

*А.В. БЕЛОУС*, СНАУ, г. Сумы

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НАПРАВЛЕННОГО ВЫБОРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ВТУЛОК**

На підставі умов роботи захисних втулок і вимог до їхніх робочих поверхонь розроблений механізм вибору оптимального технологічного процесу, що дозволяє забезпечити необхідну якість робочих поверхонь найбільш економічними методами.

On the basis of working conditions of protective sleeves and requirements to their working surfaces the mechanism of a choice of the optimum technological process is developed, allowing to ensure demanded quality of working surfaces with the most costeffective methods.

Опыт эксплуатации компрессорного оборудования указывает на то, что две трети всех отказов обслуживаемых агрегатов происходят вследствие нарушения работоспособности уплотнений. Повреждение уплотнительного узла вызвано действием давления, температуры, а так же химически активных компонентов уплотняемой рабочей среды. Поэтому одним из наиболее ответственных узлов, обеспечивающих герметичность компрессорного агрегата, а следовательно и его надежную, безопасную и безотказную работу, является узел уплотнения. Основными деталями, непосредственно влияющими на работоспособность узла в целом, является пара – «вкладыш - защитная втулка». Следует отметить, что в 80% случаев выход со строя уплотнительного узла происходит по причине износа (или разрушения) защитной втулки (ЗВ) масляного уплотнения.

Исходя из специфики работы ЗВ [1] формируются требования к их рабочим поверхностям [2], для обеспечения которых необходимо подобрать методы упрочнения.

Так как задача выбора технологии повышения качества рабочих поверхностей ЗВ является инвариантной, т.е. реализуемой различными методами или их комбинацией, на первом этапе направленного выбора формируется матрица достижимости решения задачи  $R = [r_i]$ , которая определяется следующим образом:

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } P_0 \text{ достижима из } P_i \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

где  $P_0$  – решение задачи;  $P_i$  – элемент решения.

Таким образом, происходит отсев всех вариантов, которые не достигают необходимых требований (тупиковые варианты).

Возможные варианты реализации задачи повышения качества рабочих поверхностей ЗВ можно представить в виде графа (рис.1).

Граф является ориентированным, вершина которого  $P_0$  является реше-

нием задачи, уровни графа соответствуют этапам решения, т.е. количеству задействованных методов из возможных «m» вариантов комбинаций. Узлы графа – методы достижения необходимых требований. Ребра графа – технологии, позволяющие реализовать методы. В графе имеются висячие вершины – нижний уровень разбиения задачи.

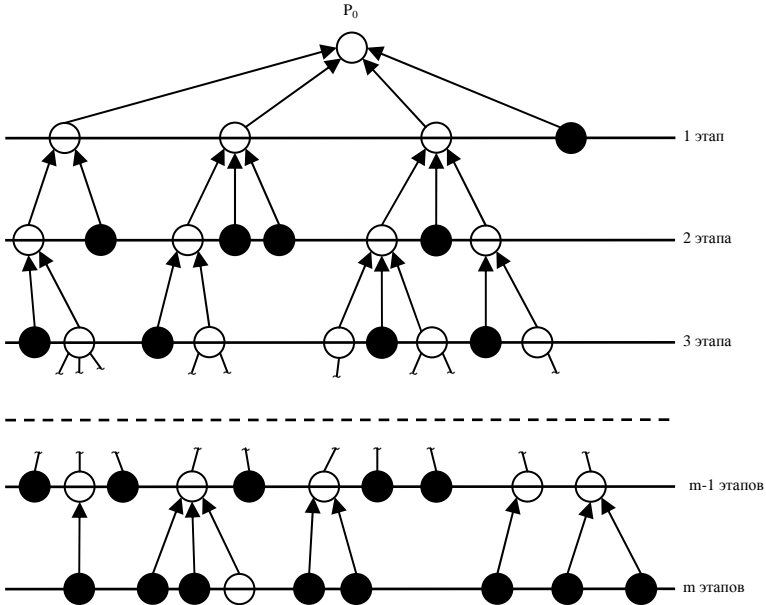


Рис. 1. Граф реализации задачи (дерево решений).

Граф строится согласно матрицы достижимости  $R$ , в которой множество вершин  $R(P_i)$  графа достижимых из вершин  $P_0$  состоит из таких элементов  $P_i$ , для которых  $i$ -й элемент в матрице равен 1.

Так как вершина графа  $P_0$ , которая достижима из  $P_i$  может быть достигнута с использованием пути длин 1, 2, ..., m, то множество вариантов решения задачи можно представить в виде:

$$R(P_i) = \Gamma\{P_i\} \cup \Gamma^2\{P_i\} \cup \dots \cup \Gamma^{m-1}\{P_i\} \cup \Gamma^m\{P_i\},$$

где  $\Gamma\{P_i\}$  – множество вершин графа для которых существуют дуги  $(P_i, P_0)$ .

При этом необходимым условием формирования множества является:

$$\{P_0\} = \bigcup \{P(j) \mid P(j) - \text{висячая вершина графа}\}$$

Поиск решений завершается тогда, когда будут рассмотрены все висячие вершины. Ранжирование вариантов решений происходит в зависимости от длины пути (количества этапов).

Задача структурной оптимизации (минимизации количества применяемых методов) в данном случае будет выглядеть:

$$\lim_{m \rightarrow 1} \{P_0\}, \text{ при соблюдении требований по качеству:}$$

$$Q = \text{extr} \{f_0(x, \omega) \mid x \in D\}$$

где  $Q$  – функция качества;  $f_0(x, \omega)$  – критерий оптимизации;  $x$  – управляемый параметр;  $\omega$  – постоянный параметр процесса;  $D$  – область рациональных значений  $x$ .

Применение данной методики для параметрической оптимизации приемлемо при сопоставимых затратах на реализацию методов. Однако в реальных условиях производства себестоимость методов существенно отличается друг от друга, кроме того, свой дисбаланс вносит стоимость материала основы ЗВ. Поэтому задачу параметрической оптимизации целесообразно решать в виде графа направленного выбора технологий (рис.2), реализуемого  $n$ -м количеством методов.

Направленный выбор интегрированной технологии заключается в определении кратчайшего пути [3], который необходимо пройти для достижения поставленной задачи.

Если в качестве весовой функции ( $\omega$ ) принять технологическую себестоимость, отражающую веса на отрезках сети, то весь путь  $p = \langle v_0, v_1, \dots, v_k \rangle$  будет равен сумме входящих в него ребер:

$$\omega(p) = \sum_{i=1}^k \omega(v_{i-1}, v_i)$$

В данном случае вес кратчайшего пути из истока  $\Pi_u$  в сток  $\Pi_3$  будет определяться соотношением:

$$\delta(\Pi_u, \Pi_3) = \begin{cases} \min \{ \omega(p) : \Pi_u \xrightarrow{p} \Pi_3 \}, & \text{если есть путь } \Pi_u, \Pi_3 \\ \infty, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Таким образом кратчайшим будет путь, вес которого удовлетворяет соотношению:

$$\omega(p) = \delta(\Pi_u, \Pi_3)$$

Оптимизационная задача решается методом линейного программирования [3]:

При этом критерий оптимизации будет:

$$\omega = f(\alpha, \lambda),$$

где  $\alpha$  – управляемый параметр, который зависит от метода (энергия разряда, подача, частота вращения шпинделя и т.д.);

$\lambda$  – набор технологических ограничений таких как :

- шероховатость поверхности, мкм:  $0,4 \leq Ra \leq 0,8$ ;
- глубина упрочненного слоя, мм:  $0,1 \leq h \leq 2$ ;
- твердость поверхности трения, HV :  $800 \leq H_v \leq 3000$ .

На технологическом уровне задача решается согласно выражения (необходимое условие):

$$\exists_{\xi \in \Theta} P_{0\xi} = \bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^\psi \{P_i\} \vee \exists_{\phi=1}^{\phi} M_\phi \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_\zeta \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_\varepsilon,$$

где  $\exists_{\xi \in \Theta} P_{0\xi}$  – существующий вариант решения задачи;  $\bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^\psi \{P_i\}$  – совокупность этапов решения задачи;  $\exists_{\phi=1}^{\phi} M_\phi$  – наличие методов решения задачи на каждом этапе;  $\exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_\zeta$  – наличие средств технологического оснащения, способных реализовать необходимые методы;  $\exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_\varepsilon$  – наличие необходимых технологических режимов для средств технологического оснащения под каждый метод.

При этом множество решений на качественном уровне будет описываться уравнением (достаточное условие):

$$\forall_{k \in X} P_{0k} = \{P_0 \mid \lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}\},$$

т.е. для всех существующих вариантов решения задачи (совокупности интегрированных технологий) заложенные критерии по качеству процесса должны находиться в области допустимых значений  $\lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}$ .

В этом случае из технологических себестоимостей вариантов решения задачи, удовлетворяющих необходимому и достаточному условию, формируется множество, согласно выражения:

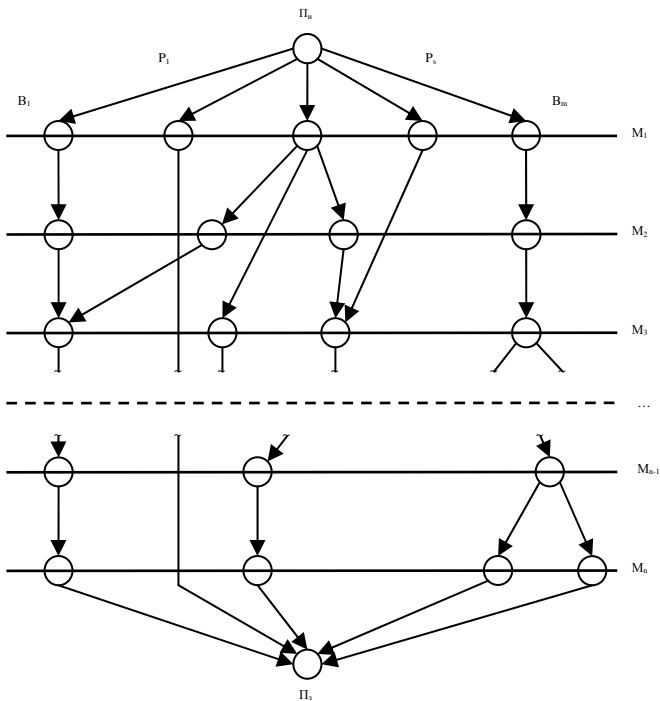


Рис. 2. Граф технологий повышения качества рабочей поверхности защитной втулки:  $\Pi_0$  – исходное состояние поверхности;  $\Pi_1$  – поверхность с заданными эксплуатационными свойствами;  $M_1..M_n$  – методы достижения (уровни графа) требований;  $B_1.. B_m$  – средства технологического оснащения, способные реализовать данные методы (вершины графа);  $TP_1.. TP_\tau$  – технологические процессы (ребра графа).

$$\{C_{P_0}\} = \bigcup_{k \in X} \{C_{P_0}(k)\} \left| \begin{array}{l} \exists P_{0\zeta} = \bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^\psi \{P_i\} \vee \exists M_\phi \vee \exists STO_\zeta \vee \exists TP_\varepsilon, \\ \forall_{k \in X} P_{0k} = \{\lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}\} \end{array} \right.$$

Оптимизационная задача по экономическим критериям (минимуму технологической себестоимости) тогда представляется выражением:

$$P_0^{opt} = \lim_{C_{mex} \rightarrow \min} P_0 | C_{mex} \in \{C_{P_0}\}.$$

Рассмотрим поэтапно процесс синтеза интегрированной технологии изготовления защитных втулок. Процедура поиска рационального решения представлена рис. 3.

**Этап 1.** Отсев тупиковых вариантов решения.

На данном этапе, согласно матрицы достижения решения задачи, происходит формирование возможных вариантов решения и отсев тупиковых. Рассматриваются все варианты имеющие «висячие» вершины на графе реализации задачи (рис. 2).

**Этап 2.** Ранжирование сложности решения задачи по этапам.

Согласно сформированных матриц смежности методов решения допустимые варианты ранжируются по сложности (количеству задействованных методов). Первыми к рассмотрению принимаются решения с минимальным количеством этапов (см. рис. 4).

**Этап 3.** Поиск возможных методов решения задачи каждого этапа задачи.

Рассматривается вся совокупность задействованных методов, позволяющая решить отдельный этап задачи.

**Этап 4.** Поиск средств технологического оснащения для реализации каждого метода.

По физическим принципам действия и технологическим характеристикам происходит подбор оборудования, оснастки и инструмента, способного реализовать конкретный метод решения.

**Этап 5.** Расчет рациональных технологических режимов для каждого выбранного средства технологического оснащения.

На данном этапе формируется необходимое условие существования варианта решения технологической задачи.

**Этап 6.** Проверка соответствия варианта решения заданным параметрам качества.

Синтезированный вариант проверяется на соответствие качественным показателям согласно установленных технологических ограничений. Происходит проверка достаточного условия решения.

**Этап 7.** Расчет технологической себестоимости для каждого варианта технологии изготовления ЗВ.

На данном этапе, рамках каждого ранга, определяется вариант решения с минимальной технологической себестоимостью. На схеме (см. рис. 4) данный вариант условно показан утолщенными линиями.

**Этап 8.** Определение рационального варианта технологии по критерию минимальной технологической себестоимости.

Завершающим действием является сравнение вариантов решения отобранных в каждом ранге. В качестве рациональной технологии изготовления защитной втулки, в конкретных производственных условиях, принимается вариант, имеющий минимальную технологическую себестоимость. В случае равенства себестоимости предпочтение отдается варианту с меньшим рангом, т.е. имеющим меньшую сложность реализации.

Результатом проведенных научных исследований явилась математическая модель оптимизации технологии изготовления рабочих поверхностей защитных втулок, которая, на базе формализованных необходимых и доста-

точных условий существования варианта решения, позволяет обеспечить требуемое качество рабочих поверхностей защитных втулок масляных уплотнений компрессорного оборудования наиболее экономичными методами.

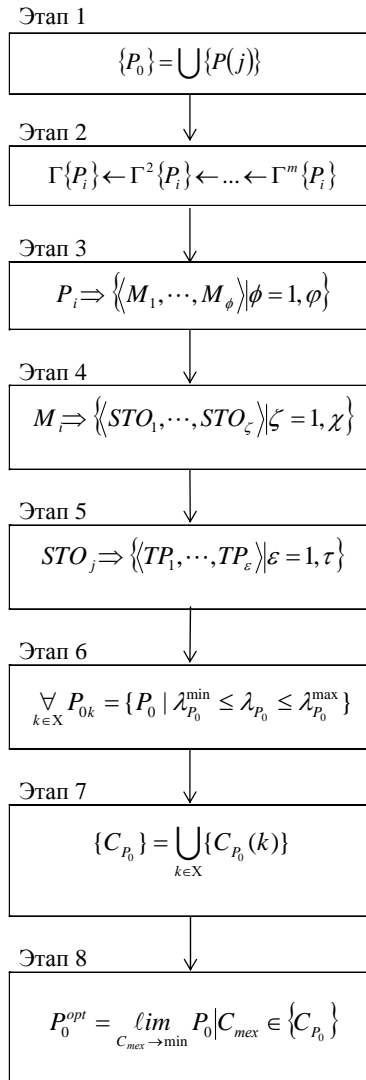


Рис.3. Этапы поиска решения задачи направленного выбора технологии.

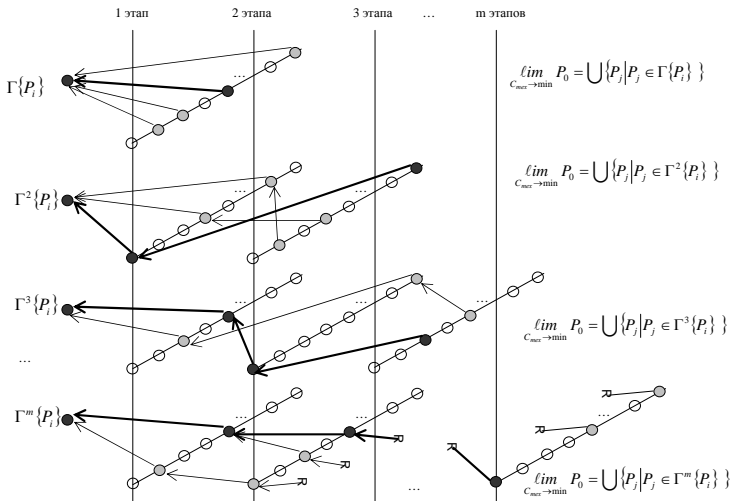


Рис. 4. Схема определения рационального варианта технологии в рамках каждого ранга.

**Список литературы:** 1. Голубев Г.А. Контактные уплотнения вращающихся валов. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с. 2. Тарельник В.Б., Білоус А.В. Особливості виготовлення й ремонту захисних втулок масляних ущільнень відцентрових машин // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2004 - №11, с.97-102. 3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М. : Мир, 1981. – 324с.

Поступила в редколлегию 16.04.2010

УДК 658.52.011

**О.Ф. ЄНІКЄЄВ**, канд. техн. наук, УкрДАЗТ, **Ф.М. ЄВСЮКОВА**,  
**Л.О. ШИШЕНКО**, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ», г. Харьков

## СТРАТЕГІЯ УПРАВЛІННЯ ЗАМКНЕНИМ КАНАЛОМ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

На основі покординатного управління шліфувальними верстатами розроблена стратегія управління незалежними координатами в умовах неповної вхідної інформації.

На основе управления по отдельным координатам шлифовальными станками разработана стратегия управления независимыми координатами в условиях неполной входной информации.

On the basis of control on separate coordinates grinders develop the strategy of control in independent coordinates in conditions of a deficient input information.

**Вступ.** Процеси АШ твердих сплавів за своєю сутністю є безперервно-дискретними й у межах одного проходу шліфувального круга описуються безперервними функціями часу. Система покординатного управління шлі-