

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ОПТИМИЗАЦИЯ

*Ярошевич В.К., д.т.н., профессор; Гурский А.С., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск*

В работе рассмотрены критерии, по которым можно оценить целесообразность восстановления деталей. С рыночных позиций как автотранспортные, так и специализированные ремонтные предприятия сейчас заботятся не о выполнении плана, а о прибыльности (или как минимум безубыточности) своей работы. Это возможно при экономически обоснованном подборе деталей для восстановления и правильно выбранном варианте технологии восстановления.

Анализ отечественного и зарубежного опыта в этой области показывает, что эту проблему можно решить по предлагаемому алгоритму (рис. 1).

Детали, снятые с автомобиля (агрегата, узла) и прошедшие соответствующую очистку, поступают на участок определения технического состояния (дефектации), где их разделяют на три группы: негодные (не подлежащие восстановлению); годные для восстановления; годные для повторного использования (без восстановления).

Восстановление деталей выгодно. Известно, что они теряют свою потребительскую стоимость, как правило, вследствие естественного износа рабочих поверхностей (0,2–1,5% по массе). Затраты на материалы при их восстановлении составляют 2–15% себестоимости (при изготовлении новой детали – 70–75%).

Первый этап предусматривает определение оптимальных способов восстановления отдельных поверхностей. Для этого используется методика, разработанная Шадричевым В.А. [1] и усовершенствованная Масиной М.А. [2]. В соответствии с ней вначале рассматривают различные способы восстановления поверхностей и определяют среди них такие, которые в принципе могут быть применимы для данной детали (конкурентные способы). Для этого используются конструктивные и технологические характеристики деталей, учитывающие восемь наиболее важных признаков: форму, размеры, толщину покрытия, твердость поверхности, усталостную прочность материала детали, характер действующих нагрузок [3].

После этого способы оценивают по их эффективности. По чертежу детали выбирают класс и группу, к которой относится деталь по конструктивно-технологическим признакам. Классов деталей – 7 (корпусные, полые цилиндры, валы, диски и т.д.), в каждом классе может быть от 3 до 7 групп (для валов, например, это полуоси, валы коленчатые, оси, штанги,

валы шлицевые и др.). В зависимости от класса и группы детали выбирают конкурентные способы восстановления и производят их оценку.

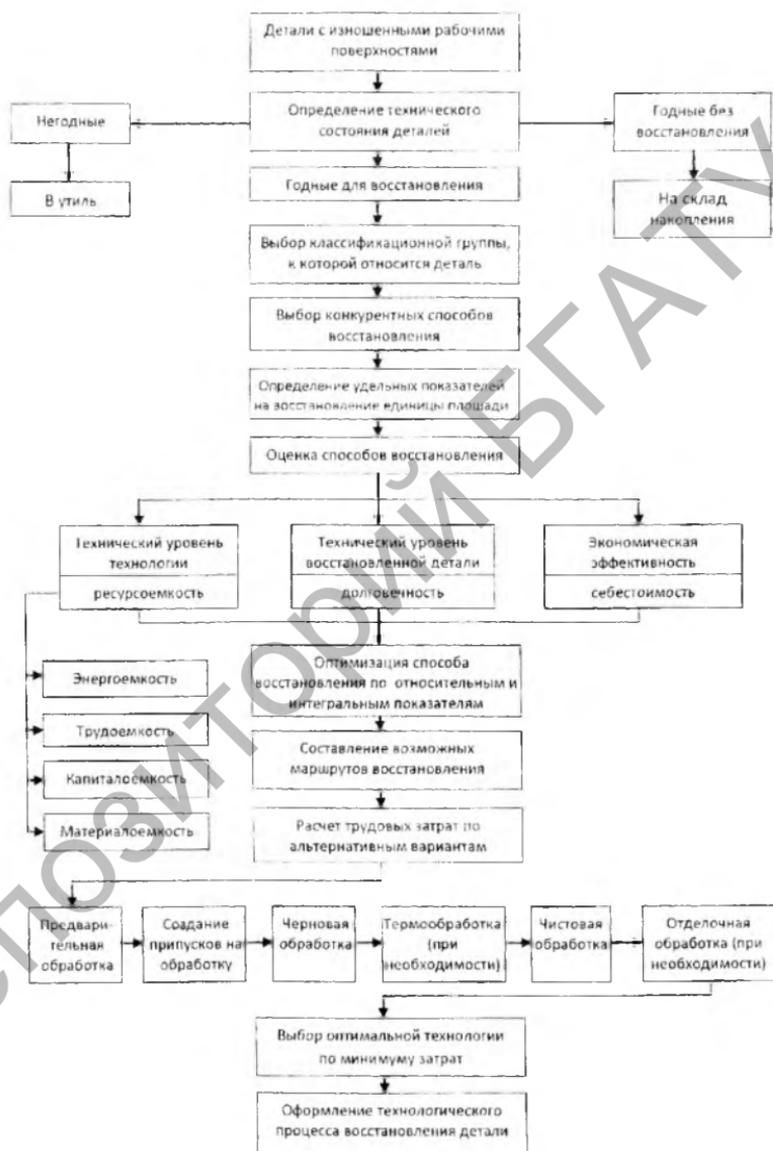


Рис. 1. Схема этапов разработки технологии восстановления деталей

При этом учитывается технический уровень восстановительной технологии, экономическая эффективность восстановительного производства и технический уровень восстановленных деталей.

Технический уровень технологии характеризуется показателем ресурсоемкости, включающем энергоемкость, капиталоемкость, материалоемкость и трудоёмкость.

Технический уровень детали после восстановления оценивается по двум показателям – точности и долговечности. Так как технические требования к геометрическим размерам и физико-механическим свойствам новых и восстановленных деталей одинаковы, то достаточно, чтобы деталь обладала достаточной долговечностью.

Экономическая эффективность оценивается по себестоимости восстановленной детали.

Конкурирующие способы характеризуются удельными показателями на 1 дм<sup>2</sup> восстанавливаемой поверхности: энергозатратами  $W$ , расходом материалов  $Q$ , показателем использования площади  $\beta$ , трудоёмкостью  $q_c$ , себестоимостью восстановления  $C_n$  и относительной долговечностью  $\alpha$  [4].

Для выполнения анализа и определения наиболее эффективного варианта восстановления детали составляем таблицу следующей формы (табл. 1).

Таблица 1 – Таблица для расчета эффективности способов восстановления

Возможные способы восстановления	Удельные показатели на 1 дм <sup>2</sup> поверхности					Относительный удельный показатель <i>i</i> -го способа	Относительная долговечность	Значение интегрального показателя
	$W$ , кВт	$Q$ , кг	$\beta$ , м <sup>2</sup>	$T$ , чел.-ч	$C_n$ , у.с.			
Способ №1	$W_1$	$Q_1$	$b_1$	$T_1$	$C_{n1}$	$\gamma_1$	$\alpha_1$	$I_1$
Способ №2	$W_2$	$Q_2$	$b_2$	$T_2$	$C_{n2}$	$\gamma_2$	$\alpha_2$	$I_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Способ № <i>n</i>	$W_n$	$Q_n$	$b_n$	$T_n$	$C_{nn}$	$\gamma_n$	$\alpha_n$	$I_n$
Суммарное значение удельных показателей	$\Sigma W_n$	$\Sigma Q_n$	$\Sigma b$	$\Sigma T_n$	$\Sigma C_{nn}$	–	–	–

Относительный удельный показатель *i*-го способа рассчитывается по формуле

$$\gamma_i = \frac{W_i}{\Sigma W_n} + \frac{Q_i}{\Sigma Q_n} + \frac{\beta_i}{\Sigma \beta_n} + \frac{T_i}{\Sigma T_n} + \frac{C_{Vi}}{\Sigma C_{Vn}} \quad (1)$$

где  $W_n, Q_n, \beta_n, T_n, C_{Bn}$  – значение удельных показателей  $i$ -го способа восстановления;  $\Sigma W_n, \Sigma Q_n, \Sigma \beta_n, \Sigma T_n, \Sigma C_{Bn}$  – сумма значений одноименных удельных показателей всех возможных способов восстановления.

Интегральный показатель  $i$ -го способа определяется следующим образом:

$$I_i = \frac{\gamma_i}{\alpha_i}, \quad (2)$$

где  $\gamma_i$  – относительный удельный показатель  $i$ -го способа;  $\alpha_i$  – относительная долговечность детали, восстановленной  $i$ -м способом.

Оптимальный способ восстановления детали имеет минимальное значение интегрального показателя.

На кафедре технической эксплуатации автомобилей БНТУ разработана программа «ОптТех», реализующая приведенную последовательность операций по имеющимся исходным данным с выдачей на печать трех наиболее эффективных способов восстановления отдельных поверхностей детали.

Следующим этапом является разработка технологического процесса (ТП) восстановления детали в целом. Оптимизация ТП заключается в том, что из числа возможных технологических операций, образующих процесс, определяют такую их последовательность, которая обеспечит требуемую производительность и качество с наименьшими затратами [5].

При выборе варианта ТП содержание операций процесса восстановления детали выбирают из графа (рис. 2), составленного из вершин и дуг. Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это  $i$ -е подмножество однотипных технологических операций. Так, например, операция «нанесение покрытия» при восстановлении детали может быть представлена такими ее видами, как наплавка, напыление, электрохимическое нанесение и др. Виды технологических операций выбираются из логических и эвристических представлений о различных способах восстановления [6]. Число рядов вершин в общем виде равно числу технологических операций, составляющих ТП. Каждая операция ТП необходима и достаточна для приведения восстанавливаемого изделия в состояние, которое определено конструкторской документацией. Длину каждой дуги графа определяют как затраты на выполнение операции.

Таким образом, все вершины графа, построенного по правилам «морфологического» анализа, соответствуют составу операций, а дуги – трудовым затратам на выполнение технологических операций. Вершины графа, взятые по одной из каждого ряда, определяют один из вариантов технологического процесса. Оптимизация процесса заключается в поиске кратчайшего пути из вершины  $O$  в одну из вершин нижнего яруса графа, а соответствующие вершины на этом пути определяют оптимальный состав

операций технологического процесса. Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Расчеты при этом ведутся от вершины *O* графа через одну из вершин каждого яруса, находят сочетание операций, которое обеспечивает наименьшие затраты на выполнение технологического процесса. Соответствующее значение целевой функции читают в нижней вершине графа.

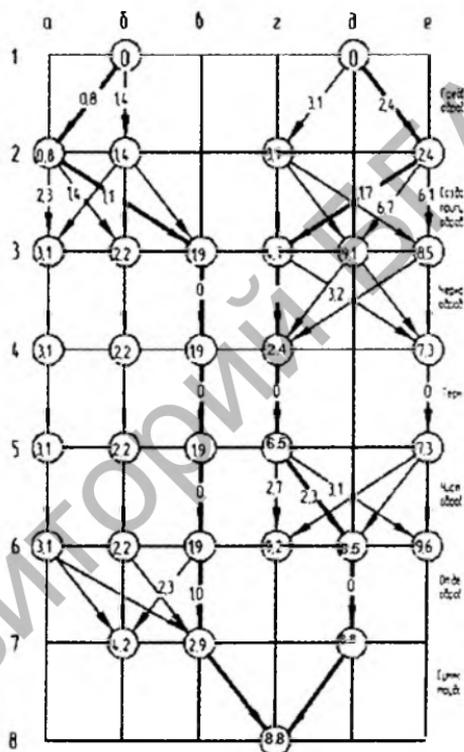


Рис. 2. Граф вариантов технологического процесса восстановления гильзы цилиндра

В качестве примера рассмотрим процесс восстановления гильзы цилиндра двигателя ЯМЗ-238 с износом внутренней поверхности цилиндра и наружной цилиндрической поверхности верхнего пояска.

Морфологическая матрица и соответствующий ей граф вариантов ТП с затратами на выполнение операций приведены на рисунке 2 и в таблице 2. Значения длин дуг графа приведены в их разрывах (величина трудозатрат).

Таблица 2 – Матрица операций технологического процесса восстановления гильзы цилиндра

Содержание операций		Способ реализации	Координаты вершин	Трудовые затраты, мин
Предварительная обработка	а) Пояска	Точение	2а	0,8
		Шлифование	2б	1,4
	б) Цилиндра	Точение	2е	2,4
		Шлифование	2г	3,1
Создание припуска на обработку	а) Пояска	Железнение	3а	2,3
		Дуговое напыление	3б	1,4
		Электромагнитное нанесение порошка	3в	1,1
	б) Цилиндра	Термопластическое обжатие	3г	1,7
		Установка ДРД	3е	6,1
		Железнение	3д	6,7
Черновая обработка	а) Пояска	-	-	-
	б) Цилиндра	Растачивание	4г	2,4
		Шлифование	4е	3,2
Термообработка	а) Пояска	-	-	-
	б) Цилиндра	-	-	-
Чистовая обработка	а) Пояска	-	-	-
	б) Цилиндра	Чистовое точение	6г	2,7
		Хонингование	6д	2,3
		ППД	6е	3,1
Отделочная обработка	а) Пояска	Полирование	7б	2,3
		ППД	7в	1,0
	б) Цилиндра	-	-	-
Суммарная трудоемкость, мин				11,7

Расчет производится по отдельным по дефектам – износ пояска и диаметра цилиндра, а в нижней вершине графа получаем суммарные затраты времени на восстановление гильзы. В качестве критерия оптимизации выбраны трудозатраты ввиду легкости расчета их величины, кроме того, от трудоемкости работ зависят также расход материалов, электроэнергия, амортизация оборудования и т.д. По трудозатратам можно рассчитать заработную плату исполнителей, а по ней и стоимость восстановления детали в денежном выражении.

Расчеты начинают с определения минимального значения затрат в вершинах второго яруса графа, потому что значения затрат выше 1-го яруса формально равны нулю. Сравнение длин дуг 1б-2а и 1б-2б (для пояска) и 1д-2г и 1д-2е (для цилиндра) даст основание выбрать направление движения вдоль дуг 1б-2а и 1д-2е и ориентировать их стрелкой в вершины 2а и 2е, в которые вписывается минимальное значение функции (0,8 и 2,4 мин). Из вершины 2а возможны три пути движения, но путь по дуге 2а-3в дает минимальное значение затрат (1,9 мин). Аналогично для цилиндра из вершины 2е движемся по дугам 2е-3г, 2е-3д и 2е-3е, но выбираем путь по дуге 2е-3г, а в вершину 3г вписываем минимальное значение

затрат. Для пояса гильзы операции черновой, термической и чистовой обработки отсутствуют, поэтому на 4, 5 и 6 ярусы по направлениям а, б и в опускаются цифры, записанные в вершинах 3а, 3б и 3в.

Для цилиндра из вершины 3г есть два пути – вдоль дуг 3г-4г и 3г-4е. Выбираем путь 3г-4г с минимумом затрат, величину которых вписываем в вершину 4г (6,5 мин). Операцию термообработки опускаем, а цифры из вершин 4г и 4е опускаем в вершины 5г и 5е. Из вершины 5г возможны три пути, выбираем дугу 5г-6д и минимальное значение затрат вписываем в вершину 6д.

Рассмотрим движение с 6 на 7 ярус. Отделочная обработка пояса осуществляется по дуге 6в-7в, и суммарные затраты на его восстановление вписываем в вершину 7в (2,9 мин). Отделочная обработка цилиндра не производится, поэтому окончательные затраты на его восстановление переносятся из вершины 6д в вершину 7д. Суммарные трудозатраты на восстановление гильзы цилиндра вписываем в вершину 8г (11,7 мин).

На кафедре технической эксплуатации автомобилей БНТУ разработана программа выбора оптимальной технологии восстановления детали «Восстех», реализующая изложенную методику.

Рассматриваемый метод выбора технологического процесса восстановления детали учитывает освоенные и перспективные способы создания ремонтных заготовок, а также и их обработки и обеспечивает наименьшие затраты на его реализацию. Изменение затрат на отдельные виды работ и появление новых технических решений могут потребовать пересмотра результатов проделанной работы.

Выбранный по результату оптимизации технологический процесс оформляется в виде технической документации.

#### *Список использованных источников*

1. Шадричев, В.А. Основы выбора рационального способа восстановления автомобильных деталей металлопокрытиями / В.А. Шадричев. – М.: Машгиз, 1962. – 296 с.
2. Масино, М.А. Организация восстановления автомобильных деталей / М.А. Масино. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.
3. Ярошевич, В.К. Технология ремонта автомобилей / В.К. Ярошевич, А.С. Савич, А.В. Казанкий. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 392 с.
4. Савич, А.С. Технология и оборудование ремонта автомобилей / А.С. Савич, В.П. Иванов, В.К. Ярошевич. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2009. – 464 с.
5. Ярошевич, В.К. – Технология производства и ремонта автомобилей / В.К. Ярошевич, А.С. Савич, В.П. Иванов. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2011. – 592 с.
6. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеевко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.