

**MIROSHNICHENKO I.A. Processing of entrance signals a method of weight summation at diagnostics of a technical condition of Mashines and mechanisms**

Complex undisassemble the estimation of a technical condition of machines and mechanisms both at design stages and manufacturing, and at operation phases and repair considerably reduces material and labor expenses for maintenance service and equipment repair, provides its accident-free operation.

In article the method of weight summation is considered at processing of entrance signals from pulse gauges. Thus the signal about a kinematic error is formed as a result of estimations of angles of rotation of initial and final links of controllable transfer with their subsequent weight algebraic summation.

УДК 621.81.004.67(075)

**Кастрюк А.П., Иванов В.П.**

## **ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Введение.** Эффективность ремонта техники обусловлена содержанием и объемом подготовительных работ, которые предшествуют текущему производству. Объемы подготовки ремонтного производства велики. Силами его вспомогательного производства, например, при освоении ремонта двигателя новой модели, создают 50–300 единиц оборудования, которым почти полностью оснащены разборочно-очистной, комплектовочно-сборочный, окрасочный и испытательный участки. Несколько тысяч приспособлений расширяют технологические возможности приобретенного оборудования. Многие операции оснащены контрольно-измерительными средствами. Трудоемкость изготовления средств технологического оснащения (СТО) составляет 100–350 тыс. чел.-ч., что соответствует более чем полугодовому объему трудоемкости основного производства.

Подготовительные работы связаны с принятием технических решений, на основе которых создают рабочие места с комплексом СТО. На рабочих местах будут выполняться отдельные технологические операции. Техническое решение – это процедура построения оптимальной структуры объекта или процесса. В качестве объекта выступает СТО, а в качестве процесса – технологическая (ий) операция (процесс). Время предстоящего использования технического решения соответствует амортизационному сроку службы оборудования – 6–10 лет.

Необходимость выполнения настоящей работы обусловлена большим объемом работ по подготовке производства и их влиянием на надежность отремонтированных машин и агрегатов.

**Цель работы** заключалась в уменьшении сроков и затрат на подготовку ремонтного производства путем совершенствования процедуры выбора наилучшего варианта технического решения.

**Оценочные критерии** при выборе технического решения определены техническими и экономическими показателями объектов или процессов. Основные из этих критериев – показатели назначения, надежность и экономическая эффективность. При этом показатели назначения и надежности выступают в качестве ограничений (они должны быть обеспечены неукоснительно), а экономические – выступают в качестве параметров оптимизации (они должны быть минимальными или максимальными по смыслу). Таким образом, технические решения, касающиеся создания средств и процессов ремонта на стадии подготовки производства, связаны с выполнением заданной функции с последующим обеспечением нормативных безотказности и долговечности отремонтированных изделий с наименьшими затратами труда, материалов и энергии.

Основная характеристика СТО – выполняемые ими функции. В то же время этими функциями описываются технологический процесс, операция или ее часть. Это обуславливает общность подходов, с помощью которых описывают варианты их структур и находят лучшую структуру.

**Постановка задачи.** Задачу выбора технического решения применительно к восстановлению деталей впервые поставил и решил проф. Шадричев В.А. [1]. В дальнейшем эта задача уточнялась и решалась различными авторами, например [2]. Восстановление деталей – технологический процесс возвращения им материала вместо изношенного и доведения до нормативных значений их геометрических параметров и эксплуатационных свойств [3]. К геометрическим параметрам детали относят взаимное расположение, форму, размеры и шероховатость ее рабочих поверхностей, а к эксплуатационным свойствам – износостойкость трущихся поверхностей, статическую и циклическую (усталостную) прочность и жесткость детали, ее массу и распределение массы относительно осей вращения и инерции, коррозионную стойкость. Процесс восстановления детали в технологической последовательности приведен на рис. 1.

Выбор наилучшего технологического процесса основан на представлении различных сочетаний операций, составляющих этот процесс (число сочетаний операций может измеряться тысячами), с поиском оптимального варианта с помощью процедур математического программирования. Долговечность деталей, принятая в качестве ограничения при разработке процесса их восстановления, в основном определяется эксплуатационными свойствами. Оценочный критерий (параметр оптимизации) процесса – стоимость подготовки процесса и текущие затраты, отнесенные к восстановлению одной детали.

Постановка задачи структурного синтеза устройства – из числа существенных его признаков образовать структуру, обеспечивающую выполнение заданной технологической функции с наименьшими затратами, приведенными к одному технологическому переходу или одной технологической операции над ремонтируемым объектом. Существенные признаки устройства – это составляющие его элементарные механизмы, их связи и отношения между собой.

**Модель решения.** Стремление повысить эффективность решения поставленных задач обусловило разработку графовых моделей технических решений и их оптимизацию.

Различные сочетания операций, образующих технологический процесс, например, восстановления детали, выбирают из графа (рис. 2), составленного из вершин и дуг. Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это  $i$ -е подмножество однотипных технологических операций ( $i = 1...K$ ). Операция первого типа представлена  $m_1$  ее видами, операция второго типа –  $m_2$  ее видами и т.д., а операция  $K$ -го типа (нижняя строка графа) –  $m_k$  ее видами. Так, например, операция типа «создание припуска на обработку» при восстановлении детали может быть представлена такими видами: наплавка, напыление, химическое или электрохимическое нанесение и др. [4–5]. Виды технологических операций выбираются из учебников и справочников, а также из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и вещества, использования новых материалов и различных физических эффектов. В граф

*Кастрюк Александр Петрович, к.т.н., доцент, первый проректор Полоцкого государственного университета.*

*Иванов Владимир Петрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Полоцкого государственного университета.*

*Беларусь, 211440, Витебской обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.*

Детали ремонтного фонда с устранимыми повреждениями



Рис. 1. Схема технологического процесса восстановления деталей

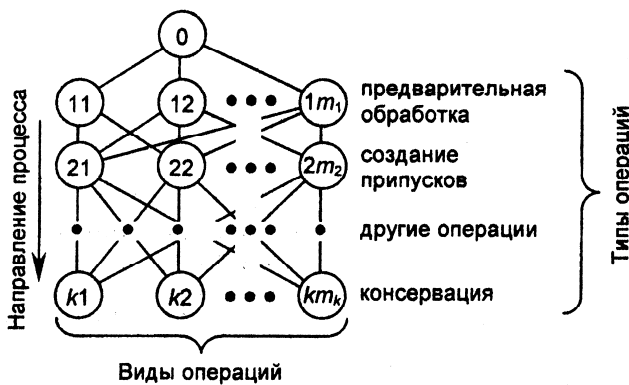


Рис. 2. Граф вариантов технологического процесса восстановления детали: 1, 2, ...,  $k$  – типы операций;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – количество видов операций каждого типа

включают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по качеству и производительности. Модель рассматривает все элементы восстанавливаемой детали и их повреждения, учитывает различные технологические операции как реально существующие, так и потенциально возможные, которые могут быть использованы в процессе. Учет всех повреждений элементов деталей (изнашиваемых, деформируемых, сминаемых и др.) возможен за счет перехода от классификации восстанавливаемых деталей к классификации их элементов. Длину каждой дуги графа определяют

как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенные к одному ремонтируемому изделию.

Различные структуры технического устройства описываются графом (рис. 3), множество вершин которого соответствует множеству элементарных механизмов, а множество дуг – приведенным затратам на создание и эксплуатацию последующего механизма. Граф, построенный на идеях «морфологического анализа», состоит из  $k$  горизонтальных рядов вершин, каждый из которых представляет множество исполнений механизма одного вида. Большое количество вариантов устройства получают за счет различных сочетаний как известных, так и новых его частей.

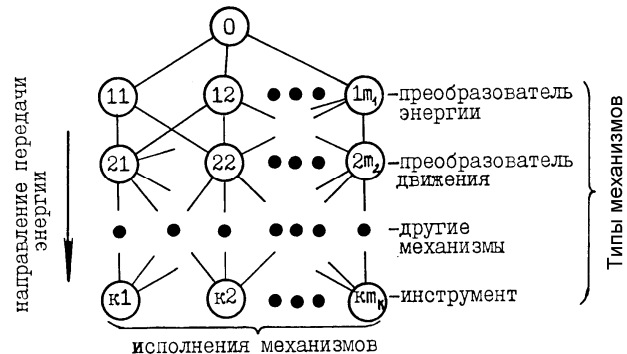


Рис. 3. Граф вариантов средства технологического оснащения: 1, 2, ...,  $k$  – типы механизмов;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – количество видов механизмов 1-го, 2-го,  $k$ -го типа, соответственно

Каждая составляющая технического решения необходима, а все вместе они достаточны для построения технологического процесса или создания технического объекта.

Подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант решения. Множество таких вариантов  $W$ , составленных из конъюнктивно-дизъюнктивных связей «И – ИЛИ», определяется из выражения

$$W \subseteq \{(p_{11} \cup p_{12} \cup \dots \cup p_{1m_1}) \cap (p_{21} \cup p_{22} \cup p_{2m_2}) \cap \dots \cap (p_{k1} \cup p_{k2} \cup p_{km_k})\},$$

число таких вариантов определяется произведением  $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k$ .

Несовместимость некоторых частей решения между собой сокращает количество его вариантов и окончательно представляет их реальное количество. Например, износостойкие восстановительные покрытия с высокой твердостью могут обладать неудовлетворительной обрабатываемостью, что ставит под сомнение использования всего процесса восстановления деталей. Однако в то же время нанесение покрытий с высокой твердостью исключает поверхностную закалку.

**Оптимизация технического решения** заключается в следующем: из числа возможных типов и видов составляющих решения, найти такую их последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения по производительности и качеству с наименьшими затратами. На стадии структурного синтеза преимущество отдают новым техническим решениям. Оптимальную структуру решения находят с применением динамического программирования.

Оптимизация решения выражается в поиске кратчайшего пути из вершины  $O$  в одну из вершин нижнего яруса графа  $a$ , соответственно, подмножество вершин на этом пути определяет содержание оптимального технического решения.

Кратчайший путь  $Z_{i+1}$  между указанными вершинами определяют с помощью принципа оптимальности Р. Беллмана [7], используя свойство аддитивности целевой функции по составным частям процесса. Решают рекуррентное уравнение в каждой вершине графа  $Z_{i+1} = \min$  (по всем вершинам графа) [ $Z_{(i+1)-1} + Z_i$ ], где  $i$  – шаги решения;  $Z_i$  – затраты на выполнение  $i$  шага при условии, что соответствующий участок графа выбран оптимальным образом;  $Z_{i+1}$  – затраты, отнесенные к  $i+1$  шагам;  $Z_{(i+1)-1}$  – затраты, отнесенные к присоединению  $(i+1)$ -ой шага процедуры к  $i$  его шагам.

Затраты на выполнение одной технологической операции или создание технологического объекта  $Z_o$  складываются из стоимости материалов и энергии в объеме их норм расхода, заработной платы с начислениями, затрат на работу оборудования и амортизационных отчислений

$$Z_o = \sum_1^k M_k C_k + \sum_1^n \Xi_n C_n + H_e \left( C_{ч.р} + C_{м-ч.о} + \frac{K_o E_o}{\Phi_{д.о}} \right),$$

где  $M_k$  и  $C_k$  – норма расхода и цена материала  $k$ -го вида, соответственно;  $\Xi_n$  и  $C_n$  – норма расхода и стоимость энергии  $n$ -го вида, соответственно;  $H_e$  – норма времени;  $C_{ч.р}$  – часовая ставка рабочего,  $C_{м-ч.о}$  – стоимость машино-часа работы оборудования;  $K_o$  – капиталовложения в оборудование;  $E_o$  – коэффициент эффективности капиталовложений;  $\Phi_{д.о}$  – действительный фонд времени работы оборудования.

Принцип оптимальности (в редакции Р. Беллмана [6]) заключается в следующем: каково бы ни было состояние системы в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирается таким образом, чтобы оно в совокупности с опти-

мальным управлением на всех последующих шагах приводило к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания части решения на предыдущих шагах с составляющими решения на последующем шаге. Расчеты при этом ведут от вершин нижнего их ряда к вершине  $O$ . В вершины графа вписывают значения  $Z_{i+1}$ .

Двигаясь в найденных направлениях из вершины  $O$  графа через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетание частей устройства или операций, которое при прочих равных условиях обеспечивает наименьшие затраты на реализацию технического решения. Соответствующее значение целевой функции читают в верхней вершине  $O$  графа.

Применение предложенного метода синтеза средств и процессов ремонта позволило разработать и внедрить в производство ряд устройств в виде приспособлений для обработки ремонтных заготовок на металлорежущих станках, механизмы для сборки резьбовых соединений, процессы восстановления ряда деталей: поршней, гильз цилиндров, валов, маховиков и др. [7].

**Заключение.** Предложены модель и метод поиска наилучшего технического решения с учетом возможностей производства и перспективных элементов решения. Системный эффект от использования результатов работы выражается в обеспечении нормативного качества отремонтированных изделий при меньших затратах на подготовку производства.

Если производственные возможности предприятия не позволяют внедрить предложенные средство или процесс, то путем исключения их неосуществимых признаков можно найти другое решение, наиболее близкое к оптимальному.

Изменяющееся соотношение затрат на материалы, энергию и заработную плату и появление новых технических решений требует периодического пересмотра результатов оптимизации.

Результаты работы позволяют создать библиотеку лучших (оптимальных или близких к ним) технических решений для разных объемов ремонта машин различных видов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ 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. Повышение долговечности автомобильных деталей при ремонте / М.А. Масино. – М.: Транспорт, 1972. – 148 с.
3. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин / В.И. Черноиванов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 336 с.
5. Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин. – М.: ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
6. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман; пер. с англ. – М.: Иностранная литература, 1960. – 400 с.
7. Иванов, В.П. Разработка и обоснование технологического процесса восстановления деталей на специализированном предприятии / В.П. Иванов // Технология металлов, 2001. – № 9. – С. 28–31.

Материал поступил в редакцию 05.11.10

#### KASTRIUK A.P., IVANOV V.P. Choice of engineering solution on the stage of repair preproduction

There have been determined/estimated the size and evaluation criteria of engineering solution, being made at the stage of repair preproduction. There has been defined the task of best engineering solution selection from the given options, suggested a solution model that with dynamic programming. The suggested method has been tested during the production and development of different tools and processes.