



Полиновский Леонид Александрович — инженер-механик, окончил Томский политехнический институт в 1961 г., кандидат технических наук с 1971 г. С 1982 г. работает в СГУПС на кафедре «Технология транспортного машиностроения», а с 2006 г. — на кафедре теоретической механики, автор многих статей, изобретений и двух монографий по вопросам прочности, технологии обработки и ремонта деталей транспортного машиностроения.
E-mail: lap0339@ya.ru

УДК 621.81

Л.А. ПОЛИНОВСКИЙ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Метод определения рациональной периодичности ремонтных работ. Критерием для выбора рациональной системы ремонта служит минимальная стоимость расходов. В качестве примера рассматривается рациональный цикл ремонта локомотивов.

Ключевые слова: планирование, обслуживание, оптимизация, стоимость.

Важной задачей при разработке рациональной системы ремонта является определение периодичности ремонтных работ. При планировании системы ремонта стремятся соблюдать кратность межремонтных наработок, в соответствии с которой наработка на ремонт большего объема в целое число раз превышает наработку на ремонт меньшего объема. В качестве критерия выбора оптимальной системы ремонта используют минимальную удельную стоимость ремонтных работ, которая определяется как отношение суммарных затрат к объему наработки.

Зависимости удельных затрат от наработки для каждого вида ремонта имеют характерный вид: пока вероятность отказов мала, удельные затраты с увеличением наработки снижаются, затем по мере увеличения аварийных отказов, функция «удельные затраты — наработка на ремонт» достигает минимума, а затем начинает возрастать.

Для j -го вида ремонта удельные затраты

$$c_{yj} = \frac{C_{pj} + f(l_j)}{l_j}, \quad (1)$$

где C_{pj} — стоимость ремонта; $f(l_j)$ — функция, определяющая рост затрат при увеличении межремонтной наработки l_j за счет роста аварийных отказов и расходов на обслуживание.

Для изделия, состоящего из ряда узлов, проводят разные виды ремонта. Например, при планировании системы ремонта электровозов [1] предлагается выделить три вида ремонтных работ. Первый включает обточку колесных пар, второй — смену вкладышей моторно-осевых подшипников; третий — смену бандажей колесных пар и ряд дополнительных работ.

При совмещении разных видов ремонта, часть затрат снижается. Удельные затраты на ремонт изделия

$$c_y = \sum_{j=1}^n \frac{k_{cj} C_{pj} + f(l_j)}{l_j}, \quad (2)$$

где k_{cj} — коэффициент снижения затрат при совмещении разных видов ремонта.

Для каждой ремонтной единицы изделия можно определить свое собственное значение оптимальной наработки, однако эти значения, за исключением редких совпадений, не будут кратными друг другу.

Согласно [1] расчет проводится в следующей последовательности:

- 1) выбирается кратность проведения ремонтов, близкая к соотношениям наработок при минимальных значениях удельной стоимости соответствующих ремонтов;
- 2) при изменении базовой наработки методом перебора определяется рациональная периодичность ремонтных работ.

Для эффективного планирования системы ремонта на основании эмпирических данных аппроксимируем зависимость изменения ремонтных затрат от межремонтной наработки l_j с помощью степенной функции [2]. Коэффициенты функции определяются в результате обработки результатов наблюдений для ограниченного участка, соответствующего возможному диапазону изменения межремонтной наработки. Оптимальное базовое значение наработки определяется приравниванием первой производной функции c_y к нулю при положительном значении второй производной.

Рассмотрим методику планирования ремонтных работ в пределах одного ремонтного цикла подробнее. Ремонтный цикл соответствует самому длительному периоду наработки и содержит все виды ремонтов. Расчет производится в следующей последовательности:

1. На основании результатов наблюдений выдвигаем гипотезу о виде аппроксимирующей функции $f(l_j)$, определяем коэффициенты и проверяем ее адекватность.
2. Находим значения l_j^* , при котором первая производная c_{yj} по l_j равна нулю, а вторая — положительна.
3. Выбираем вариант кратности межремонтных наработок. Все интервалы межремонтной наработки l_j выражаем через один базовый l_b :

$$l_j = m_j l_b. \quad (3)$$

4. Находим эффективные коэффициенты снижения затрат k_{cj} при совмещении ремонтов меньшего и большего объемов за весь ремонтный цикл:

$$k_{cj} = 1 - n_j (1 - C_{pcj} / C_{pj}) / N_j,$$

где C_{pcj} — стоимость j -го ремонта при его совмещении; n_j — число совмещенных ремонтов за ремонтный цикл; N_j — общее число ремонтов данного вида за тот же период.

5. Находим функцию суммарных удельных затрат c_y и значения l_b^* , при котором первая производная c_y по l_b равна нулю, а вторая — положительна.

6. Определяем суммарные удельные затраты при оптимальном значении базовой наработки.

Расчет можно повторять при другом варианте кратности ремонтов, критерием выбора является минимальное значение суммарных удельных затрат.

Зависимость изменения ремонтных затрат от межремонтной наработки l_j во многих случаях можно представить в виде степенной функции [2]:

$$c_{yj} = \frac{C_{pj} + a_j (l_j - l_{0j})^2}{l_j}, \quad (4)$$

где a_j , l_{0j} — параметры уравнения регрессии.

Приравняем первую производную c_{yj} по l_j к нулю и найдем соответствующее значение l_j^* :

$$l_j^* = \sqrt{\frac{C_{0j} + a_j l_{0j}^2}{a_j}}. \quad (5)$$

Удельные затраты c_y и наработка l^* согласно (2), (3) для изделия:

$$c_y = \sum_{j=1}^n \frac{k_{cj} C_{pj} + a_j (m_j l_B - l_{0j})^2}{m_j l_B}, \quad (6)$$

$$l^* = \sqrt{\frac{\sum (k_{cj} C_{pj} + a_j l_{0j}^2) / m_j}{\sum m_j a_j}}. \quad (7)$$

Рассмотрим тестовый пример. Пусть проводится два вида ремонтных работ. Численные значения в условных единицах приведены в таблице.

Исходные данные и результаты расчета ремонтных затрат для тестового примера

Показатель	Вид ремонта	
	1	2
C_{pj} , усл. ден. ед.	1	2
a_j , усл. ден. ед./ усл. ед. нараб. ²	1	1
L_{0j} , усл. ед. нараб.	0,5	1
l_j^* , усл. ед. нараб.	1,12 (0,92)	1,73 (1,84)
c_{vj} , усл. ден. ед./ усл. ед. нараб.	1,24	1,46
c_y , усл. ден. ед./ усл. ед. нараб.	2,7 (2,5)	

Значения l_j^* , c_{yj} рассчитывались согласно (5), (6).

Рассмотрим вариант кратности ремонтов 1 : 2.

При $C_p C_{pj} = 0,6$; $m_1 = 1$; $m_2 = 2$; $N_1 = 2$; $k_{c1} = 0,8$.

Для изделия:

$$l_B^* = \sqrt{\frac{(0,8 + 0,25) + (2 + 1)/2}{3}} = 0,92 \text{ усл. ед. нараб.}$$

Расчетные значения l^* , c_y для принятой схемы ремонтов рассчитывались согласно (7), (8) и приведены в таблице в скобках.

Рассмотрим пример оптимизации системы технического обслуживания и ремонта электровазов путем минимизации суммарных удельных затрат на плановый ремонт с учетом расходов, вызванных необходимостью проведения неплановых ремонтов и затрат, связанных с изъятием локомотивов из эксплуатации для проведения всех видов работ по обслуживанию и ремонту. Периодичность ремонтов электровазов планируется по пробегу и зависит от условий эксплуатации. Исходные данные, в том числе стоимостные оценки, взяты из монографии А.В. Горского и А.А. Воробьева [1], в которой приведены результаты многолетних наблюдений. Оптимизация проводилась по минимуму удельных затрат на единицу наработки в тысячах километров межремонтного пробега. Рассматривалась структура ремонта электровазов ВЛ 80*.

Первый вид ремонта — обточка колесных пар соответствует ТО4, второй — смена вкладышей моторно-осевых подшипников (может включать первый вид ремонта и

соответствует текущему ремонту ТР). При третьем виде ремонта кроме указанных и ряда дополнительных работ производится смена бандажей колесных пар.

Минимальным значениям удельных затрат на каждый из трех видов ремонта соответствуют пробеги 90, 240 и 490 тыс. км. Рациональным вариантом кратности ремонтов является отношение наработки как 1 : 3 : 6.

Доля уменьшения расходов на ремонт меньшего объема при его совмещении с ремонтом большего объема $C_{pcj}/C_{pj} = 0,7$.

Тогда эффективные значения коэффициентов снижения затрат $k_1 = 0,9$; $k_2 = 0,95$.

Зависимости удельных затрат от наработки имеют вид:

$$c_1 = [50 + 0,01(l_B - 50)^2]/l_B,$$

$$c_2 = [700 + 0,025(3l_B - 160)^2]/3l_B,$$

$$c_3 = [2800 + 0,02(6l_B - 370)^2]/6l_B.$$

Базовая наработка, соответствующая минимальным удельным затратам: $l_B^* = 83$ тыс. км. Минимальным затратам соответствуют наработки $l_1 = 83$; $l_2 = 250$ и $l_3 = 500$ тыс. км.

Метод перебора возможных значений является более трудоемким и, как правило, позволяет определить оптимальное значение наработки с большей погрешностью. Предложенный метод может применяться при оптимизации ремонтных циклов, состоящих из разного числа ремонтов. Пример расчета показал эффективность предложенного метода планирования системы ремонта.

Библиографический список

1. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. М.: Транспорт, 1994. 208 с.
2. Полиновский Л.А. Оптимизационное моделирование при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделий. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2009. 246 с.

L.A. Polinovsky. Efficient Repair Planning.

The article analyses the method to determine the efficient repair regularity. Low expenditures is a criterion for choosing an efficient system of repair. The research considers an effective cycle of locomotive repair as an example.

Key words: *planning, maintenance, optimization and cost.*