

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ КОНИЧЕСКИХ РАЗВЕРТОК С ПОЛУКРУГЛЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

---

*Предложены зависимости для определения элементов геометрии разверток с полукруглым поперечным сечением и зависимости для определения геометрических параметров, основанные на разработанном векторном подходе. Полученные результаты показаны в табличной и графической форме, что облегчает проведения анализа и их практического применения при конструировании и эксплуатации такого вида режущего инструмента.*

*This paper presents the relationships by means of which the geometry elements of taper reamers with semi-circular cross-section are defined and relationships for determining geometrical parameters based on a vector approach developed. The outcomes obtained are displayed in tabular and graphic form and that facilitates performing analysis and their practical application to design and operation of this type of cutting tools.*

---

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Конические развертки с полукруглым поперечным сечением являются однокромочные инструменты, предназначены для обработки конических отверстий с небольшим диаметром [1]. Режущая кромка является гладкой прямой или винтовой линии по всей длине. При проектировании этих инструментов необходимо прежде всего определить геометрические параметры режущего клина в инструментальной координатной системе, являющиеся переменные по длине режущей кромки, а также имеет в виду кинематические углы, формирующие геометрических параметров в рабочей координатной системе.

Конические развертки с полукруглым поперечным сечением являются специальными инструментами, работающие при неблагоприятным и непрерывно меняющиеся условия резания по длине режущей кромки. Их практическое применение требует определенные познания для конструктивных особенностей этого вида инструментов и технологической схемы изготовления [2], данные для обрабатываемого отверстия и предполагаемых (подходящих) режимов обработки. Намеченные предпосылки следует рассматривать как входные параметры (факторы), влияющие на геометрии, а чрез ее на работоспособности конических разверток.

Основной проблем при определении геометрических параметров конических разверток с криволинейными режущими кромками, особенно в рабочей координатной системе является определение расположения секущих координатных и тангенциальных поверхностей. Он связан с фактом, что понастоящему основные определения геометрических параметров режущего клина инструментов с сложной криволинейной формой режущей кромки не регламентированные стандартом. В работе использован аналитический подход, основан на векторные расчеты для дефинирования координатных поверхностей, необходимые при определения геометрических параметров конических разверток [3].

Цель настоящей работе является определение геометрических параметров конических разверток с полукруглым поперечным сечением по длине режущей кромки в зависимости от их конструктивных параметров и от параметров режимов резания.

## 2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Общий вид однокромочной конической развертки с винтовую переднюю поверхность и положение инструментальных координатных плоскостей даны на рис. 1. Основные конструктивные размеры означены с:  $\theta$  - односторонний угол конической поверхности,  $d_{min}$  - минимальный диаметр инструмента,  $p$  - шаг винтовой линии,  $f$  - смещение передней поверхности от оси инструмента [3]. Рабочая часть конических разверток с полукруглым поперечным сечением получена при пересечении конической поверхности, формирующая задняя поверхность ( $A_\alpha$ ) с плоской или винтовой поверхностью, формирующая передняя поверхность ( $A_\gamma$ ) инструмента. Передняя поверхность получена при поступательном движении образующей в сочетании с угловым поворотом, задан через шага винтовой линии, по направляющей прямой - ось инструмента.

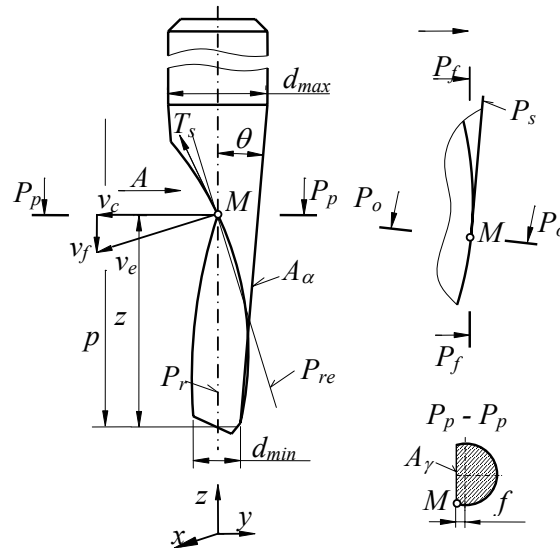


Рис. 1: Общий вид конической развертки и положение инструментальных координатных плоскостей

Уравнения конической задней и передней винтовой поверхности в координатной системе инструмента ( $Oxyz$ ) имеют соответственно вид:

$$x^2 + y^2 = r^2 \cdot \tan^2 \theta, \quad (1)$$

$$\begin{cases} y = \mp [(x + f \cdot \sin(\Omega \cdot t)) \cdot \tan(\Omega \cdot t) + f \cdot \cos(\Omega \cdot t)] \\ z = t \end{cases} \quad (2)$$

где:  $t$  - параметр, принимающий числовые значения по координатной оси (направляющей прямой)  $z$ ;  $\Omega$  - параметр равный реципрочного значения параметра винтовой линии  $\Omega = 2\pi / p$ ;  $\Omega \cdot t$  - текущий угол; “-” - левая винтовая передняя поверхность (рис. 1); “+” - правая винтовая передняя поверхность.

От совместного решения (1) и (2) получается параметрическое уравнение режущей кромки (линия пересечения задней конической и передней винтовой поверхностей)

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \left[ \Omega \cdot t + \arcsin \frac{f}{r} \right] \\ y = \mp r \cdot \sin \left[ \Omega \cdot t + \arcsin \frac{f}{r} \right], \\ z = t \end{cases} \quad (3)$$

где  $r$  - радиус рассматриваемой точки ( $M$ ) от режущей кромки.

$$r = t \cdot \tan \theta, \quad (4)$$

Для расчета значений геометрических параметров в инструментальной и рабочей координатных систем разработаны методика и программный продукт на Borland Pascal.

В работе даны зависимости для определения геометрических параметров в рабочей системе, как общий случай, а параметры в инструментальной системе определяются в зависимость от связи между углов в обеих систем. Имеется в виду, что для рассматриваемых инструментов все инструментальные задние углы равны нулю ( $\alpha_i = 0$ ), т.е. действительные задние углы равны соответных кинематических углов

$$\alpha_{ie} = -\Delta\alpha_i, \quad (5)$$

а от равенства кинематических углов

$$|\Delta\alpha_i| = |\Delta\gamma_i|, \quad (6)$$

инструментальные предние углы определяются от зависимости

$$\gamma_i = \gamma_{ie} + \alpha_{ie}. \quad (7)$$

Зависимости для определения соответные передные и задные углы в рабочей координатной системе имеют вид:

$$\gamma_i = \arcsin \left\{ \frac{|A_r \cdot l_{\gamma_i} + B_r \cdot m_{\gamma_i} + C_r \cdot n_{\gamma_i}|}{\sqrt{A_r^2 + B_r^2 + C_r^2} \cdot \sqrt{l_{\gamma_i}^2 + m_{\gamma_i}^2 + n_{\gamma_i}^2}} \right\} \quad (8)$$

$$\alpha_i = \arcsin \left\{ \frac{|A_s \cdot l_{\alpha_i} + B_s \cdot m_{\alpha_i} + C_s \cdot n_{\alpha_i}|}{\sqrt{A_s^2 + B_s^2 + C_s^2} \cdot \sqrt{l_{\alpha_i}^2 + m_{\alpha_i}^2 + n_{\alpha_i}^2}} \right\}, \quad (9)$$

где  $A_r, B_r$  и  $C_r$  являются координаты нормального вектора  $\vec{N}_r$ , дефинирующий основной рабочей плоскости  $P_{re}$  в рассматриваемой точке  $M$  от режущей кромки ( $\vec{N}_r \{A_r, B_r, C_r\} \equiv \vec{v}_e, \vec{v}_e = \vec{v}_c + \vec{v}_f$ );  $A_s, B_s$  и  $C_s$  - координаты нормального вектора  $\vec{N}_s$ , определяющий рабочей плоскости резания  $P_{se}$  в рассматриваемой точке  $M$  от режущей

кромки ( $\vec{N}_s \{A_s, B_s, C_s\}$ );  $i$  - индекс, которой для конкретного случая принимает значения -  $oe, ne, fe, pe$ ;  $l_{\gamma_i}, m_{\gamma_i}, n_{\gamma_i}$  - координаты направляющего вектора, направлены по линию пересечения тангенциальной плоскости к передней поверхности в рассматриваемой точке  $M$  плоскость  $P_\gamma$  и соответные рассматриваемые плоскости  $P_{oe}, P_{ne}, P_{fe}$  или  $P_{pe}$ , ( $\vec{k}_{\gamma_i} \{l_{\gamma_i}, m_{\gamma_i}, n_{\gamma_i}\}$ );  $l_{\alpha_i}, m_{\alpha_i}, n_{\alpha_i}$  - координаты направляющего вектора, направлены по линию пересечения тангенциальной плоскости к задней поверхности в точке  $M$  плоскость  $P_\alpha$  и соответные рассматриваемые плоскости  $P_{oe}, P_{ne}, P_{fe}$  или  $P_{pe}$ , ( $\vec{k}_{\alpha_i} \{l_{\alpha_i}, m_{\alpha_i}, n_{\alpha_i}\}$ ).

Проведены расчеты геометрических параметров конструкции однокромочных конических разверток в рабочей системе, см. рис. 2. Из за сапоставимости результатов они выполнены при одной и тойже длины рабочей части  $L = 60 \text{ mm}$  и минимальный диаметр  $d_{min} = 5 \text{ mm}$ , при одностранним углом наклона конической поверхности  $\theta = 1^\circ, 5^\circ$  и  $20^\circ$ , шаг винтовой передней поверхности  $p = 180$  и  $30 \text{ mm}$ , подача  $f = 0,03$  и  $0,05 \text{ mm/tr}$ . Скорости резания заданы для диаметров соответствующих одних и техже длин  $L_i$  рабочих частях инструментов  $0$  ( $d_{min} = 5 \text{ mm}$ ),  $20, 40$  и  $60 \text{ mm}$  ( $d_{max}$ ).

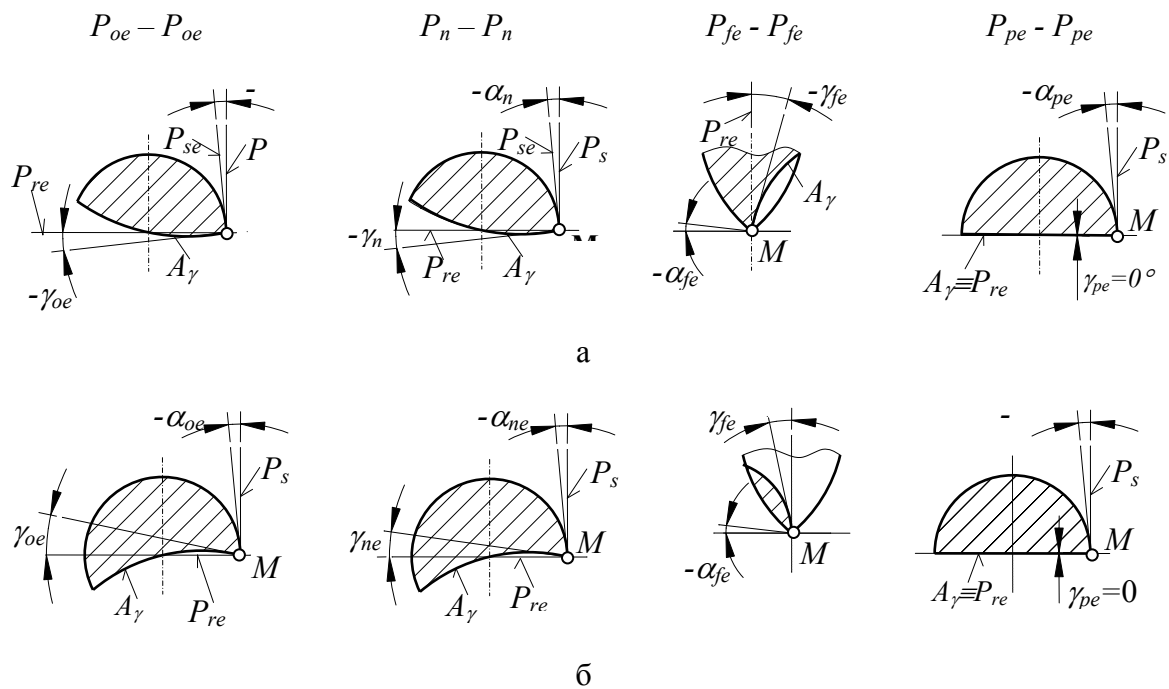


Рис. 2. Геометрические элементы в рабочей системе: а – левая винтовая передняя поверхность ( $A_\gamma$ ); б – правая винтовая передняя поверхность ( $A_\gamma$ )

Некоторые из результатов проведенных расчетов геометрических параметров при разных сочетаний входных параметров представлены в табл. 1 и 2.

В [3] доказано, что при правой винтовой линии инструменты работают при неблагоприятным условиям.

В табл. 3 дано расположение поверхностей конической развертки с левою винтовою преднею поверхностью по длине режущей кромки при некоторых значений конструктивных и технологических параметров.

Таблица 1

Значения рабочих углов при  $\theta = 1^\circ$ 

$n = 1000 \text{ min}^{-1}$				$\theta = 1^\circ$				$L = 60 \text{ mm}$				$d_{\text{min}} = 5 \text{ mm}$			
p, mm	$z_{\text{in}}$ , mm	$d_{\text{in}}$ , mm	f, mm/tr	ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ											
				$\gamma_{\text{oe}}$	$\alpha_{\text{oe}}$	$\gamma_{\text{ne}}$	$\alpha_{\text{ne}}$	$\gamma_{\text{fe}}$	$\alpha_{\text{fe}}$	$\gamma_{\text{pe}}$	$\alpha_{\text{pe}}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
180	0	5	0,03	1°13'53"	0°0'7"	1°13'37"	0°0'7"	4°53'52"	0°6'34"	1°8'45"	0°0'7"				
	20	5,7		1°6'12"	0°0'6"	1°5'53"	0°0'6"	5°36'3"	0°5'46"	1°0'19"	0°0'6"				
	40	6,4		1°0'21"	0°0'5"	0°59'59"	0°0'5"	6°18'0"	0°5'8"	0°53'44"	0°0'5"				
	60	7,1		0°55'48"	0°0'5"	0°55'23"	0°0'5"	6°59'44"	0°4'38"	0°48'27"	0°0'5"				
	0	5	0,05	1°13'47"	0°0'11"	1°13'32"	0°0'12"	4°49'29"	0°10'56"	1°8'44"	0°0'11"				
	20	5,7		1°6'7"	0°0'10"	1°5'49"	0°0'10"	5°32'13"	0°9'36"	1°0'19"	0°0'10"				
	40	6,4		1°0'17"	0°0'9"	0°59'56"	0°0'9"	6°14'34"	0°8'33"	0°53'44"	0°0'9"				
	60	7,1		0°55'44"	0°0'8"	0°55'20"	0°0'8"	6°56'38"	0°7'42"	0°48'27"	0°0'8"				
30	0	5	0,03	1°39'55"	0°0'7"	1°28'37"	0°0'8"	27°32'34"	0°6'34"	1°8'41"	0°0'7"				
	20	5,7		1°35'54"	0°0'6"	1°23'26"	0°0'7"	30°44'31"	0°5'46"	1°0'16"	0°0'6"				
	40	6,4		1°33'42"	0°0'5"	1°17'56"	0°0'6"	33°44'26"	0°5'8"	0°53'42"	0°0'5"				
	60	7,1		1°32'48"	0°0'4"	1°14'35"	0°0'5"	36°32'32"	0°4'38"	0°48'24"	0°0'4"				
	0	5	0,05	1°39'45"	0°0'11"	1°28'32"	0°0'13"	27°28'14"	0°10'57"	1°8'39"	0°0'11"				
	20	5,7		1°35'44"	0°0'10"	1°22'22"	0°0'12"	30°40'41"	0°9'36"	1°0'14"	0°0'10"				
	40	6,4		1°33'33"	0°0'9"	1°17'52"	0°0'11"	33°41'1"	0°8'33"	0°53'39"	0°0'9"				
	60	7,1		1°32'39"	0°0'8"	1°14'31"	0°0'10"	36°29'27"	0°7'43"	0°48'23"	0°0'8"				

Таблица 2

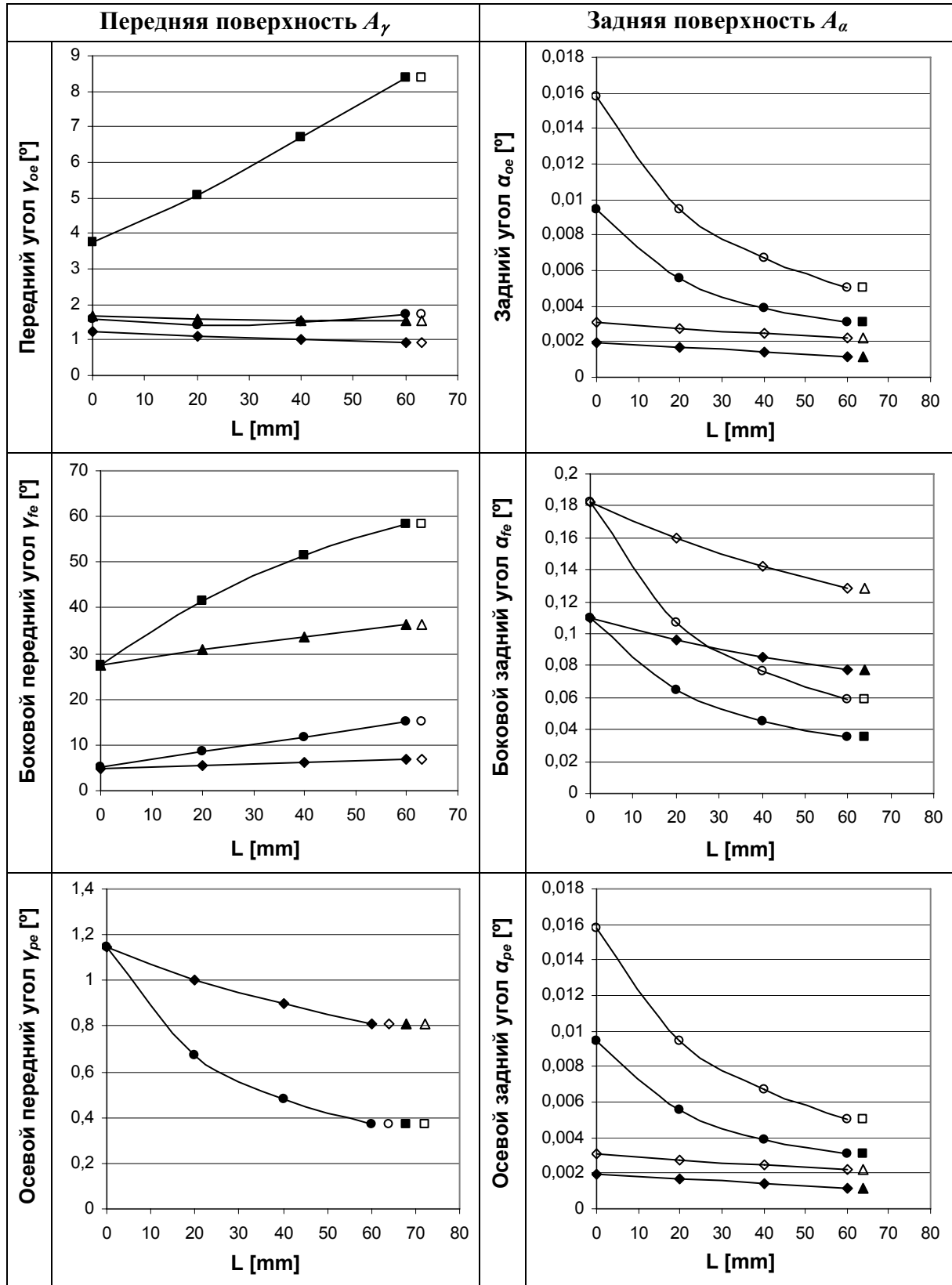
Значения рабочих углов при  $\theta = 20^\circ$ 

$n = 160 \text{ min}^{-1}$				$\theta = 20^\circ$				$L = 60 \text{ mm}$				$d_{\text{min}} = 5 \text{ mm}$			
p, mm	$z_{\text{in}}$ , mm	$d_{\text{in}}$ , mm	f, mm/tr	ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ (все углы имеют отрицательные значения "-")											
				$\gamma_{\text{oe}}$	$\alpha_{\text{oe}}$	$\gamma_{\text{ne}}$	$\alpha_{\text{ne}}$	$\gamma_{\text{fe}}$	$\alpha_{\text{fe}}$	$\gamma_{\text{pe}}$	$\alpha_{\text{pe}}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
180	0	5	0,03	2°53'21"	0°2'15"	2°52'48"	0°2'15"	5°17'30"	0°6'34"	1°8'49"	0°2'23"				
	20	19,6		6°57'19"	0°0'34"	6°37'36"	0°0'36"	18°54'56"	0°1'41"	0°17'34"	0°0'37"				
	40	34,1		11°40'27"	0°0'20"	10°13'22"	0°0'23"	30°48'5"	0°0'58"	0°10'4"	0°0'21"				
	60	48,7		16°18'33"	0°0'14"	12°52'55"	0°0'18"	40°21'49"	0°0'40"	0°7'4"	0°0'15"				
	0	5	0,05	2°51'49"	0°3'45"	2°51'18"	0°3'45"	5°13'7"	0°10'57"	1°8'44"	0°3'59"				
	20	19,6		6°56'51"	0°0'57"	6°37'12"	0°1'0"	18°53'49"	0°2'48"	0°17'34"	0°1'1"				
	40	34,1		11°40'59"	0°0'33"	10°13'7"	0°0'38"	30°47'26"	0°1'36"	0°10'4"	0°0'35"				
	60	48,7		16°18'13"	0°0'23"	12°52'43"	0°0'30"	40°21'22"	0°1'7"	0°7'4"	0°0'25"				
30	0	5	0,03	11°16'28"	0°2'15"	10°9'1"	0°2'30"	27°51'13"	0°6'34"	1°8'41"	0°2'23"				
	20	19,6		35°09'49"	0°0'34"	18°0'31"	0°1'15"	63°58'9"	0°1'41"	0°17'34"	0°0'37"				
	40	34,1		50°43'16"	0°0'20"	19°15'22"	0°1'9"	74°21'7"	0°0'58"	0°10'4"	0°0'21"				
	60	48,7		60°8'43"	0°0'14"	19°36'52"	0°1'8"	78°53'28"	0°0'40"	0°7'3"	0°0'15"				
	0	5	0,05	11°14'15"	0°3'45"	10°7'22"	0°4'10"	27°46'50"	0°10'57"	1°8'39"	0°3'59"				
	20	19,6		35°7'33"	0°0'57"	17°59'41"	0°2'4"	63°57'2"	0°2'47"	0°17'33"	0°1'1"				
	40	34,1		50°41'5"	0°0'33"	19°14'37"	0°1'55"	74°20'28"	0°1'36"	0°10'4"	0°0'35"				
	60	48,7		60°6'50"	0°0'23"	19°36'6"	0°1'53"	78°53'1"	0°1'7"	0°7'3"	0°0'25"				

Таблица 3

Расположение поверхностей конической развертки по длине режущей кромки при следующих значениях конструктивных и технологических параметров:

- ◆  $\theta=1, \rho=180, f=0,03$     ◇  $\theta=1, \rho=180, f=0,05$     ▲  $\theta=1, \rho=30, f=0,03$     △  $\theta=1, \rho=30, f=0,05$
- $\theta=5, \rho=180, f=0,03$     ○  $\theta=5, \rho=180, f=0,05$     ■  $\theta=5, \rho=30, f=0,03$     □  $\theta=5, \rho=30, f=0,05$



### 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В инструментальной системе все задние углы равны нулю, а значения передних углов ( $\gamma_o$ ,  $\gamma_n$  и  $\gamma_f$ ) зависят от значения конструктивных параметров  $p$  и  $\theta$ .

Шаг влияет на инструментальные передние углы, так как влияет на расположение тангенциальной плоскости к передней винтовой поверхности. Увеличение шага  $p$  приводит к уменьшению отрицательных значений  $\gamma_o$ ,  $\gamma_n$  и  $\gamma_f$ . Конструктивный параметр  $\theta$  влияет на инструментальные передние углы через расположения  $P_o$ . Его увеличение приводит к увеличению отрицательных значений  $\gamma_o$ ,  $\gamma_n$  и  $\gamma_f$ .

В рабочей системе  $p$  не влияет на кинематические углы, а  $\theta$  в сочетании с  $v_c$  и  $f$  влияет на кинематические углы и через них на значения и изменения рабочих углов по длине режущей кромки.

Значительное влияние на значения передних углов оказывает смещение  $f$  передней поверхности от оси инструмента. Влияние смещения  $f$  существенно при самых меньших диаметрах и уменьшается с увеличением диаметров по конической поверхности.

Самое существенное влияние на геометрических параметров и их изменения по длине режущей кромки в рабочей системе оказывает односторонний угол наклона конуса  $\theta$ . Его увеличение приводит до увеличения отрицательных значений всех углов с исключением  $\alpha_{fe}$  и  $\gamma_{pe}$  (табл. 3).

Анализ влияния элементов режима резания на изменение геометрических параметров показывает, что для рассматриваемой точки режущей кромки увеличение подачи приводит к уменьшению отрицательных значений передних углов  $\gamma_{oe}$ ,  $\gamma_{ne}$ ,  $\gamma_{fe}$  и к увеличением отрицательных значений задних углов  $\alpha_{oe}$ ,  $\alpha_{ne}$ ,  $\alpha_{fe}$ ,  $\alpha_{pe}$ , а изменение скорости резания не влияет на геометрических параметров. С другой стороны, изменение скорости резания по длине режущей кромки влияет на величину углов – увеличением  $v_c$  (увеличивается диаметр) приводит к увеличением отрицательных значений  $\gamma_{oe}$ ,  $\gamma_{ne}$ ,  $\gamma_{fe}$  и к уменьшению отрицательных значений всех задних углов. Это так, потому что взаимное расположение рабочих и инструментальных координатных плоскостей зависит от угла между  $\vec{v}_c$  и  $\vec{v}_e$ , представляющий  $\arctg(v_f / v_c) = \arctg(f / \pi \cdot D)$ . С иными словами, для рассматриваемой точки от режущей кромки влияет подача, а для разных точек режущей кромки, как подача так и скорость резания (меняется диаметр  $D$ ).

Получение результаты дают количественное представление о геометрическим параметрам в инструментальной и рабочей системе.

#### Список литературы

1. Иванов И., Христов Х. Конусен райбер. Авт. свидетельство No33043, МПК V 23D 77/12, 1982.
2. Христов, Х.И., И.Р. Иванов, П.М. Неделчева. Векторен подход за определяне на главните ъгли на едноръбови конусни райбери. Механика на машините, 44, 2002, 75-78.
3. Христов, Х.И., И.Р. Иванов, П.М. Неделчева. Изследване геометрията на райбери конусни с полукръгло напречно сечение. УНИТЕХ'02 Габрово, ТУ - Габрово, 2002, 325 – 330.