

И. А. Горобец, канд. техн. наук, доц., **А. Н. Михайлов**, д-р техн. наук, проф.,

Н. В. Голубов, ст. препод., **Е. А. Голенков**, магистрант

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

КРИТЕРИЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РЕМОНТА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рассмотрен вопрос выбора критерия целесообразности ремонта изделий машиностроения. Определены ограничения системы выбора. Приведена практическая методика восстановления изделия. Дан алгоритм определения целесообразности ремонта изделия.

Ключевые слова: изделие, ремонт, критерий, методика, целесообразность

I. Gorobets, A. Mikhaylov, N. Golubov, E. Golenkov

CRITERION OF EXPEDIENCY FOR REPAIR SERVICE OF MACHINERY CONSTRUCTION

The question of appropriateness of the selection criteria repair engineering products. Determined limit the selection system. The practical method of recovery of the product. The algorithm to determine the feasibility of repair products.

Keywords: construction, repair, criterion, method, expediency

1. Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Материально-техническая база отечественных промышленных предприятий многие годы не только не развивалась должными темпами, но интенсивно устаревала и изнашивалась. Использование изношенного оборудования в производстве стало проблематичным, поскольку не определяло нормы производительности, безопасности и должного уровня качества. Приобретение нового оборудования для большинства малых и средних предприятий практически невозможно: импортное - слишком дорого, отечественное – дешевле, однако сами отечественные заводы – производители средств производства – приведены в такое же бедственное положение. Учитывая высокую стоимость оборудования и трудности нынешнего экономического положения отечественного машиностроения, представляется актуальным и экономически целесообразным решение вопроса ремонта и повторного использования изделий машиностроительного сектора. В наших же условиях это одно из реальных и эффективных направлений решения узловых проблем экономики.

2. Анализ последних исследований и публикаций

Большое количество деталей редукторов требуют капитального ремонта, в результате износа, усталости материала, механических и коррозионных повреждений. Однако, лишь некоторые из этих деталей утрачивают работоспособность полностью и требуют замены. Большинство деталей имеет остаточный ресурс и могут еще быть использованными повторно после проведения сравнительно небольшого объема работ по их восстановлению. В настоящее время, в производственных условиях разработаны и реализованы десятки различных способов восстановления деталей. В работе [1] авторы приводят укрупненные этапы восстановительных работ, а в [1, 2] приведены схемы технологических процессов восстановления редукторов, описывающие возможные варианты реализаций методов восстановления поверхностей изделий. Выбор наиболее

приемлемого способа состоит в техническом, экономическом и организационном анализе требований к восстановленным деталям с учетом условий работы их в сопряжениях, производственной программы, оснащенности предприятий, обеспеченности материалами, энергией, рабочей силой и других факторов [1].

Выбору материала, условий его нанесения, а также последующими термической, химико-термической и механической обработками для повышения износостойкости восстанавливаемых поверхностей изделий, посвящена работа [3]. Автор акцентирует внимание на совместимость выбора вида и свойств поверхностного слоя изделия способам его обработки.

Особенностям восстановления, управления жизненным циклом изделий машиностроения за счет программируемого нанесения различных покрытий и их комбинаций, посвящены исследования авторов [4, 5].

Тем не менее для решения вопроса потребителя «ремонттировать старое или покупать новое изделие?» необходимо решение задачи целесообразности проведения работ восстановления изделия. Для бизнеса по восстановлению и ремонту изделий необходима общая методика выбора конкретных методов и вопросы, связанные с формулированием общей методики выбора наилучшего метода восстановления поверхностей изделий.

Таким образом, работа посвящена актуальным вопросам потребителя - определения возможности дальнейшей эксплуатации изношенного изделия и производителя - снижения стоимости восстановления элементов редукторов (зубчатых колес, валов, деталей корпусной группы), за счет выбора оптимального метода восстановления.

3. Постановка задачи

При восстановлении деталей машин, требующих ремонта, большое значение имеет выбор рационального способа их восстановления.

Существует три основных метода выбора процесса восстановления детали, отличающихся различной степенью учета технических и экономических показателей. Первый метод основан на расчетах полной себестоимости восстановления детали различными способами и сопоставлении их результатов. По второму методу сравнивают между собой комплексные величины в виде отношений технологических затрат к ресурсу деталей новой и восстановленной в качестве базового показателя принимают такое отношение для новой детали. Третий метод учитывает значения комплексного показателя как функции трех критериев: применимости, долговечности и технико-экономического показателя.

Недостатки первого метода кроются в отсутствии учета технического состояния и послеремонтной наработки восстанавливаемой детали и несопоставимости результатов расчетов. Второй и третий методы допускают в производство способы, которые при малой цене восстановления формируют и малую долговечность по сравнению с нормативной наработкой агрегата. Все методы оценивают полученные результаты, но ни один из них не формирует сам процесс восстановления детали.

4. Критерии выбора метода восстановления изделия

Критерии выбора метода восстановления имеют большое значение для ремонтной практики.

Правильный выбор способов восстановления деталей снижает стоимость ремонта, простой оборудования и расход материалов. Сложность выбора способов восстановления деталей заключается в том, что при сравнении вариантов приходится сопос-

тавлять не только материальные затраты, но и оценивать надежность и долговечность деталей после восстановления. При выборе способов восстановления деталей одновременно с уменьшением затрат следует учитывать и уменьшение времени ремонта. Таким образом, выбор способа восстановления деталей следует производить на основе комплексного анализа технической и экономической целесообразности их применения.

Критерием выбора метода восстановления при постоянных показателях качества восстановления можно принять время и себестоимость восстановления.

$$K_B = f(t_{\text{шт-к}}; C_{\text{ц}}) \quad (1)$$

Из формулы (1) следует многокритериальность задачи выбора метода восстановления. Решение двухкритериальных задач представляет некоторые трудности, поэтому получим зависимость себестоимости восстановления элемента редуктора, от метода восстановления.

Выразим зависимость себестоимости восстановления, от штучно калькуляционного времени.

$$\begin{aligned} C_{\text{ц}} &= M_0 + M_{\text{вс}} + Z_0 + Z_{\text{вс}} + A_0 + A_{\text{то}} + P_0 + И + Л + П_{\text{д}} + P_y = \\ &= (C_{\text{заг}} - g_{\text{отх}} \cdot C_{\text{отх}}) + (N_{\text{вс}} \cdot C_{\text{вс}} \cdot 1,1) + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{l \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta}{60} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \\ &\quad \cdot \left(\frac{0,25 \cdot l \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta}{60} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{N_{\alpha} \cdot C_{\text{в}}}{100 \cdot \Phi_{\text{д}}} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{N_{\alpha_0} \cdot C_{\text{в}_0}}{100 \cdot \Phi_{\text{до}}} \right) \\ &\quad + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{E}{60 \cdot \Phi_{\text{до}}} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{\Phi_{\text{и}} + \Pi}{T_{\text{сл и}} \cdot \mu_{\text{м}}} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{\Phi_{\text{п}} \cdot \alpha}{T_{\text{сл п}} \cdot 60} \right) \\ &\quad + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(N_{\text{т}} \cdot \mu_{\text{зв}} \cdot \mu_{\text{зм}} \cdot \frac{C_{\text{з}}}{6000} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{H_{\text{п}} \cdot P_y}{\Phi \cdot 60} \right) + t_{\text{шт-к}} \cdot \\ &\quad \cdot \left(\frac{350 \cdot i}{\Phi_{\text{yy}}} \right); \quad (2) \\ C_{\text{ц}} &= t_{\text{шт-к}} \cdot \left(\frac{l \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta}{60} + \frac{0,25 \cdot l \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta}{60} + \frac{N_{\alpha} \cdot C_{\text{в}}}{100 \cdot \Phi_{\text{д}}} + \frac{N_{\alpha_0} \cdot C_{\text{в}_0}}{100 \cdot \Phi_{\text{до}}} + \frac{E}{60 \cdot \Phi_{\text{до}}} + \frac{\Phi_{\text{и}} + \Pi}{T_{\text{сл и}}} \cdot \mu_{\text{м}} \right) \\ &\quad + \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot \alpha}{T_{\text{сл п}} \cdot 60} + N_{\text{т}} \cdot \mu_{\text{зв}} \cdot \mu_{\text{зм}} \cdot \frac{C_{\text{з}}}{6000} + \frac{H_{\text{п}} \cdot P_y}{\Phi \cdot 60} + \frac{350 \cdot i}{\Phi_{\text{yy}}} + (C_{\text{заг}} - g_{\text{отх}} \cdot C_{\text{отх}}) \\ &\quad + (N_{\text{заг}} \cdot C_{\text{вс}} \cdot 1,1); \quad (3) \end{aligned}$$

Из формулы (3) восстановления элементов редукторов прослеживается зависимость от времени восстановления.

$$\begin{aligned} K_B &= t_{\text{шт-к}} \cdot \sum_{i=0}^n G_i + E; \quad (4) \\ \text{где } G_1 &= \frac{l \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta}{60}; \quad G_2 = \frac{0,25 \cdot l \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta}{60}; \quad G_3 = \frac{N_{\alpha} \cdot C_{\text{в}}}{100 \cdot \Phi_{\text{д}}}; \quad G_4 = \frac{N_{\alpha_0} \cdot C_{\text{в}_0}}{100 \cdot \Phi_{\text{до}}}; \\ G_5 &= \frac{E}{60 \cdot \Phi_{\text{до}}}; \quad G_6 = \frac{\Phi_{\text{и}} + \Pi}{T_{\text{сл и}}} \cdot \mu_{\text{м}}; \quad G_7 = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot \alpha}{T_{\text{сл п}} \cdot 60}; \quad G_8 = N_{\text{т}} \cdot \mu_{\text{зв}} \cdot \mu_{\text{зм}} \cdot \frac{C_{\text{з}}}{6000}; \\ G_9 &= \frac{H_{\text{п}} \cdot P_y}{\Phi \cdot 60}; \quad G_{10} = \frac{350 \cdot i}{\Phi_{\text{yy}}}; \quad E = (C_{\text{заг}} - g_{\text{отх}} \cdot C_{\text{отх}}) + (N_{\text{заг}} \cdot C_{\text{вс}} \cdot 1,1); \end{aligned}$$

Таким образом, критерий выбора метода восстановления (см. зависимость (4)) является линейной однокритериальной функцией, зависящей от времени восстановления.

5. Алгоритм определения наилучшего метода восстановления

При определении наилучшего метода восстановления элементов редуктора приходится решать задачи выбора этих параметров из множества вариантов по критерию.

$$f(C_{\text{ц}}; t_{\text{шт-к}}) \rightarrow \min. \quad (5)$$

По структуре математическая модель выбора метода восстановления элементов редукторов является моделью с ограничениями. Ограничения функции являются линейными. Целевая функция задачи определения наилучшего решения, также является линейной.

Для отыскания оптимума целевой функции можно воспользоваться линейным итерационным программированием. Зная, что себестоимость проведения ремонта зависит от времени обработки и является функцией от этого параметра, можно определить минимальную технологическую себестоимость, соответствующую наилучшему методу восстановления. Так как $K_{\text{в}} = C_{\text{р}}$, то решение выбора наилучшего метода восстановления состоит в нахождении минимального времени восстановления (рис. 1), на границе интервала.

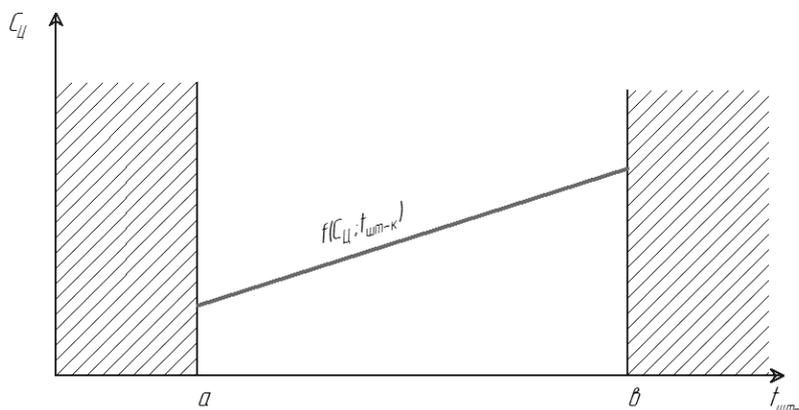


Рис. 1. Зависимость стоимости восстановления от штучного времени

Ограничениями задачи выбора оптимального решения являются технические характеристики изделия (величина передаваемого крутящего момента, количество ступеней редуктора, передаточное число редукторов и др.).

6. Методика выбора наилучшего метода восстановления элементов редукторов

Для практического применения разработанных мероприятий по выбору наилучшего метода восстановления элементов редукторов разработана методика для инженера-технолога машиностроительного предприятия, состоящая из следующих шагов:

1. Дефектировка изделия с составлением дефектовочной ведомости и указанием характера поломок деталей редуктора.
2. Отбор детали изделия, подлежащих восстановлению.
3. Выбор наилучшего метода восстановления дефектных деталей в зависимости от их типа на основании разработанных авторами блок-схем.
4. Оценка стоимости восстановления деталей и сравнение со стоимостью нового изделия.
5. Разработка технологического процесса восстановления элементов изделия, в случае экономической целесообразности восстановления детали.
6. Разработка технологической документации, согласно ЕСТП и ОСТ.

7. Определение значимости при решении задачи необходимости восстановления изделия

Одной из важных задач потребителя является решение задачи: приобретения нового изделия или ремонт старого изделия. В некоторых случаях, решение задачи выбора очевидно, стоимость ремонта, на первый взгляд, менее стоимости нового изделия (рис. 2,а). Однако, при решении такой задачи следует не забывать о том, что стоимость ремонта и нового изделия не является константой. На самом деле существует разброс стоимости ремонта старого изделия и разброс стоимости нового изделия. Так, если учесть этот разброс стоимости, то в случае (рис. 2,а), можно сделать вывод о допустимом выборе в сторону ремонта, поскольку максимальная стоимость ремонта изделия не превышает минимальную стоимость нового изделия. В случае пересечения зон разброса стоимости ремонта старого изделия и стоимости нового изделия, однозначного вывода в целесообразности затрат на ремонт старого изделия сделать нельзя (рис. 2,б).

Таким образом, для решения задачи выбора отремонтировать ли старое изделие, либо приобрести новое изделие, необходимо определение значимости двух выборочных средних.

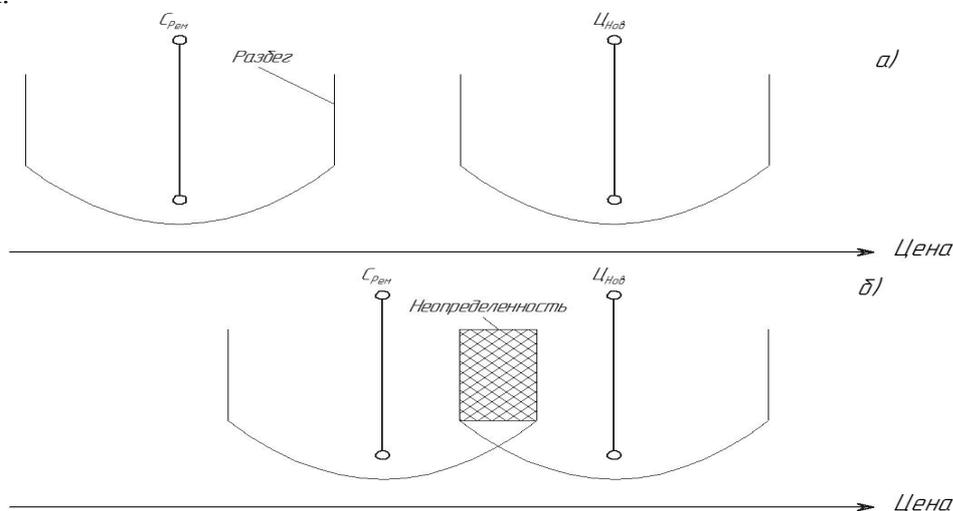


Рис. 2. Иллюстрация решения задачи выбора между покупкой нового изделия (цена нового изделия- $C_{нов}$) или ремонтом старого изделия (себестоимость ремонта старого изделия $C_{рем}$) с учетом флуктуаций стоимости

Сравнение двух выборочных средних по стоимости ремонта старого редуктора и стоимости нового редуктора, полученных в результате статистической обработки производится при условии их значимого отличия друг от друга, то есть при условии превышения их разности [6, 7]:

$$B = \overline{C_{нов}} - \overline{C_{рем}}, \quad (6)$$

Доверительного интервала величины B :

$$\{B\} = \pm t_{\alpha} \cdot S_B, \quad (7)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента при уровне значимости α . Здесь оценка дисперсии функции B определялась зависимостью:

$$S_B^2 = \left(\frac{S_1}{\sqrt{n_1}}\right)^2 + \left(\frac{S_2}{\sqrt{n_2}}\right)^2, \quad (8)$$

где S_1^2, S_2^2 – оценки дисперсий величин x_1 и x_2 ; n_1, n_2 – число экспериментов, поставленных при определении выборочных средних первой и второй величин.

8. Выводы

Для решения задачи выбора наилучшего метода восстановления элементов редукторов определен единый критерий, приведены ограничения системы выбора наилучшего решения, Приведен анализ функции оптимизации и определен её линейный характер. Разработан алгоритм определения оптимального выбора метода восстановления, исходя из минимизации стоимости восстановления. Разработана методика практического применения выбора наилучшего решения восстановления элементов редукторов для инженера-технолога машиностроительного предприятия. Для решения задачи выбора между покупкой нового изделия и ремонтом старого - разработан алгоритм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеенко Ф.И. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин. Справочник. / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
3. Воробьев В. С. Технология машиностроения и ремонт машин / В.С. Воробьев – М.: Высш. шк., 1981. – 344 с.
4. Михайлов А. Н., Михайлов Д. А., Грубка Р. М., Петров М. Г. Повышение долговечности деталей машин на базе функционально-ориентированных покрытий // Научно-технические технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2015. – № 7 (49). – С. 30–39.
5. Автоматизированное проектирование и моделирование составляющих процессов детонационно-газового нанесения покрытий / А. Н. Михайлов, В. В. Головатинская, А. М. Петров, П. С. Суслов, М. Г. Петров // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: Вісник нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів: НУ ЛПІ, 2012. – № 746. – С. 196–201.
6. Болтян А.В., Горобец И.А. Прогнозирование и оценка параметров продукции: Учебное пособие (издание 2-е переработанное и дополненное ISBN 966-8085-80-9) – Донецк: ДонНТУ, 2010. – 146 с.
7. Болтян А.В., Горобец И.А. Теория инженерных исследований: Учебное пособие (издание 3-е переработанное и дополненное ISBN 966-8085-80-9) – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 172 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2016