эксплуатационных затрат нужно знать износ для каждого рода подвижного состава. Желательно знать еще и ориентировочные предельные точки технического износа каждого рода грузового вагона. Это позволило бы снизить эксплуатационные затраты. Если найти уравнения, которые с большой степенью вероятности описывают технический износ каждого рода грузового вагона, то тем самым мы можем найти точки технического износа для данного рода грузового вагона. Определение этих точек с большой достоверностью дает эксперту возможность разработать дальнейшую альтернативную техническую и экономическую политику по дальнейшей эксплуатации данного рода грузового вагона.

Степень технического износа предлагается считать для каждого рода транспортного средства по следующей формуле:

$$H_m(x_1) = 1 - \frac{K_m(x_1)}{K_c}, \quad (1)$$

где  $x = x_1, x_2, \dots, x_m$  – время жизненного цикла транспортного средства до года технического износа транспортного средства ( $x_m$ );  $K_c$  – первоначальная цена транспортного средства;  $K_m(x_1)$  – оценка стоимости транспортного средства в год эксплуатации ( $x_1$ ) в предположении отсутствия морального износа в прошлом и будущем, без изменяющейся банковской ставки и инфляции, которую предлагаем считать по формуле

$$K_m(x_1) = \sum_{x=x_1}^{x_m} (C_c + r_k K_c - e_c(x))(1+r_k)^{(x_1-x)}, \quad (2)$$

где  $C_c$  – первоначальные полные эксплуатационные затраты на данном роде транспортного средства;  $e_c(x)$  – эксплуатационные расходы на текущем роде транспортного средства в год ( $x$ ) без амортизации.

В таблице 1  $R^2$  – величина достоверности уравнения, описывающего технический износ грузового вагона;  $E = 10$ .

Уравнения для оценки годового износа различного рода грузовых вагонов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Род грузового вагона	Уравнения			
	полиномиальное	экспоненциальное	степенное	линейное
Транспортеры четырехосные	$y1(x) = 5E^{-06}x^4 - 1E^{-04}x^3 + 0,002x^2 + 0,0059x + 0,0053$ $R^2 = 0,9996$	$y2(X) = 0,0334e^{0,1607x}$ $R^2 = 0,953$	$y3(X) = 0,0045x^{1,8507}$ $R^2 = 0,9438$	$y4(x) = 0,1429x - 1,1161$ $R^2 = 0,8054$
Транспортеры восьмиосные	$y1(x) = 5E^{-06}x^4 - 4E^{-05}x^3 + 0,0014x^2 + 0,0058x - 0,1601$ $R^2 = 0,9995$	$y2(X) = 0,0287e^{0,1635x}$ $R^2 = 0,8074$	$y3(X) = 0,0093x^{1,5313}$ $R^2 = 0,5295$	$y4(x) = 0,1662x - 1,3857$ $R^2 = 0,7756$
Транспортеры двенадцатиосные	$y1(x) = 4E^{-06}x^4 + 3E^{-06}x^3 + 0,0005x^2 + 0,0114x - 0,0352$ $R^2 = 0,9992$	$y2(X) = 0,023e^{0,1806x}$ $R^2 = 0,9435$	$y3(X) = 0,0028x^{2,0161}$ $R^2 = 0,8783$	$y4(x) = 0,1729x - 1,4106$ $R^2 = 0,8011$
Транспортеры шестнадцатиосные	$y1(x) = 1E^{-07}x^6 - 1E^{-05}x^5 + 0,0005x^4 - 0,0079x^3 + 0,0642x^2 - 0,1906x - 0,0045$ $R^2 = 0,9989$	$y2(X) = 0,038e^{0,1522x}$ $R^2 = 0,8361$	$y3(X) = 0,0121x^{1,4619}$ $R^2 = 0,5765$	$y4(x) = 0,1369x - 0,9986$ $R^2 = 0,8705$
Крытые вагоны	$y1(x) = 2E^{-06}x^4 + 1E^{-04}x^3 - 0,0049x^2 + 0,0995x - 0,2432$ $R^2 = 0,9815$	—	—	$y4(x) = 0,0974x - 0,5934$ $R^2 = 0,8432$
Платформа	$y1(x) = 4E^{-08}x^6 - 4E^{-06}x^5 + 0,0002x^4 - 0,0029x^3 + 0,0265x^2 - 0,0748x + 0,0655$ $R^2 = 0,9992$	—	—	$y4(x) = 0,156x - 1,0929$ $R^2 = 0,8531$
Цистерна четырехосная нефтебензиновая	$y1(x) = -2E^{-07}x^4 + 0,0002x^3 - 0,0049x^2 + 0,0919x + 0,2129$ $R^2 = 0,9816$	$y2(x) = 0,3642e^{0,0736x}$ $R^2 = 0,9655$	$y3(x) = 0,1756x^{0,7631}$ $R^2 = 0,8629$	$y4(x) = 0,1039x - 0,1741$ $R^2 = 0,8854$
Платформа фитинговая	$y1(x) = 2E^{-08}x^6 - 1E^{-06}x^5 + 4E^{-05}x^4 - 0,0002x^3 + 0,0006x^2 + 0,0274x - 0,1178$ $R^2 = 0,9998$	$y2(X) = 0,0298e^{0,1792x}$ $R^2 = 0,9202$	$y3(X) = 0,0054x^{1,8313}$ $R^2 = 0,8001$	$y4(x) = 0,1656x - 1,2079$ $R^2 = 0,8312$
Вагон для рулонной стали	$y1(x) = 2E^{-08}x^6 - 7E^{-07}x^5 - 8E^{-06}x^4 + 0,001x^3 - 0,0162x^2 + 0,1177x + 0,1507$ $R^2 = 0,9998$	$y2(x) = 0,248e^{0,0853x}$ $R^2 = 0,9827$	$y3(x) = 0,1201x^{0,8367}$ $R^2 = 0,7874$	$y4(x) = 0,1122x - 0,4613$ $R^2 = 0,8235$
Вагон-зерновоз	$y1(x) = 7E^{-06}x^4 - 0,0001x^3 + 0,0036x^2 + 0,008x - 0,0593$ $R^2 = 0,9993$	$y2(X) = 0,037e^{0,1887x}$ $R^2 = 0,9348$	$y3(X) = 0,0064x^{1,8808}$ $R^2 = 0,8664$	$y4(x) = 0,2028x - 1,3732$ $R^2 = 0,84$
Автомобиле-воз	$y1(x) = -4E^{-08}x^6 + 4E^{-06}x^5 - 0,0001x^4 + 0,0024x^3 - 0,0185x^2 + 0,1x - 0,1933$ $R^2 = 0,9999$	$y2(X) = 0,0456e^{0,1707x}$ $R^2 = 0,9283$	$y3(X) = 0,0099x^{1,6774}$ $R^2 = 0,8362$	$y4(x) = 0,161x - 1,0416$ $R^2 = 0,8443$
Муковоз	$y1(x) = -2E^{-08}x^6 + 2E^{-06}x^5 - 7E^{-05}x^4 + 0,001x^3 - 0,0042x^2 + 0,0398x - 0,121$ $R^2 = 0,9986$	$y2(X) = 0,0402e^{0,1778x}$ $R^2 = 0,8835$	$y3(X) = 0,0076x^{1,7757}$ $R^2 = 0,8224$	$y4(x) = 0,1617x - 1,0277$ $R^2 = 0,8529$
Цистерна для пищевых продуктов	$y1(x) = 2E^{-07}x^6 - 1E^{-05}x^5 + 0,0005x^4 - 0,0072x^3 + 0,0466x^2 - 0,071x + 0,0658$ $R^2 = 0,9953$	$y2(x) = 0,0836e^{0,1333x}$ $R^2 = 0,9243$	$y3(X) = 0,0211x^{1,3825}$ $R^2 = 0,9276$	$y4(x) = 0,1185x - 0,6716$ $R^2 = 0,8267$
Вагоны битумные	$y1(x) = 8E^{-06}x^4 - 4E^{-05}x^3 + 0,0015x^2 + 0,0386x - 0,0636$ $R^2 = 0,9988$	$y2(X) = 0,0588e^{0,1764x}$ $R^2 = 0,9324$	$y3(X) = 0,0089x^{1,8562}$ $R^2 = 0,9629$	$y4(x) = 0,2308x - 1,4936$ $R^2 = 0,8438$
Вагон-цементовоз	$y1(x) = 6E^{-08}x^6 - 5E^{-06}x^5 + 0,0002x^4 - 0,0023x^3 + 0,0196x^2 - 0,0173x + 0,0459$ $R^2 = 0,999$	$y2(X) = 0,0913e^{0,1653x}$ $R^2 = 0,9207$	$y3(X) = 0,0237x^{1,5081}$ $R^2 = 0,9843$	$y4(x) = 0,1531x - 0,6381$ $R^2 = 0,9215$
Вагон-минераловоз	$y1(x) = 4E^{-07}x^6 - 3E^{-05}x^5 + 0,0009x^4 - 0,011x^3 + 0,0598x^2 - 0,0736x + 0,2191$ $R^2 = 0,996$	$y2(x) = 0,2135e^{0,1062x}$ $R^2 = 0,9795$	$y3(X) = 0,1096x^{0,8825}$ $R^2 = 0,8687$	$y4(x) = 0,1089x - 0,2868$ $R^2 = 0,8723$
Цистерна-	$y1(x) = -3E^{-07}x^6 + 2E^{-05}x^5 - 0,0005x^4 +$	$y2(x) =$	$y3(X) =$	$y4(x) = 0,1048x -$

Род грузового вагона	Уравнения			
	полиномиальное	экспоненциальное	степенное	линейное
Цистерна-содовоз	$y1(x) = -3E^{-07}x^6 + 2E^{-05}x^5 - 0,0005x^4 + 0,0051x^3 - 0,0254x^2 + 0,1164x + 0,1236$ $R^2 = 0,9938$	$y2(x) = 0,2753e^{0,0961x}$ $R^2 = 0,9628$	$y3(X) = 0,1417x^{0,8247}$ $R^2 = 0,911$	$y4(x) = 0,1048x - 0,1527$ $R^2 = 0,8743$
Хоппер-дозатор	$y1(x) = 6E^{-07}x^6 - 4E^{-05}x^5 + 0,0012x^4 - 0,015x^3 + 0,094x^2 - 0,1982x + 0,1692$ $R^2 = 0,9941$	$y2(X) = 0,0809e^{0,1705x}$ $R^2 = 0,9303$	$y3(X) = 0,021x^{1,537}$ $R^2 = 0,9712$	$y4(x) = 0,1584x - 0,7217$ $R^2 = 0,889$
Рефрижераторная секция	$y1(x) = 1E^{-05}x^4 - 0,0002x^3 + 0,0064x^2 + 0,0037x - 0,1114$ $R^2 = 0,9998$	$y2(X) = 0,0392e^{0,2097x}$ $R^2 = 0,8905$	$y3(X) = 0,0112x^{1,7152}$ $R^2 = 0,7656$	$y4(x) = 0,1842x - 0,9917$ $R^2 = 0,8733$
Автономная рефрижераторная секция	$y1(x) = 8E^{-06}x^4 - 1E^{-04}x^3 + 0,0068x^2 - 0,0047x - 0,1112$ $R^2 = 0,9994$	$y2(X) = 0,0313e^{0,2286x}$ $R^2 = 0,7758$	$y3(X) = 0,0084x^{1,8478}$ $R^2 = 0,6512$	$y4(x) = 0,216x - 1,1864$ $R^2 = 0,8708$
Полувагон	$y1(x) = -6E^{-07}x^6 + 4E^{-05}x^5 - 0,0013x^4 + 0,0183x^3 - 0,1341x^2 + 0,5099x - 0,3718$ $R^2 = 0,9976$	$y2(X) = 0,2461e^{0,0975x}$ $R^2 = 0,9841$	$y3(X) = 0,1478x^{0,7404}$ $R^2 = 0,9102$	$y4(x) = 0,0809x - 0,0246$ $R^2 = 0,9263$
Думкар	$y1(x) = 6E^{-07}x^6 - 4E^{-05}x^5 + 0,0011x^4 - 0,0139x^3 + 0,0833x^2 - 0,1497x + 0,228$ $R^2 = 0,9966$	$y2(X) = 0,1678e^{0,1468x}$ $R^2 = 0,9776$	$y3(X) = 0,0754x^{1,1292}$ $R^2 = 0,9274$	$y4(x) = 0,1589x - 0,4985$ $R^2 = 0,9019$
Контейнер массы брутто 3 тонны	$y1(x) = -0,0001x^4 + 0,0056x^3 - 0,0637x^2 + 0,3043x - 0,0559$ $R^2 = 0,9952$	$y2(X) = 0,2346e^{0,1258x}$ $R^2 = 0,9498$	$y3(X) = 0,1711x^{0,7223}$ $R^2 = 0,8605$	$y4(x) = 0,0975x - 0,0169$ $R^2 = 0,8863$
Контейнер массы брутто 5 тонн	—	—	—	—
Контейнер массы брутто 20 (24) тонны	—	—	—	—

Во всей известной литературе степень износа сложных технических изделий типа "вагон" описывается через два вида уравнений: линейные и степенные. Считается, что только эти уравнения позволяют наилучшим образом описать износ сложных изделий типа "вагон". Как видно из таблицы 1, однозначно так утверждать нельзя. Чаще всего наиболее достоверную информацию об износе грузовых вагонов дают полиномы от четвертой до шестой степени.

Приведенные в таблице 1 уравнения технического износа для каждого рода грузового вагона позволяют с большой степенью достоверности определить ориентировочные точки технического износа. А это дает возможность эксперту знать год наибольшей вероятности модернизации данного рода грузового вагона.

Знание технического износа каждого рода грузового вагона с большой степенью достоверности (вероятности) по годам эксплуатации позволяют собственнику грузовых вагонов спланировать на длительную перспективу в 18 – 20 лет эксплуатационные затраты и проводить экономически выгодную техническую политику в условиях рынка.

УДК 652.225.073; 665.61.7

## КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ НАПРЕССОВКИ КОЛЬЦА ПОДШИПНИКА НА ШЕЙКУ ОСИ ПРИ ТЕПЛОВОЙ СБОРКЕ

И. Л. ЧЕРНИН

Белорусский государственный университет транспорта

Одним из путей повышения надежности вагонов является разработка эффективных процессов сборки и контроля соединений с гарантированным натягом вагонных конструкций, определение научно обоснованного подхода к совершенствованию технологии механосборочных процессов при