

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

**В статье решена задача выбора способа восстановления деталей на основе математического описания и системного анализа информационных и энергетических процессов, происходящих на поверхности предмета восстановления как при технологическом воздействии, так и при эксплуатации.**

**Ключевые слова:** метод восстановления, критерии оценки, информация, энергия, пластическая деформация.

Проблема выбора метода восстановления деталей в авторемонтном производстве сопряжена с необходимостью системного анализа взаимодействия трех основных объектов – I-исполнитель; II-оборудование и средства технологического оснащения (СТО); III-предмет восстановления, их функций и ресурсов. Эти объекты находятся в связях и отношениях между собой и производственной средой. Функция данной системы заключается в переработке предмета восстановления посредством применяемого технологического процесса, совокупность технологических воздействий которого и СТО ограничивается с одной стороны – минимальным расходом производственных ресурсов и ограничениями по производительности труда; с другой стороны – безусловны получением необходимых свойств восстановленной детали.

Задача выбора метода восстановления деталей впервые была поставлена и решена В.А. Шадричевым [1], а впоследствии многократно видоизменялась другими авторами и решалась различными методами [2-6].

Существует три основных метода выбора технологического 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 крите-

риев: применимости, долговечности и технико-экономического.

Недостатки первого метода кроются в отсутствии учета технического состояния и после-ремонтной 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 технологический процесс восстановления детали.

Критерии оценки качества технологического процесса восстановления детали имеют большое значение для ремонтной практики, поэтому непрерывно уточняются.

В работе [2] предложено в качестве критерия соотношение затрат и наработки машины, руб./км.

В работе [3] в качестве критерия определено условие рациональности восстановления в следующем виде:

$$\frac{C_B i_B}{I_B} \leq \frac{C_H i_H}{I_H}, \quad (1)$$

где  $C_B$  и  $C_H$  – соответственно стоимости восстановления изношенной детали и изготовления новой детали, руб;

$i_B$  и  $i_H$  – интенсивность изнашивания восстановленной и новой детали, мм/ч;

$I_B$  и  $I_H$  – величина предельного износа восстановленной и новой деталей, мм.

В работе [1] автор обосновал критерии выбора рационального способа восстановления детали в зависимости от конструктивно-технологических особенностей и условий работы де-

талей, величины их износа, эксплуатационных свойств самих способов, определяющих долговечность восстановленных деталей, и стоимости восстановления. Для оценки способа предложены частные критерии применимости, долговечности и экономичности. Окончательный выбор способа проводится с помощью технико-экономического критерия, связывающего долговечность детали с экономикой ее восстановления, по формуле:

$$C_B \leq k_d C_H \quad (2)$$

где  $k_d$  – коэффициент долговечности восстановленной детали как отношение долговечностей восстановленной и новой деталей.

В исследовании [4] введено условие, согласно которому сумма приведенных затрат при восстановлении конструктивно-технологических параметров изношенных деталей до уровня новых деталей должна быть минимальной.

Трудности применения комплексных стоимостных критериев вызвали необходимость применения частных критериев.

Автор [5] ввел комбинированный критерий  $\varphi_{ki}$ , отражающий энерго-, трудоемкость, приведенные затраты и долговечность детали:

$$\varphi_{ki} = \frac{K_{1i} K_{2i} K_{3i}}{K_{di}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$ ,  $K_{3i}$  – соответственно коэффициенты энерго-, трудоемкости и экономичности технологического процесса восстановления детали  $i$ -м способом;

$k_{di}$  – коэффициент долговечности восстановленной  $i$ -м способом детали.

Коэффициент долговечности в выражении (3) определяют по отношению не к новой детали, а к нормативному ресурсу отремонтированного агрегата.

Показатели долговечности, явно введенные составной частью в объем содержания критериев восстановления деталей, затрудняют их применение на производстве. Разработка технологического процесса восстановления детали с учетом величин послеремонтной наработки требует длительных исследований изменения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей и других параметров во время эксплуатации отремонтированных агрегатов. Только длительность таких исследований превышает приемлемые сроки технологической подготовки восстановительного производства.

Автор [6] предлагает оценивать конкурентные способы восстановления деталей с точки зрения качества, используя конструктивные и технологические характеристики деталей, учитывающие наиболее важные признаки: форму, размеры, толщину покрытия, твердость поверхности, усталостную прочность элементов детали, характер действующих нагрузок. На основании этих признаков определяют возможные способы восстановления и их удельные показатели: энергоемкость, материалоемкость, трудоемкость, себестоимость и относительную долговечность на единицу площади восстанавливаемой поверхности.

Выбранные конкурирующие способы восстановления анализируют по удельным показателям для поиска наиболее эффективного варианта восстановления детали.

Относительный удельный показатель  $i$ -того способа рассчитывается по формуле:

$$\gamma_i = \frac{W_i}{\sum W_n} + \frac{Q_i}{\sum Q_n} + \frac{\beta_i}{\sum \beta_n} + \frac{T_i}{\sum T_n} + \frac{C_i}{\sum C_n}, \quad (4)$$

где  $W_i$ ,  $Q_i$ ,  $\beta_i$ ,  $T_i$ ,  $C_i$  – значения удельных показателей  $i$ -того способа восстановления. Соответственно, энергозатраты, кВт.ч; материалоемкость, кг; показатель использования производственной площади, м<sup>2</sup>; трудоемкость, чел. ч; себестоимость, у.е.;

$\sum W_n$ ,  $\sum Q_n$ ,  $\sum \beta_n$ ,  $\sum T_n$ ,  $\sum C_n$  – сумма значений одноименных удельных показателей всех возможных способов восстановления.

Интегральный показатель  $i$ -того способа определяется по формуле:

$$I_i = \frac{\gamma_i}{\alpha_i}, \quad (5)$$

где  $\alpha_i$  – относительная долговечность детали, восстановленной  $i$ -м способом.

Оптимальным способом восстановления будет тот, у которого интегральный показатель имеет минимальное значение.

Анализируя рассмотренные выше критерии оценки качества технологических процессов восстановления деталей, можно предположить, что наиболее информативной является энергетическая оценка, позволяющая количественно оценить долговечность восстановленной поверхности на стадии проектирования технологического процесса.

Качество технологического процесса восстановления детали есть функция от энергозатрат:

$$N=f(W), \quad (6)$$

где  $N$  – показатель уровня качества технологического процесса;

$W$  – энергозатраты на восстановление и эксплуатацию детали, кВт.ч.

Современные концепции восстановления деталей машин, в том числе и автомобильных, неразрывно связаны с энергетическими процессами, происходящими как на поверхностях восстанавливаемых деталей, так и в управлении ими [7-14]. Причем формы проявления и представления информации об энергетических процессах многообразны.

На нижнем уровне находятся исходные технологические формообразующие процессы. Поэтому роль технологических процессов исключительно велика. Для перехода на новую технологию восстановления изношенных поверхностей необходима дополнительная информация о качестве детали в процессе ее восстановления и качестве, которое формируется в контактных (трибологических) парах при ее работе. В частности о совместимости энергий деталей рабочего узла в процессе эксплуатации.

По мнению автора [12] информационное и энергетическое поля трибологической системы следует рассматривать в трех аспектах: форма проявления информации и ее качественные показатели; взаимодействие параметров качества, характеризующих восстановленный поверхностный слой; число информационных показателей (на входе – характеристики восстановленной поверхности детали, на выходе – эксплуатационные показатели). Оптимальное решение поставленной проблемы – математическое описание энергетических и информационных процессов, происходящих как на стадии восстановления детали, так и на стадии ее эксплуатации. Математическая модель позволяет исследовать влияние различных факторов на качество, экономичность и безопасность нового технологического процесса восстановления детали.

Общий характер потребности энергии при восстановлении и эксплуатации, т.е. нагрузочном воздействии на восстановленную поверхность, показан на рисунке 1, где  $N$  – показатель уровня качества восстановленной поверхности,  $W$  – энергозатраты. Кривая 1 описывает затраты энергии на восстановление включая обеспечение заданного качества поверхностного слоя, кривая 2 – энергозатраты (теоретические) на приработку и установившийся износ в процессе эксплуатации.

Учитывая, что нагрузочно-скоростные и тепловые характеристики на поверхностях коренных опор блока цилиндров не постоянны и в системе «коренная опора – вкладыш – шейка коленвала» действует ряд случайных факторов, то реальная кривая 3 энергозатрат при эксплуатации отличается от теоретической.

Из рисунка 1 следует, что чем выше качество восстановленной поверхности, тем выше и уровень энергии, затрачиваемой на достижение этого качества (кривая 1). Уравнение, описывающее кривую 1, можно записать в виде формулы:

$$N = \frac{e^{K_w} - e^{-K_w}}{e^{K_w} + e^{-K_w}} C_w, \quad (7)$$

где  $K_w$  – показатель степени, учитывающий нелинейность энергозатрат на восстановление;

$C_w$  – коэффициент, учитывающий влияние различных факторов.

Результаты анализа отказов двигателей КАМАЗ, полученных в ГУП «Башавтотранс», показывают, что преждевременный износ коренных опор есть результат несоответствия требуемых и фактических затрат энергии на обеспечение адекватного качества на технологических операциях. Очевидно, что оценка данного рассогласования  $\Delta_{K_i}$  будет тем точнее, чем больше число оценочных параметров. Рассогласование между создаваемым в процессе восстановления коренных опор параметром качества и минимально допустимым базовым его значением  $x_0$  должно находиться в пределах допуска  $\delta$ . Условие рассогласования записывается в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \Delta_{K1} = |x_1 - x_{01}| \geq \delta_1 \\ \Delta_{K2} = |x_2 - x_{02}| \geq \delta_2 \\ \dots \\ \Delta_{Ki} = |x_i - x_{0i}| \geq \delta \end{cases} \quad (8)$$

где  $x_i$ ,  $x_{0i}$  – соответственно минимально допустимые значения параметров качества.

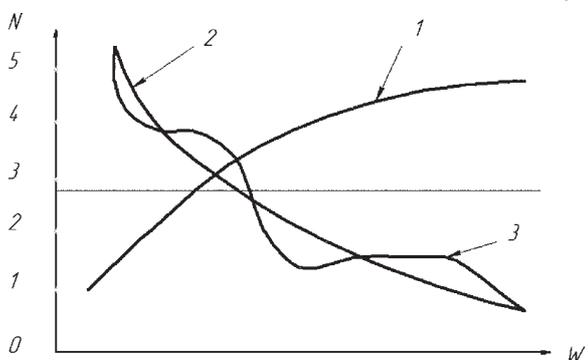


Рисунок 1. Зависимость показателей качества от затрат энергии

стимые значения физико-механических параметров качества и реального качества, полученного в процессе восстановления;

$\delta_1$  – предел допуска параметра качества.

Для решения уравнения (7) необходимо знать величину показателя степени  $K_w$  и коэффициента  $C_w$ .

Так как основной причиной износа коренных опор блоков цилиндров двигателей КАМАЗ являются недостаточные физико-механические свойства чугуна СЧ-25 [13], основным параметром, определяющим качество восстановленных поверхностей, является предел выносливости при переменных напряжениях  $\sigma_{02}$  высокопрочного чугуна, используемого для восстановления коренных опор. Поэтому в качестве показателя степени  $K_w$  в уравнении (7) принимаем отношение:

$$K_w = \frac{\sigma_{02}(BЧ)}{\sigma_{02}(СЧ - 25)}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{02}(BЧ) = 400$  МПа;

$\sigma_{02}(СЧ-25) = 220$  МПа.

$$K_w = \frac{400}{220} = 1,75$$

Что касается математической оценки  $C_w$  для технологического процесса электроконтактной приварки, то его можно представить в общем случае в виде соотношения:

$$C_w = a_1 c_1 + a_2 c_2 + \dots + a_i c_i, \quad (10)$$

где  $a_i$  – весовые показатели, характеризующие влияние каждого из параметров электроконтактной приварки на длительность работы восстановленной поверхности, например, количество теплоты  $Q$  (Дж), усилие сжатия электродов  $P$  (кН), скорость охлаждения  $\omega$  ( $^{\circ}C/c$ ) и др. ;

$c_i$  – отношение соответствующего параметра качества восстановленной поверхности к минимально допустимому, заданному техническими условиями изготовителя, например, твердость поверхности (НВ), предел выносливости  $\sigma_{02}$  (МПа), ударная вязкость  $\gamma$  (Дж/см<sup>2</sup>).

Определение допустимой величины каждого из показателей качества поверхностного слоя восстановленной поверхности, их взаимное влияние пока не изучено достаточно подробно. Кроме того, учитывая двойственную природу изнашивания трибологической пары, нельзя не допустить, что в каждом кон-

кретном случае может иметь место обстоятельство, когда величина одного из параметров оказывает доминирующее влияние на обеспечение высокой долговечности. Но окончательную оценку качества восстановленной поверхности можно дать только в процессе экспериментальных исследований или в эксплуатации. Характер реальных кривых 2 и 3 (рисунок 1) энергозатрат показывает, что периодичность отказов и амплитуда их волн в первую очередь зависят от параметров качества восстановленной поверхности: чем больше кривая 3 соответствует кривой 2, тем выше качество и устойчивость восстановленной поверхности к процессу изнашивания. Эта устойчивость может быть оценена по теории А.М. Ляпунова:

$$N_s = k_s e^{-\tau} + 1 \quad (11)$$

где  $k_s$  – коэффициент, учитывающий нагрузочно-скоростные характеристики, действующие на восстановленную поверхность;

$f(W)$  – показатель степени, характеризующий качество восстановленной поверхности исходя из уровня затрачиваемой энергии при ее получении.

Из формулы (11) следует, что если  $\tau \rightarrow 5$  (уровень энергозатрат на восстановительных операциях высок), то процесс износа восстановленной поверхности при эксплуатации устойчив, так как уровень энергозатрат при этом  $N_s \rightarrow 1$ , т.е. минимален.

Проведенный анализ состояния вопроса выбора метода восстановления деталей позволяет сделать следующие выводы.

1. Качество восстановленной поверхности определяется заданным числом параметров, каждый из которых представляет собой совокупный результат условий формирования операций нового технологического процесса.

2. Анализ информационной составляющей увеличивает возможности формализованного описания технологических процессов, что способствует повышению качества и надежности восстанавливаемых деталей.

3. Представление восстановленной поверхности детали как своеобразного информационного экрана, «изображение» на котором изменяется с течением времени, позволяет реализовать скрытые возможности построения перспективных высокотехнологичных процессов восстановления деталей.

4. Энергетическая оценка технологических воздействий на предмет восстановления позволяет количественно оценить долговечность восстановленной поверхности на стадии проектирования технологического процесса.

29.09.2011

**Список литературы:**

1. Шадричев, В.А. Основы технологии автостроения и ремонта автомобилей / В.А. Шадричев. – Л.: Машиностроение, 1976. - 560с.
2. Ефремов, В.В. Ремонт автомобилей / В.В. Ефремов. – М.: Транспорт, 1965. -315с.
3. Казарцев, В.И. Передовые способы восстановления автотракторных деталей / В.И. Казарцев. – М.: Сельхозгиз, 1958. - 205с.
4. Воловик, Е.Л. Справочник по восстановлению деталей /Е.Л. Воловик. – М.: Колос, 1981. – 351с.
5. Батищев, А.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники / А.Н. Батищев, И.Г. Голубев, В.П. Лялякин. – М.: Информтехиздат, 1995. - 296с.
6. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов. Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. - 672с.
7. Курчаткин, В.В. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов. Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000, 776с.
8. Справочник технолога авторемонтного производства / Под ред. Г.А. Малышева. – М.: Транспорт, 1977. - 431с.
9. Ачкасов, К.А. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники / К.А. Ачкасов. – М.: Колос, 1980. – 42 с.
10. Хевиленд, Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Р. Хевиленд. Перевод с английского Б.А. Чумаченко. Под ред. Г.Н. Баласанова. – М.: Издательство «Энергия», 1966. – 232 с.
11. Ковалев, Ф.И. Блок цилиндров дизеля КАМАЗ-740 из чугуна с вермикулярным графитом /Ф.И. Ковалев, С.П. Королев, Э.В. Панфилов //Автомобильная промышленность. - 2007. - №4. – С. 33-35.
12. Филатов М.И., Славненко В.П. Проблемы восстановительного ремонта деталей из серого чугуна методами электродуговой сварки //Сборник материалов IX Российской научно-практической конференции. – Оренбург: ОГУ, 2009. С. 399-404
13. Славненко В.П., Яшаров Ф.К. Характерные неисправности и причины выхода из строя двигателей семейства КАМАЗ-740 в условиях Республики Башкортостан // Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Пермь: Пермский ГТУ, 2010
14. Филатов М.И., Славненко В.П. Оценка качества технологических процессов изготовления и сборки звеньев размерной цепи КШМ двигателя КАМАЗ // Научно-технический вестник Поволжья №3. – Казань: 2011. С. 166-172
15. Филатов М.И., Славненко В.П. Обоснование метода восстановления коренных опор блока цилиндров двигателя КАМАЗ-740 // Научно-технический вестник Поволжья №4. – Казань: 2011. С. 203-207

Сведения об авторах:

**Филатов Михаил Иванович**, заведующий кафедрой ТЭРА транспортного факультета Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор, e-mail: filatovogu@gmail.com

**Славненко Владимир Петрович**, старший преподаватель кафедры ААХ Кумертауского филиала Оренбургского государственного университета, e-mail: vladimirogu@yandex.ru

**UDC 629.113.004.67+004.9**

**Filatov M.I., Slavnenko V.P.**

Orenburg state university, e-mail: trf@mail.osu.ru

**THEORETICAL JUSTIFICATION OF CAR PARTS RECOVERY METHOD BASED ON INFORMATION AND ENERGY ASSESSMENT**

The authors solved the task of choosing how to restore parts based on the mathematical description and systematic analysis of information and energy processes occurring on the surface of the subject of recovery both in the technological impact and exploitation.

Key words: restore method, the criteria for evaluation, information, energy, plastic deformation

**Bibliography**

1. Shadrichev, V.A. Osnovy of technology of an autostructure and car repairs / V.A. Shadrichev. – L.: mechanical engineering, 1976. -560s.
2. Efremov, V.V. Remont avtomobilej / V.V. Efremov. – TH.: transport, 1965. -315s.
3. Kazartsev, Century And. The advanced ways of restoration of autotractor details / V.I. Kazartsev. – TH.: Сельхозгиз, 1958. -205s.
4. Bugloss, E.L. Director on restoration of details/E.L. A bugloss. – M: the Ear, 1981. – 351с.
5. Batishchev, A.N. restoration of agricultural machinery details / A.N. Batishchev, I.G. Golubev, V.P. Ljaljakin. – TH.: Информтехиздат, 1995. -296s.
6. Restoration of details of cars: a directory / F.I. Panteleenko, V.P. Ljaljakin, V.P. Ivanov, V.M. Konstantinov. Under the editorship of V.P. Ivanov. – TH.: Mechanical engineering, 2003. -672s.
7. Kurchatkin, V.V. Nadezhnost and repair of cars / V.V. Kurchatkin, N.F. Telnov, K.A. Achkasov. Under the editorship of V.V. Kurchatkina. – TH.: an ear, 2000, 776с.
8. Directory of the technologist of autorepair manufacture / Under the editorship of G.A. Malysheva. – TH.: Transport, 1977. -431s.
9. Achkasov, K.A. progressive ways of repair of agricultural machinery / K.A. Achkasov. – TH.: an ear, 1980. -42s.
10. Hevilend, the River Engineering reliability and calculation on durability / R. Hevilend. B.A. Chumachenko's Translation from English. Under the editorship of G.N. Balasanova. – TH.: Publishing house «Energy», 1966. -232s.
11. Kovalev, F.I. block of cylinders of diesel engine КАМАЗ-740 from pig-iron with вермикулярным графитом/F.I. Kovalev, С.П. Korolev, E.V. Panfilov//Motor industry. -2007. - №4. -s.33-35.
12. Filatov M. I, Slavnenko V.P. Problems of regenerative repair of details from gray pig-iron methods of electroarc welding /the Collection of materials of IX Russian scientifically-practical conference. – Orenburg: ОГУ, 2009. With. 399-404
13. Slavnenko V. P, Japparov F.K. characteristic of malfunction and the reason of failure of engines of family КАМАЗ-740 in the conditions of Republic Bashkortostan//the Collection of materials of the international scientifically-practical conference. – Perm: Perm ГТУ, 2010
14. Filatov M. I, Slavnenko V.P. Estimation of quality of technological processes of manufacturing and assemblage of links of dimensional chain КШМ of engine КАМАЗ//the Scientific and technical bulletin of the Volga region №3. – Kazan: 2011. p.166-172
15. Filatov M. I, Slavnenko V.P. The basikele of a method of restoration of radical support of the block of cylinders of engine КАМАЗ-740//the Scientific and technical bulletin of the Volga region №4. – Kazan: 2011. p. 203-207