

УДК 621.914.6

**В.А. Иванов, В.К. Перевозников**

**V.A. Ivanov, V.K. Perevoznikov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ВИНТОВЫЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ**

## **RESEARCH SETTING PARAMETERS OF DISK TOOLS, MACHINING GEOMETRICALLY COMPAUND HELICAL SURFACES**

Проведен анализ формы графиков блокирующих линий при нахождении параметров установки инструментов, обрабатывающих сложнопровильные винтовые поверхности. Представлены результаты исследований влияния диаметра инструментов на форму блокирующих линий и ограничений на выбор параметров установки.

**Ключевые слова:** параметры винтовых поверхностей, параметры установки, блокирующие линии, фреза.

The analysis of blocking lines graphic configuration in determine the installation disk tools parameters, that handle geometrically compound helical surface is conducted. A research results of dependence an instruments diameter on blocking lines and a choice limits of installation options are given.

**Keywords:** helical surfaces parameters, installation options, blocking lines, milling cutter.

Винтовые поверхности (ВП) широко используются в конструкциях деталей машин и металлообрабатывающих инструментов. Работоспособность изделий с ВП в значительной степени определяется качеством формообразования. Правильная форма ВП зависит в основном от профиля дискового инструмента (ДИ) и его установки при обработке. Особую трудность представляет обработка ВП стружечных канавок режущих инструментов, которые в отличие от деталей машин имеют более сложный, несимметричный и обычно поднутренный профиль, очерченный несколькими сопряженными или пересекающимися участками различных линий: дугами окружностей, прямыми линиями, архимедовой спиралью и пр. При этом на профиле ВП не допуска-

ется подрезание и образование переходных кривых несоответствующих размеров, что является погрешностью обработки ВП. Для предупреждения погрешностей необходимо правильно выбрать параметры установки (ПУ) инструмента:  $a_w$  – межосевое расстояние детали и ДИ;  $\varepsilon$  – угол скрещивания между положительным направлением оси детали и отрицательным направлением оси ДИ (межосевой угол);  $\psi$  – угол поворота торцового профиля детали относительно линии межосевого перпендикуляра. Определение или поиск параметров установки, а также их оптимизация относительно осей координат ВП остается актуальной научно-технической задачей.

В настоящее время определение ПУ инструмента относительно детали, а также выбор наружного диаметра инструмента производится как при прямой, так и обратной задаче профилирования дисковых инструментов при формообразовании винтовых поверхностей [1].

Предлагаемый метод блокирующих линий для нахождения ПУ дисковых инструментов при формообразовании винтовых поверхностей [2, 3] является универсальным, пригоден для любого профиля ВП, позволяет совмещать расчеты различных профилей деталей с отысканием оптимальных ПУ дисковых инструментов для их обработки. Он позволяет расширить технологические возможности профилирования дисковых инструментов при формообразовании ВП. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить параметры ВП, оказывающие наибольшее влияние на поиск оптимальных параметров установки.

2. Проанализировать влияние конструктивных параметров дисковых инструментов, на форму блокирующих линий и ограничений на выбор ПУ и профиль ВП, а также найти такие размеры профиля ВП, которые обеспечивали бы ее полную обработку без подрезов, недорезов и образования переходных кривых.

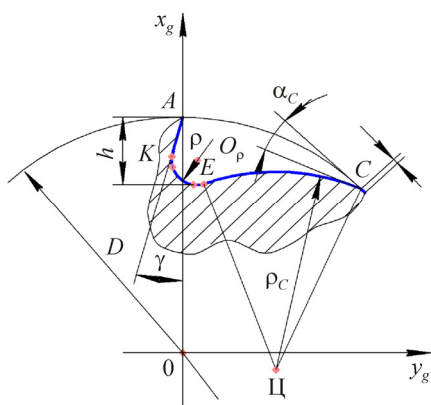


Рис. 1. Профиль винтовой поверхности, имеющий участок с поднутрением

Рассмотрим методику поиска параметров установки дискового инструмента на примере обработки винтовой поверхности, имеющей на профиле участок с поднутрением (рис. 1). Профиль имеет следующие размеры: наружный диаметр  $D = 50$  мм; передний угол фрезы в торцовом сечении  $\gamma = 15^\circ$ ; радиус дна канавки  $r_1 = 5,2$  мм; число зубьев  $Z = 8$ ; глубина канавки  $h = 8$  мм;

величина фаски  $f = 1$  мм; задний угол в точке  $C$  в торцовом сечении  $\alpha = 15^\circ$ ; винтовой параметр  $P = 25$ , угол наклона винтовой поверхности  $\omega = 45^\circ$ .

Профиль очерчивается тремя участками: прямолинейным  $AK$  и двумя радиусными с радиусом  $KE$  и  $EC$ . На участке  $EC$  профиль выпуклый, поэтому он может быть правильно и полностью обработан при изменении ПУ в широких пределах. На участке  $AK$  профиль имеет значительное поднутрение, поэтому в окрестностях точки  $A$  возможно подрезание.

Определение параметров установки ДИ производится в следующей последовательности.

1. Выбрать узловые точки на профиле: точку  $A$ , расположенную на наибольшем радиусе детали, точку  $K$ , в которой профиль имеет наибольшее поднутрение, точку  $E$  на вогнутом участке, которой соответствует наименьший угол профиля ДИ при обработке правой части профиля. Если в указанных точках условия формообразования выполнены, то в остальных точках они также будут выполнены. Поскольку  $K$  и  $E$  – точки сопряжения, они одновременно принадлежат двум участкам. В расчетах условимся, что точки  $K$  и  $E$  расположены на участке  $KE$ .

2. Рассчитать параметры  $r$ ,  $\delta$ ,  $\xi$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  в выбранных узловых точках по известным формулам [1]. Значения этих параметров приведены в таблице.

Параметры профиля винтовой канавки в узловых точках профиля

Точки профиля	$r$ , мм	$\delta$ , рад	$\xi$ , рад	$\rho$ , мм	$x_q$ , мм	$y_q$ , мм
$A$	25,0	0	0,262	$10^5$	25,0	0
$K$	23,593	-0,017	0,278	5,2	23,546	-0,390
$E$	21,841	0,437	0,045	5,2	19,790	9,241

3. Полагая, что винтовую канавку будут фрезеровать, примем  $d_{a0} = 55$  мм,  $\alpha_w = 48,5$  мм. При необходимости эти величины можно скорректировать.

4. Задавшись значением угла профиля в текущей точке  $\tau$  в пределах, например, от  $0$  до  $\pm 40^\circ$  (через  $10^\circ$ ), вычислим параметр  $\varepsilon_{1,2}^{\text{II}}$  для узловых точек  $A$ ,  $K$ ,  $E$  по уравнению [2]:

$$\varepsilon_{1,2}^{\text{II}} = \arctg \left( G \pm \sqrt{G^2 - E} \right),$$

где  $G = P(Sx_0 - \rho \sin \tau \cos \tau) / Q$ ;  $S = r \cos \mu - \rho \sin \tau$ ;  $x_0 = r \cos \mu - a_w$ ;  
 $Q = x_0(S^2 - C) - \rho \sin \tau(u^2 + P^2 \sin^2 \tau)$ ;  $C = \rho(\rho - V) \sin^2 \tau$ ;  $\mu = \tau - \xi$ ;  $u = r \cos \xi$ ;  
 $V = r \sin \xi$ ;  $E = P^2(S - a_w) / Q$ ;  $\rho$  – радиус кривизны профиля в рассматриваемой точке торцового сечения, на левой стороне профиля (индекс 1) принимается со знаком плюс, на правой стороне (индекс 2) – со знаком минус, для прямолинейных участков задается большим положительным числом, например  $10^3 - 10^5$ .

Построим  $\epsilon_{1,2}^{\text{II}}$ -графики блокирующих линий (рис. 2), здесь и далее цифры I и II означают, что  $\epsilon$  рассчитывают исходя из первого и второго условия формообразования [3].

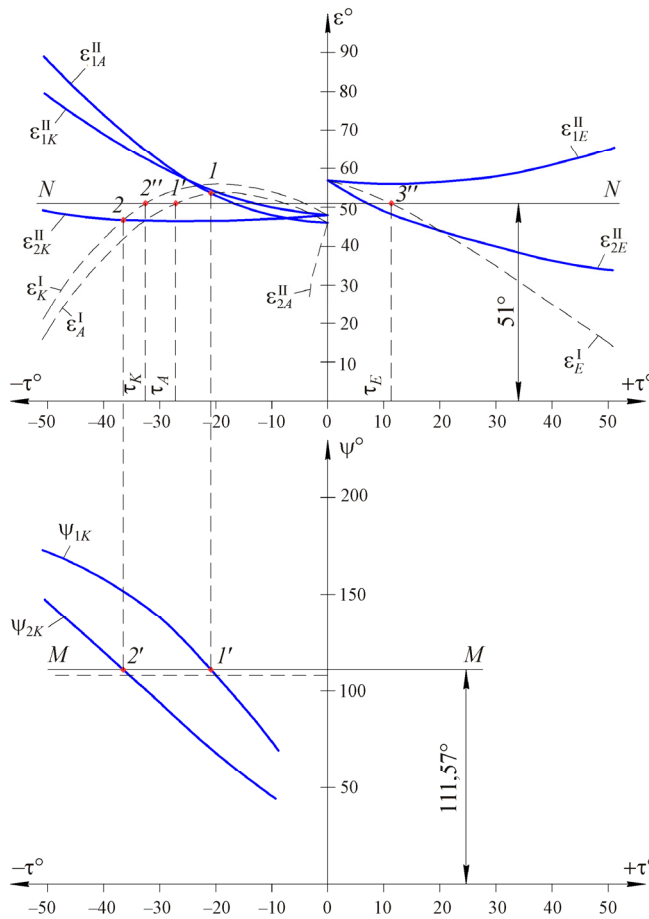


Рис. 2. Блокирующие линии для поиска параметров установки ДИ при  $d_{a0} = 55$  мм,  $a_w = 48,5$  мм

5. Вычислим параметр  $\psi_{1,2}^{\text{II}}$  при тех же значениях  $\tau$ , что в п. 4, и при соответствующих им значениях  $\varepsilon_{1,2}^{\text{II}}$  по уравнению [2]:

$$\psi^{\text{II}} = \frac{n_2 \cos \tau - n_1}{\sin \tau} - \tau + n_3,$$

где  $n_1 = u(a_w + P \operatorname{ctg} \varepsilon) / P^2$ ;  $n_2 = u^2 + a_w P \operatorname{ctg} \varepsilon / P^2$ ;  $n_3 = \delta + \xi + uV / P^2$ , и построим графики  $\psi_{1,2}^{\text{II}} = f(\tau)$  блокирующих линий для точек  $A, K, E$  (см. рис. 2).

6. Найдем при помощи графиков параметры  $\psi$  и  $\varepsilon$ . Для этого проведем прямую  $MM$  параллельно оси  $\tau$  так, чтобы точка  $I'$  пересечения этой прямой и линии  $\psi_{1A}^{\text{II}}$  соответствовала  $|\tau_A| > 15 \dots 20^\circ$  и  $|\tau_K| > |\tau_A|$ .

Точку  $I'$  спроецируем в точку  $I$  на линии  $\varepsilon_{1A}^{\text{II}}$ . Точку  $2'$  на пересечении прямой  $MM$  и линии  $\psi_{2K}^{\text{II}}$  спроецируем в точку  $2$  на линии  $\varepsilon_{2K}^{\text{II}}$ . Проведем прямую  $NN$  параллельно оси  $\tau$  так, чтобы она проходила между точками  $I$  и  $2$ . Указанным прямым соответствуют значения  $\varepsilon = 51^\circ$ ,  $\psi = 111,57^\circ$  для левой стороны профиля.

7. Проверим выполнение первого условия для точек  $E$  и  $K$ .

Для этого вычислим  $\varepsilon_E^{\text{I}}$ , приняв  $\psi = 111,57^\circ$ ,  $\varepsilon = 61^\circ$  по уравнению [2]:

$$\varepsilon^{\text{I}} = \operatorname{arctg} \frac{P(a_w \cos \tau - u)}{u(a_w - u \cos \tau) + P^2(\psi - n_3 + \tau) \sin \tau}$$

и по результатам расчета построим график  $\varepsilon_E^{\text{I}}$ , показанный на рис. 2 штрихпунктирными линиями.

Из построения видно, что второе условие для точки  $E$  выполняется, так как линия  $\varepsilon_E^{\text{I}}$  пересекает прямую  $NN$  между линиями  $\varepsilon_{1E}^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_{2E}^{\text{II}}$  (точка  $3^1$ ), т.е. неравенство  $\varepsilon_{2E}^{\text{II}} \leq \varepsilon_E^{\text{I}} \leq \varepsilon_{1E}^{\text{II}}$  удовлетворяется. При этом для выбранных узловых точек  $\tau_K = -34^\circ$ ,  $\tau_E = 12^\circ$ .

При найденных значениях ПУ можно построить профиль ДИ [2]. Если углы профиля в наименее благоприятных точках  $A$  и  $E$  (с точки зрения боковых задних углов и стойкости ДИ) отличаются друг от друга, то для их выравнивания по значению необходимо изменить параметры  $\psi$  и  $\varepsilon$ , повторив расчет по п. 6–7.

Проведя анализ формы графиков блокирующих линий (см. рис. 2) и ограничений на выбор параметров установки, заметим, что области между линиями  $\varepsilon_{1K}^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_{2K}^{\text{II}}$ ,  $\varepsilon_{1E}^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_{2E}^{\text{II}}$  для точек  $K$  и  $E$  недостаточно широкие, параметры установки находятся в более узких пределах, и это создает трудности при

выборе их оптимальных значений. Область между линиями  $\varepsilon_{1A}^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_{2A}^{\text{II}}$  для точки  $A$  имеет достаточные размеры, параметры  $\psi$  и  $\varepsilon$  могут изменяться в широких пределах (см. рис. 2) и поиск их оптимальных значений представляет меньше трудностей.

Значение  $\varepsilon_2^{\text{II}}$  для точки  $A$  мнимое, оно получается в том случае, если радиус кривизны в рассматриваемой точке  $\rho = \infty$  (в расчетах принимаем  $\rho = 10^5$ ). Таким образом,  $\varepsilon_2^{\text{II}}$  не ограничивает выбора параметра  $\varepsilon$  в точке  $A$  по второму условию формообразования, следовательно, размеры области между линиями  $\varepsilon_1^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_2^{\text{II}}$  не зависят от радиуса кривизны профиля в рассматриваемой точке.

Параметры  $\psi$  и  $\varepsilon$  имеют далеко не оптимальное значение, в особенности для точки  $E$  (угол профиля по отношению к линии межосевого расстояния сопряженных поверхностей детали и ДИ  $\tau_E = 12^\circ$ ). Для увеличения параметра  $\varepsilon_E$  необходимо уменьшить угол  $\tau_A$ , и соответственно, угол  $\tau_K$ , что нежелательно, так как это вызовет уменьшение параметра  $\psi$ . Например, уменьшение параметра  $\psi$  на  $4^\circ$  увеличивает  $\tau_E$  всего на  $0,4^\circ$  при постоянном параметре  $\varepsilon$ , поэтому нужно уменьшить значение  $\varepsilon$  в интервале между точками 1 и 2 (см. рис. 2) до  $48^\circ$ , что позволит увеличить угол  $\tau_E$  примерно до  $15^\circ$ . Однако это приведет к увеличению углов  $\tau_A$  и  $\tau_K$ , которые могут принять значения больше  $30^\circ$ , что нежелательно.

Следовательно, для того чтобы добиться оптимальных параметров  $\psi$  и  $\varepsilon$ , необходимо изменять другой параметр установки, а именно межосевое расстояние  $a_w$ , которое зависит от диаметра дискового инструмента  $d_{a0}$ .

При проведении исследования влияния диаметра дискового инструмента на форму блокирующих линий и ограничений на выбор параметров установки были приняты следующие значения  $d_{a0}$ , мм: 32,5; 40; 55; 67,5; 80; 100. На рис. 3 и 4 представлены графики блокирующих линий при формообразовании винтовой поверхности, имеющей участок с поднутрением (см. рис. 1), дисковыми инструментами диаметром 32,5 и 100 мм.

Исследования показали, что с уменьшением диаметра инструментов  $d_{a0}$  расширяются области между линиями  $\varepsilon_{1K}^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_{2K}^{\text{II}}$ ,  $\varepsilon_{1E}^{\text{II}}$  и  $\varepsilon_{2E}^{\text{II}}$ , следовательно, появляется возможность более широкого выбора параметра  $\varepsilon$ . Однако диапазон действительных значений  $\varepsilon_{1A}^{\text{II}}$  сужается. Так, при диаметре  $d_{a0} = 37,25$  мм его верхняя граница соответствует углу  $\tau = -30^\circ$  (см. рис. 3), что может привести к значительному уменьшению области существования параметра  $\varepsilon$ .

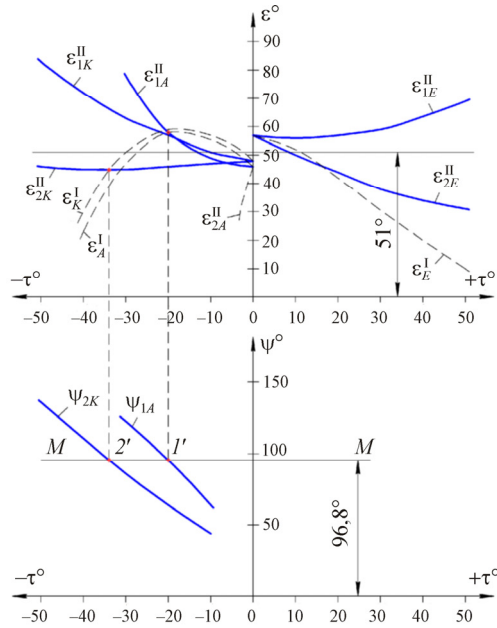


Рис. 3. Блокирующие линии для поиска ПУ при  $d_{a0} = 32,5$  мм,  $a_w = 37,25$  мм

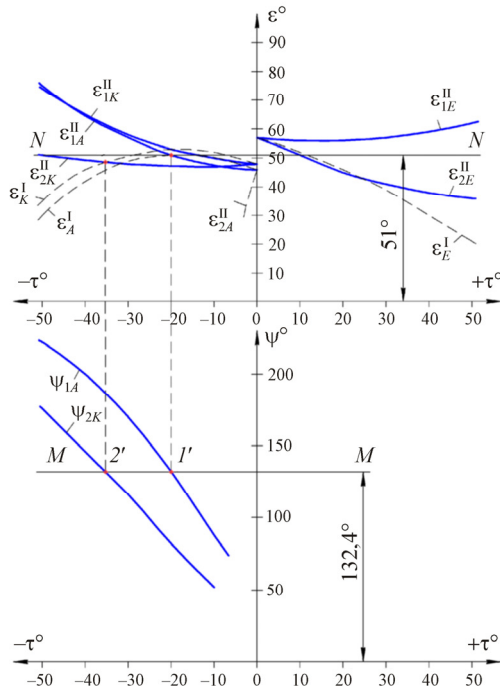


Рис. 4. Блокирующие линии для поиска ПУ при  $d_{a0} = 100$  мм,  $a_w = 71$  мм

На рис. 5 представлена зависимость параметров установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  от диаметра инструмента  $d_{a0}$ . Установлено, что параметр  $\varepsilon$  (угол скрещивания между положительным направлением оси детали и отрицательным направлением оси инструмента) не изменяется с изменением диаметра инструмента, а параметр  $\psi$  (угол поворота торцового профиля детали относительно линии межосевого расстояния) линейно увеличивается. Это объясняется тем, что при увеличении диаметра  $d_{a0}$  возрастает межосевое расстояние  $a_w$ , от величины которого зависит величина параметра  $\psi$ .

На рис. 6 представлена зависимость углов  $\tau$  в узловых точках профиля  $A, K, E$  от диаметра инструмента.

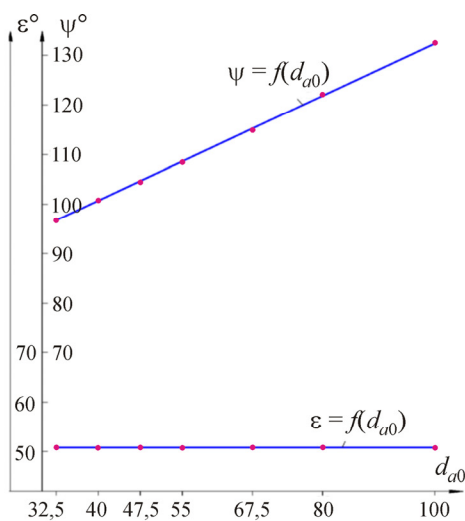


Рис. 5. Зависимость параметров установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  от диаметра инструмента

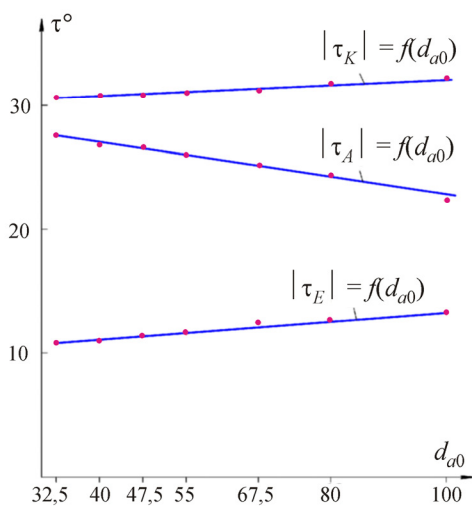


Рис. 6. Зависимость углов  $|\tau_A|, |\tau_K|, |\tau_E|$  от диаметра инструмента

С увеличением диаметра инструмента  $d_{a0}$  углы  $\tau_K$  и  $\tau_E$  увеличиваются, а угол  $\tau_A$  уменьшается. При этом значение угла  $\tau_K$  становится меньше соответствующих углов  $\tau_A$  и  $\tau_K$  и не превышает  $15^\circ$ , поэтому при нахождении параметров установки дискового инструмента для обработки сложнопрофильных винтовых поверхностей оптимальное значение диаметра будет определяться изменением области блокирующих линий. Также следует помнить, что уменьшение диаметра  $d_{a0}$  допускается в известных пределах из-за конструктивных соображений.

Сделаем следующие выводы:

1. Проведенные исследования показали, что при некоторых условиях границы выбора параметров установки дисковых инструментов, обработки



вающих винтовые поверхности, очень узки, а в некоторых случаях – достаточно широки. Следовательно, в тех случаях, когда возникают затруднения при поиске параметров установки  $\psi$  и  $\epsilon$  из-за слишком узких границ их существования, необходимо изменять другой параметр установки, а именно межосевое расстояние  $a_w$ , которое зависит от диаметра дискового инструмента  $d_{a0}$ .

2. Установлено, что увеличение диаметра дискового инструмента  $d_{a0}$  приводит к увеличению угла поворота  $\psi$  торцового профиля детали относительно линии межосевого расстояния и углов профиля  $\tau$  в узловых точках на поднутренных участках, но не оказывает существенного влияния на угол скрещивания  $\epsilon$  осей детали и дискового инструмента.

3. Уменьшение диаметра дискового инструмента  $d_{a0}$  приводит к расширению области между блокирующими линиями в узловых точках на поднутренных участках профиля, что способствует более широкому выбору параметра  $\epsilon$ . Для поиска оптимальных значений параметров установки необходимо исследование дополнительных параметров винтовой поверхности.

### Список литературы

1. Лашнев С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 385 с.
2. Проектирование режущих инструментов / В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе, В.А. Иванов, В.К. Перевозников, И.А. Коротков. – М.: Глобус, 2006. – 272 с.
3. Перевозников В.К., Иванов В.А., Кортаев Ю.А. Оптимизация параметров установки инструментов, обрабатывающих винтовые стружечные канавки. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2012. – 95 с.

Получено 1.11.2013

**Иванов Владимир Александрович** – доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ivanov@pstu.ru).

**Перевозников Виктор Константинович** – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: perevoznikov@pstu.ru).

**Ivanov Vladimir Aleksandrovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: ivanov@pstu.ru).

**Perevoznikov Viktor Konstantinovich** – Candidate of Technical Sciences, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: perevoznikov@pstu.ru).