

Рис. 3. Кинематическая погрешность глобоидной передачи

$$\left. \begin{aligned} \Delta\phi_{\max} &= \frac{2S_n \cos \lambda}{r_{e2} \cos \nu_T} \cos \left( \alpha^* + \varphi + \frac{\gamma}{4} \right) \sin \frac{\gamma}{4} \\ &\quad \text{при } 0 < \alpha^* < 2\nu_T; \\ \Delta\phi_{\max} &= \frac{2S_n \cos \lambda}{r_{e2} \cos \nu_T} \cos \left( \alpha^* + \varphi + \frac{\gamma}{4} \right) \sin \frac{\gamma}{4} \\ &\quad \text{при } \alpha^* = 0 \text{ или } \alpha^* = 2\nu_T. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

На рис. 3 приведена кривая изменения  $\Delta\phi$  при вращении глобоидной передачи.

Из уравнений (15) и рис. 3 следует, что в спектре кинематической погрешности глобоидной передачи наряду с составляющей зубцовой частоты колеса будут присутствовать также и высшие гармоники этой частоты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.Б. Экспериментальное исследование глобоидной передачи с двойным полем зацепления. – В кн.: Современные проблемы машиностроения: Труды II Междунар. научн.-техн. конф. Томск, 8-10 декабря 2004 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С. 334-339.
2. Виноградов А.Б. Приведенная кривизна поверхностей, получаемых последовательным огибанием // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск. – 2004. – №1. – С. 132-140.

**УДК 621.9(075)**

**А.Б.Виноградов**

## ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ГЛОБОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

Оценка альтернативных технологических процессов изготовления глобоидных передач производится по критериям качества с использованием орграфа  $\hat{G}$ .

Пусть М и N – два технологических процесса производства червячных передач. При их сравнении возможно одно из трех решений:

- 1) Процесс М лучше процесса N;
- 2) Процесс N лучше процесса M;
- 3) различие между процессами сделать затруднительно.

В качестве объективного показателя, обеспечивающего принятие решения целесообразно использовать соотношение

$$W^{MN} = \frac{V^{MN}}{V^{NM}}, \quad (1)$$

где  $V^{MN}$  и  $V^{NM}$  – условный средний риск от принятия соответственно первого или второго решения.

При этом  $V^{MN} = (1 - P^{MN}) / \Phi^M$ ;  $V^{NM} = (1 - P^{NM}) / \Phi^N$  (2)

где  $P^{MN}$  и  $P^{NM}$  – вероятность риска соответственно от принятия первого и второго решения;  $\Phi^M$  и  $\Phi^N$  – степень прогрессивности технологических процессов N и M.

С учетом (2) выражение (1) примет вид:

$$W^{MN} = \frac{(1 - P^{MN}) \Phi^N}{(1 - P^{NM}) \Phi^M}. \quad (3)$$

Если допустить, что степени прогрессивности обеих технологических процессов одинаковы, и в связи с тем, что свойство вероятностей противоположных событий  $1 - P^{MN} = P^{NM}$  и  $1 - P^{NM} = P^{MN}$  представляет вероятность превосходства качества технологического процесса N над M (и наоборот), то при  $W^{MN} < 1$  принимается первое решение, при  $W^{MN} > 1$  – второе, а при  $W^{MN} = 1$  – третье.

Следовательно, задача принятия решения сводится к тому, чтобы на основании данных о качестве двух технологических процессов определить величины  $\Phi^M$ ,  $\Phi^N$ ,  $P^{MN}$ ,  $P^{NM}$  и затем вычислить показатель  $W^{MN}$ . Исходными данными для расчета степени прогрессивности технологи-

ческих процессов  $\Phi^M$ ,  $\Phi^N$ , а также величин  $P^{MN}$  и  $P^{NM}$  и  $P^{NM}$  могут служить последовательность значений:

1) номинальных величин показателей свойств качества технологического процесса  $m_1^H, m_2^H, \dots, m_n^H$  ( $n$  – количество рассматриваемых свойств качества);

2) допусков показателей качества технологического процесса  $R_1, R_2, \dots, R_n$ ;

3) показателей качества технологического процесса М  $m_1^M, m_2^M, \dots, m_n^M$

4) показателей качества технологического процесса N  $m_1^N, m_2^N, \dots, m_n^N$ .

Для сопоставления технологических процессов показатели их качества приводятся к безразмерным относительным отклонениям от номи-

$$\text{нальных значений } r_i = \frac{|m_i - m_i^H|}{R_i}.$$

Таким образом, введенные четыре последовательности можно преобразовать к двум последовательностям  $r_1^M, r_2^M, \dots, r_n^M; r_1^N, r_2^N, \dots, r_n^N$ .

Значения показателей  $r_i^M$  и  $r_i^N$  определяют прогрессивность технологических процессов N и M по  $i$  – свойству. Тогда вероятность превосходства одного процесса над другим можно определить для каждого свойства.

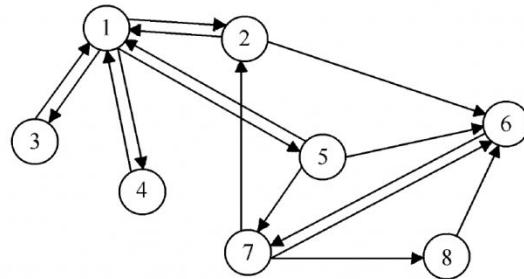
В результате получается выражение для показателя, обеспечивающего принятие решения

$$W^{MN} = \frac{\left( a_1 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n a_2 \right)}{\left( a_1 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n a_3 \right)} \times \frac{\sum_{i=1}^n R_i^N \left| \sum_{i=1}^n m_i^M - \sum_{i=1}^n m_i^{HM} \right|}{\sum_{i=1}^n R_i^M \left| \sum_{i=1}^n m_i^N - \sum_{i=1}^n m_i^{HN} \right|} \quad (4)$$

где

$$a_1 = 1 - \frac{2}{n(n-1)}, \quad a_2 = \frac{1}{\left( 1 + \frac{1-r_i^M}{1-r_j^M} \right) \left( 1 + \frac{r_i^M}{r_j^N} \right)}, \\ a_3 = \frac{1}{\left( 1 + \frac{1-r_i^N}{1-r_j^N} \right) \left( 1 + \frac{r_i^N}{r_j^M} \right)}.$$

Обобщенный показатель, обеспечивающий принятие решения о превосходстве качества одного технологического процесса над другим, позволяет учитывать любое число свойств процессов и делать заключение на основе совокупности действительных показателей качества и их нормативных величин с учетом важности различных



Орграф доминирования технологических процессов

свойств и возникающего при этом риска.

Очевидно, что, если сравнивается качество более чем двух технологических процессов, то необходимо их попарное сравнение с вычислением показателя  $W$  для каждой пары. Конечные результаты в этом случае сводятся в матрицу  $\vec{A} = \|\vec{a}_{ij}\|$ , в которой элемент

$$\vec{a}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } W_{ij} \geq 1; \\ 0, & \text{при } W_{ij} < 1; \\ 0, & \text{при } i = j. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь  $i, j = \overline{1, k}$ , а  $k$  – количество сравниваемых технологических процессов.

Следовательно,  $\vec{A}$  представляет собой матрицу смежности ориентированного графа  $\hat{G}$ .

Для упорядочения технологических процессов по критерию качества с использованием  $\hat{G}$  наиболее целесообразно воспользоваться одним из его инвариантов – показателем вершинной достижимости, который отражает, насколько "быстро" можно из вершины  $i$  "попасть" (достигнуть) в вершину  $j$  (вершины  $j$ , насколько альтернативы "удалены" по предпочтительности друг от друга. Поэтому, определив минимальные пути для каждой вершины орграфа, для каждой из них можно рассчитать коэффициент предпочтительности  $i$ -го технологического процесса по формуле:

$$b_i = b_i^3 \lambda_i, \quad (6)$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} b_i^3 = 1, \quad \text{при } \sum_{j=1}^k \vec{d}_{ij} = k-1; \\ b_i^3 = \frac{k-1}{\sum_{j=1}^k \vec{d}_{ij}}, \quad \text{при } \sum_{j=1}^k \vec{d}_{ij} > k-1; \\ b_i^3 = \frac{\sum_{j=1}^k \vec{d}_{ij}}{k-1}, \quad \text{при } \sum_{j=1}^k \vec{d}_{ij} < k-1; \\ \lambda_i = 1 - \frac{k_{ii}-1}{k-1}, \quad i = \overline{l, k}, \end{array} \right. \quad (7)$$

$\vec{d}_{ij}$  – элемент матрицы минимальных путей  $\vec{D}$ ;

$k_{hi}$  – количество нулей в  $i$ -й строке матрицы  $\vec{D}$ .

Отметим, что при  $b_i^3 = 1$  из  $i$ -й вершины выходят дуги ко всем остальным вершинам. Это означает полное доминирование  $i$  – альтернативы над всеми остальными. При  $b_i^3 = \frac{k-1}{k}$  или

$$\sum_{j=1}^k \vec{d}_{ij}$$

обратном отношении не исключается наличие длинных путей и отсутствие таковых вообще. Коэффициент  $\lambda_i$  учитывает возможность принципиальной достижимости вершин из вершины  $i$ -го процесса над всеми остальными.

Для восьми сравниваемых технологических процессов изготовления глобоидных передач, а именно:

1 – передача, обработанная дисковым инструментом;

2 – передача, шлифуемая чашечным кругом;

3 – передача, обработанная пальцевым инструментом;

4 – передача, нарезанная инструментом, идентичным колесу;

5 – передача, образованная выпукло-вогнутой режущей кромкой коррекционным методом;

6 – передача, образованная выпукло-вогнутой режущей кромкой бескоррекционным методом;

7 – передача, образованная прямолинейной режущей кромкой бескоррекционным методом;

8 – передача, образованная прямолинейной режущей кромкой – классическая передача (органический Г имеет вид, показанный на рисунке).

Тогда матрица  $\vec{A}$  (согласно рисунку) примет вид:

Параметры	Технологические процессы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Порядковый номер передач	0,69	0,65	0,48	0,48	0,65	0,46	0,61	0,39
Коэффициенты предпочтительности ( $b_i^3$ )								

$$\vec{A} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

а матрица минимальных путей  $\vec{D}$  будет представлена следующим образом

$$\vec{D} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 4 \\ 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 0 & 2 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 0 & 3 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 4 & 4 & 4 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 3 & 3 & 3 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 3 & 5 & 5 & 5 & 1 & 2 & 0 \end{vmatrix}.$$

Подстановкой данных матрицы  $\vec{D}$  в уравнение (1) определяются коэффициенты предпочтительности исследованных технологических процессов (таблица).

Таким образом, кортеж предпочтительности технологических процессов имеет вид  $1 > (2 \approx 5) > 7 > (3 \approx 4) > 6 > 8$ . Следовательно, степень прогрессивности технологического процесса первой передачи наивысшая. Под этим номером значится глобоидная передача [1], в которой контакт осуществляется одновременно двумя семействами контактных линий. Передача образована из технологической поверхности закаленного червяка, шлифуемого производящей плоскостью, и колеса, нарезанного глобоидной фрезой,

Таблица

неидентичной основному червяку, позволяющей локализовать контакт в зацеплении по высоте и ширине зубьев колеса. Это позволяет значительно уменьшить чувствительность передачи к погрешностям изготовления и сборки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.Б. Глобоидная передача с повышенной нагружочной способностью. – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2004. – 263 с.

□ Автор статей:

Виноградов

Алексей Борисович

- канд.техн.наук, доцент (Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск )