

A. A. Obrosova, Applicant, Perm National Research Polytechnic University

E. S. Zemerev, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

V. I. Malinin, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University

### Dynamics of Aluminum Powder Gas Saturation in Feeder System of Nanooxide Synthesis Plant

*The work is devoted to theoretical and experimental study of the dynamics of the process of preliminary gas saturation of aluminum powder in the supply system for its further stable flowing out of the inkjet nozzle of the nanooxide synthesis plant. Formulas for calculation of transient gas saturation processes have been obtained. The technique of experimental study of these process has been shown. Calculations of transient gas saturation processes agree well with experimental results.*

**Key words:** powder, gas saturation, filtration.

УДК 621.914.6

**В. А. Иванов**, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**В. К. Перевозников**, кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## МЕТОД БЛОКИРУЮЩИХ ЛИНИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

*Предложен метод блокирующих линий при нахождении параметров установки дисковых инструментов, обрабатывающих сложнопрофильные винтовые поверхности. Проведен анализ формы графиков блокирующих линий в зависимости от вида заданного профиля винтовой 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.

**В**интовые 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 допускаются 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. Поэтому определение или поиск параметров установки, а также их оптимизация относительно осей координат ВП остается актуальной научно-технической задачей.

### Постановка задачи

В настоящее время определение ПУ инструмента относительно детали, а также выбор наружного диаметра инструмента, решаются 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 ИИП, а также найти такие размеры профиля ВП, которые обеспечивали бы ее полную обработку без подрезов, недорезов и образования переходных кривых.

**Поиск параметров установки**

Рассмотрим методику поиска параметров установки дискового инструмента на примере обработки винтовой поверхности, имеющей на профиле участок с поднутрением. Профиль имеет следующие размеры (рис. 1): наружный диаметр  $D = 50$  мм; передний угол фрезы в торцовом сечении  $\gamma = 15^\circ$ ; радиус дна канавки  $\rho_1 = 5,2$  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  $\omega = 45^\circ$ .

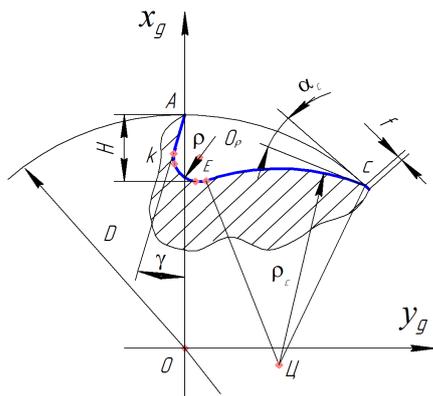


Рис. 1. Профиль винтовой поверхности, имеющий участок с поднутрением

Профиль очерчивается тремя участками: прямолинейным  $AK$  и двумя радиусными с радиусами  $KE$  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.

Последовательность определения параметров установки ДИ следующая.

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.

3. Полагая, что винтовую канавку будет фрезеровать, примем  $d_{ao} = 55$  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  $10^\circ$ ), вычислить параметр для узловых точек  $A, K, E$  по уравнению [2]

$$\varepsilon''_{1,2} = \arctg(G \pm \sqrt{G^2 - E}), \quad (1)$$

где  $G = P(Sx_0 - u\rho \sin \tau \cos \tau) / Q$ ;  $S = r \cos \mu - \rho \sin \tau$ ;  $x_0 = r \cos \mu - a_w$ ;

$$Q = x_0(S^2 - C) - \rho \sin \tau(u^2 + P^2 \sin^2 \tau);$$

$$C = \rho(\rho - V) \sin^2 \tau; \mu = \tau - \xi; u = r \cos \xi; V = r \sin \xi;$$

$E = P^2(S - a_w) / Q$ ;  $\rho$  – 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, 103...105.

**Параметры профиля винтовой канавки в узловых точках профиля**

Точки профиля	$r, \text{ мм}$	$\delta, \text{ рад}$	$\xi, \text{ рад}$	$\rho, \text{ мм}$	$x_q, \text{ мм}$	$y_q, \text{ мм}$
$A$	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

Построить графики блокирующих линий (рис. 2). Здесь и далее цифры 1 и 2 означают, что  $\varepsilon$  рассчитывают исходя из первого и второго условия формообразования [3].

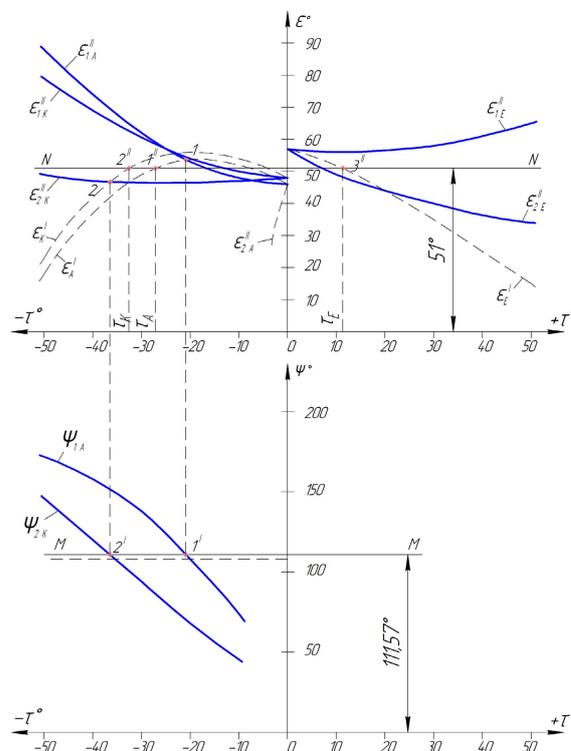


Рис. 2. Блокирующие линии для поиска параметров установки ДИ при  $d_{ao} = 55$  мм,  $a_w = 48,5$  мм

5. Вычислить параметр  $\psi''_{1,2}$  при тех же значениях  $\tau$ , что в п. 4, и при соответствующих им значениях  $\varepsilon''_{1,2}$  по уравнению [2]

$$\psi^2 = \frac{n_2 \cos \tau - n_1}{\sin \tau} - \tau + n_3, \quad (2)$$

где  $n_1 = u(a_w + P \operatorname{ctg} \varepsilon) / P^2$ ;  $n_2 = u^2 + a_w P \operatorname{ctg} \varepsilon / P^2$ ;  
 $n_3 = \delta + \xi + uV / P^2$ ,

построить графики  $\psi''_{1,2} = f(\tau)$  блокирующих линий для точек  $A, K, E$  (см. рис. 2).

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

Точку  $I'$  спроецировать в точку  $I$  на линии  $\varepsilon''_{1A}$ . Точку  $2'$  на пересечении прямой  $MM$  и линии  $\psi''_{2K}$  спроецировать в точку  $2$  на линии  $\varepsilon''_{2K}$ . Провести 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. Проверить выполнение первого условия для точек  $E$  и  $K$ .

Для этого вычислить  $\varepsilon'_E$ , приняв  $\psi = 111,57^\circ$ ,  $\varepsilon = 61^\circ$ , по уравнению [2]

$$\varepsilon^1 = \operatorname{arctg} \frac{P(a_w \cos \tau - u)}{u(a_w - u \cos \tau) + P^2(\psi - n_3 + \tau) \sin \tau} \quad (3)$$

и по результатам расчета построить график  $\varepsilon'_E$ , показанный на рис. 2 штрихпунктирными линиями.

Из построения видно, что второе условие для точки  $E$  выполняется, так как линия  $\varepsilon'_E$  пересекает прямую  $NN$  между линиями  $\varepsilon''_{1E}$  и  $\varepsilon''_{2E}$  (точка  $3'$ ), т. е. неравенство  $\varepsilon''_{2E} \leq \varepsilon'_E \leq \varepsilon''_{1E}$  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 пп. 6, 7.

### Исследования

Проведя анализ формы графиков блокирующих линий (см. рис. 2) и ограничений на выбор параметров установки можно заметить, что области между линиями  $\varepsilon''_{1K}$  и  $\varepsilon''_{2K}$ ,  $\varepsilon''_{1E}$  и  $\varepsilon''_{2E}$  для точек  $K$  и  $E$  недостаточно широкие, параметры установки находятся в более узких пределах, что создает трудности при выборе их оптимальных значений. Область между линиями  $\varepsilon''_{1A}$  и  $\varepsilon''_{2A}$  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  $\varepsilon''_2$  для точки  $A$  имеет мнимое значение, которое получается в том случае, если радиус кри-

визны в рассматриваемой точке  $\rho = \infty$  (в расчетах принимаем  $\rho = 10^5$ ). Поэтому  $\varepsilon''_2$  не ограничивает выбора параметра  $\varepsilon$  в точке  $A$  по второму условию формообразования, следовательно, размеры области между линиями  $\varepsilon''_1$  и  $\varepsilon''_2$  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  $I$  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 является нежелательным.

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

При проведении исследования влияния диаметра дискового инструмента на форму блокирующих линий и ограничений на выбор параметров установки были приняты следующие значения  $d_{ao}$ , 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 диаметрами, соответственно, 32,5 и 100 мм.

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

На рис. 5 представлена зависимость параметров установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  от диаметра инструмента  $d_{ao}$ . 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  $d_{ao}$  возрастает межосевое расстояние  $a_w$ , от величины которого зависит величина параметра  $\psi$ .

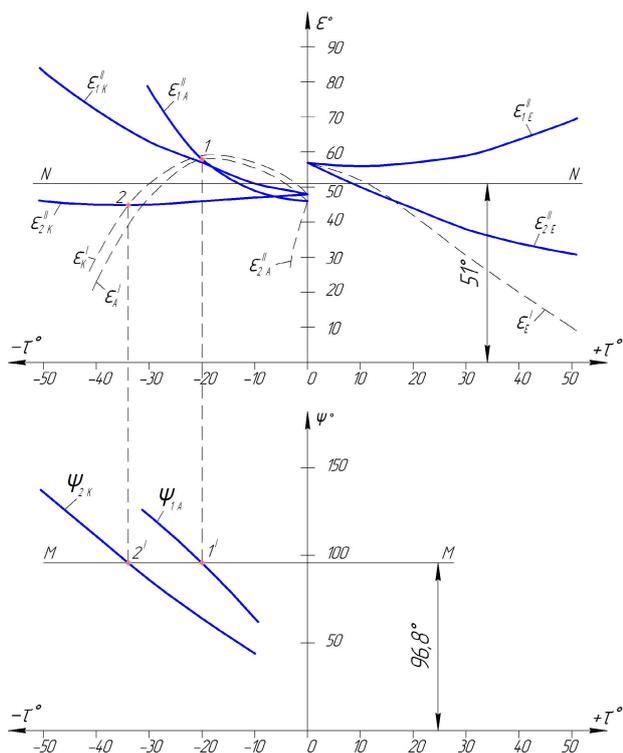


Рис. 3. Блокирующие линии для поиска ПУ при  $d_{ao} = 32,5$  мм,  $a_w = 37,25$  мм

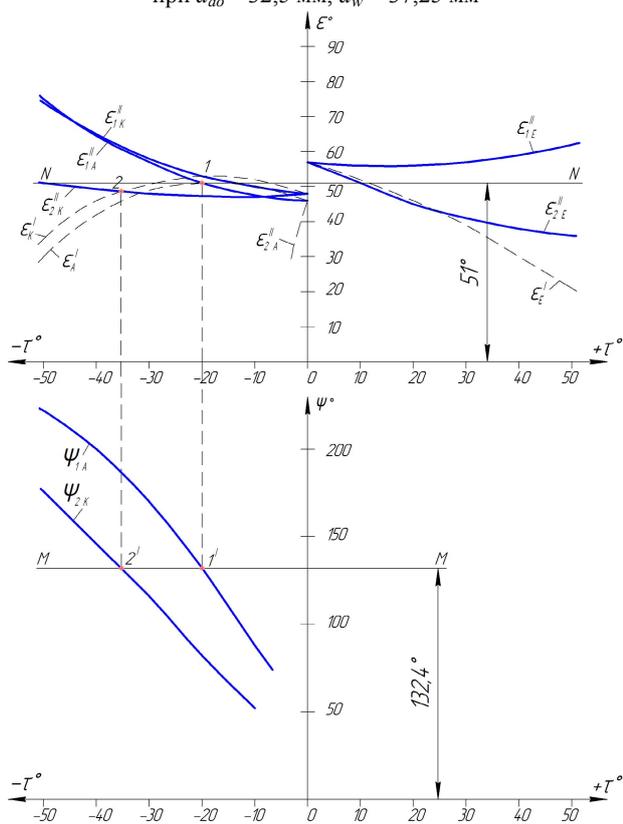


Рис. 4. Блокирующие линии для поиска ПУ при  $d_{ao} = 100$  мм,  $a_w = 71$  мм

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

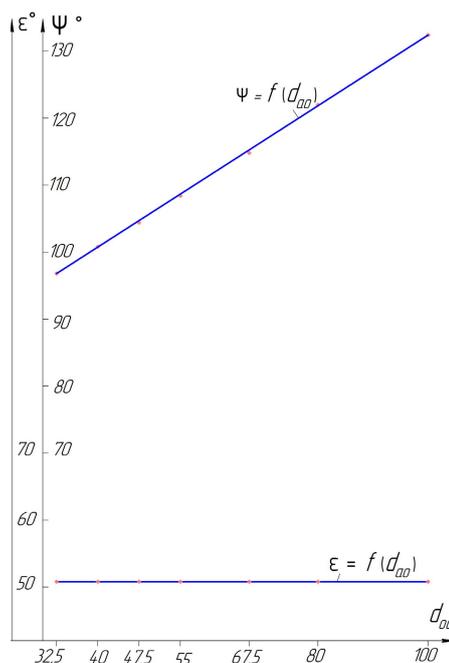


Рис. 5. Зависимость параметров установки  $\psi$  и  $\epsilon$  от диаметра инструмента  $d_{ao}$

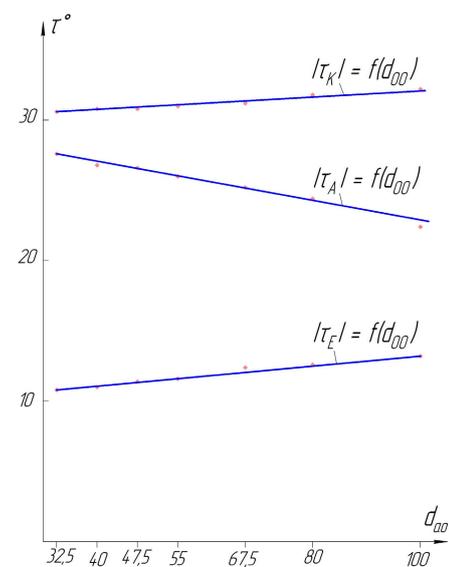


Рис. 6. Зависимость углов  $|\tau_A|, |\tau_K|, |\tau_E|$  от диаметра инструмента  $d_{ao}$

С увеличением диаметра инструмента  $d_{ao}$  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 сложнопровильных винтовых поверхностей его оптимальное значение диаметра будет определяться изменением области блокирующих линий. Также следует помнить, что уменьшение диаметра  $d_{ao}$  допускается в известных пределах из-за конструктивных соображений.

**Выводы**

1. Проведенные исследования показали, что при некоторых условиях границы выбора параметров установки дисковых инструментов, обрабатывающих винтовые поверхности очень узки, а в некоторых случаях – достаточно широки. Следовательно, в тех случаях, когда возникают затруднения при поиске параметров установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  из-за слишком узких границ их существования, необходимо изменять другой параметр установки, а именно межосевое расстояние  $a_w$ , которое зависит от диаметра дискового инструмента  $d_{ao}$ .

2. Установлено, что увеличение диаметра дискового инструмента  $d_{ao}$  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  $\varepsilon$  осей детали и дискового инструмента.

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

**Библиографические ссылки**

1. Лапшев 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. Первозников, И. А. Коротков. – М.: Глобус, 2006. – 272 с.
3. Первозников В. К., Иванов В. А., Коротков Ю. А. Оптимизация параметров установки инструментов, обрабатывающих винтовые стружечные канавки. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2012. – 95 с.

V. A. Ivanov, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University

V. K. Perevoznikov, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

**Method of Blocking Lines in Generation of Geometrically Complex Helical Surfaces by Disk Tools**

*The paper proposes the method of blocking lines when determining the setting parameters for disk tools, machining geometrically complex helical surfaces. The analysis of blocking lines graphic configuration is performed according to the type of the given helical surface profile. Results of investigating the influence of the tool diameter on the type of blocking lines and limitations of choosing the setting parameters are presented.*

**Key words:** helical surfaces parameters, setting parameters, blocking lines.

УДК 629.113

**Л. В. Барахтанов**, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

**А. Н. Блохин**, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

**Е. Г. Денисенко**, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

**А. М. Носков**, аспирант, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ СНЕГА \***

*Статья посвящена исследованию жесткости снега. Приведено описание экспериментальной установки для определения коэффициента жесткости снега, созданной сотрудниками ИжГТУ. Представлены результаты исследований снежного покрова, проведенных с помощью данной установки. Получены уравнения, позволяющие повысить точность моделирования процесса взаимодействия движителя транспортного средства со снежным покровом, определения проходимости и энергоэффективности транспортного средства.*

**Ключевые слова:** жесткость снега, физико-механические свойства снега, коэффициент жесткости снега, проходимость.

**Е**жегодно снегом покрывается до 130 млн км<sup>2</sup> – четвертая часть всей поверхности Земли. Многолетние наблюдения показывают, что около 90 % всей территории России на длительный срок (от 5 до 10 месяцев) устойчиво покрываются снегом [1]. Глубина снежного покрова в основном составляет 0,3–0,6 м (в оврагах до 1–3 м), достигая в некоторых районах Сибири и Дальнего Востока 1,2 м и более (в оврагах до 4–10 м). Приблизительно

30 % общей площади занимают снега с несущей способностью менее 0,02 МПа, около 30 % – 0,02–0,04 МПа, и остальную площадь занимают снега с несущей способностью более 0,04 МПа [2].

На покрытом снегом опорном основании существенно снижается уровень проходимости транспортно-технологических машин, в некоторых случаях их движение невозможно.

© Барахтанов Л. В., Блохин А. Н., Денисенко Е. Г., Носков А. М., 2013

Получено 08.07.13

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.