

**Н. С. РАВСКАЯ** д-р тех. наук,  
**Т. П. НИКОЛАЕНКО** канд. тех. наук,  
**А. А. ПЛИВАК**, Киев, Украина

## **ГЕОМЕТРИЯ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ**

В роботі розглянута геометрія різальної частини спіральних свердел в різних системах координат. Встановлений характер зміни цих кутів на різальній кромці.

В работе рассмотрена геометрия режущей части спиральных сверл в разных системах координат. Установлен характер изменения этих углов на режущей кромке.

In the article geometry of cutting part of spiral drills is considered in the different systems of co-ordinates. Character of change of these corners is determined on a cutting edge.

### *Вступлення*

Общая теория и методика определения геометрических параметров стандартного спирального сверла разработана П.Р. Родиным в работе [1]. Показано, что с точки зрения геометрии режущей части сверл, этот инструмент является самым несовременным и характеризуется резким изменением геометрических параметров вдоль режущей кромки. Поэтому работы многих исследователей были направлены на улучшение конструкции сверл с целью обеспечения более стабильной геометрии режущей части сверла [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и др.].

Однако, во всех работах по совершенствованию конструкции режущей части геометрия сверла рассматривалась в инструментальной системе координат, что в общем случае не в полной мере отражает значение геометрических параметров в процессе резания. В работах [12, 13, 14] рассмотрена общая теория определения геометрических параметров инструмента, в том числе и спиральных сверл, в различных системах координат.

Известно, что влияние подачи в центральной зоне сверла оказывает существенное значение на результирующую скорость резания  $\bar{V}_e$ , так как с приближением к центру сверла скорость главного движения точек его режущей кромки  $\bar{V}$  стремится к нулю. Можно предположить, что пренебрежение значением подачи может привести в некоторой точке режущей кромки к существенным отличиям между статическими и кинематическими параметрами. Поэтому возникла задача сравнительного

исследования геометрии спирального сверла на его режущей кромке в различных системах координат для обоснования выбора системы координат при анализе передних и задних углов и на этой основе разрабатывать сверла с улучшенной конструкцией режущей части.

*Анализ геометрии режущей части спирального сверла в различных системах координат.*

В работах [1, 14, 15] соответственно приведены зависимости, по которым можно рассчитать значения геометрических параметров сверла вдоль режущих кромок соответственно в инструментальной и статической, кинематической системах координат. Для сравнения эти зависимости приведены в табл. 1. [16]

Анализ приведенных зависимостей показывает, что изменение углов в различных системах координат зависит от значений заданных инструментальных геометрических параметров, положения плоскостей резания и рабочей плоскости, определяемых векторами  $\bar{V}$ ,  $\bar{V}_e$  и  $\bar{S}$ .

Таблица 1 – Определение геометрических параметров спирального сверла на режущей кромке

Инструментальная система координат	Статическая система координат	Кинематическая система координат
$\alpha_0$ – задано $\varphi$ – задано	$tg\varphi_{cx} = tg\varphi \cdot \cos\mu_x$	
$tg\gamma_{hx} = tg\omega_x \frac{1 - \sin^2\mu_x \cdot \sin^2\varphi}{\sin\varphi \cdot \cos\mu_x} - tg\mu_x \cdot \cos\varphi$	$tg\gamma_{cx} = \frac{tg\omega_x}{\sin\varphi_{cx}} - tg\mu_x \cdot \cos\varphi_{cx}$	$tg\gamma_{kx} = tg\gamma_{hx} / \cos\lambda_{kx}$
$tg\gamma = \frac{tg\gamma_{hx}}{\cos\lambda_x}$	$tg\gamma_{hcx} = tg\gamma_{cx} \cdot \cos\lambda_{cx}$	$tg\gamma_{hkx} = \gamma_{hcx} + \tau_{Nx}$
$\cos\lambda_x = \sin\varphi \cdot tg\mu_x$	$tg\lambda_{cx} = tg\mu_x \cdot \sin\varphi_{cx}$	$tg\lambda_{kx} = ctg\varphi_{C_x} \cdot \sin\tau_{Nx}$
$tg\alpha_{hx} = \sin\mu_x \cdot ctg\varphi + \frac{tg\theta_N \cdot \cos\mu_x}{\sin\varphi}$	$ctg\alpha_{cx} = \frac{ctg\alpha_{PC}}{\sin\varphi_C} - tg\mu_x \cdot \cos\varphi_{cx}$	$tg\alpha_k = tg\alpha_{hkx} \cdot \cos\lambda_{kx}$
	$tg\alpha_{hcx} = tg\alpha_C / \cos\lambda_{cx}$	$\alpha_{hkx} = \alpha_{hcx} - \tau_{Nx}$

Значение углов в кинематической системе координат в исследуемой точке режущей кромки зависит от значения угла между кинематической и статической плоскостями резания  $\tau_{Nx}$  в этой точке, который определяется по формуле:

$$tg\tau_{Nx} = tg\delta_x \cdot \sin\varphi_{C_x}, \quad (3)$$

где угол  $\delta_x$ , определяющий положение вектора результирующего движения  $\bar{V}_e$  в исследуемой точке равен:

$$tg\delta_x = \frac{S_0}{2\pi r_x}, \quad (4)$$

где  $S_0$  – подача на один оборот сверла;  $r_x$  – радиус рассматриваемой точки режущей кромки.

По приведенным в табл. 1 зависимостям можно определять изменения передних и задних углов вдоль режущей кромки спирального сверла в различных системах координат.

*Изменение передних углов спирального сверла в различных системах координат.*

При определении передних углов вдоль режущей кромки будем считать, что угол наклона винтовой канавки  $\omega=30^\circ$ , угол при вершине  $2\varphi=120^\circ$ , диаметр сердцевины  $d=0,15D$ , где  $d$  – диаметр сердцевины. Согласно формуле табл. 1, при определении статический передний угол  $\gamma_c$

зависит от  $\omega_x$ , который определяется из зависимости  $tg\omega_x = tg\omega \frac{R_x}{R}$  и угла  $\varphi_c$  в исследуемой точке режущей кромки, определяемый углом  $\mu_x$ .

Изменение углов  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $\gamma$  и  $\gamma_n$  на режущей кромке стандартного спирального сверла в инструментальной и статической системе координат, которые приведены в табл. 2. Таким образом, как показывает анализ изменения значений передних углов, рассчитанных в инструментальной и статической системах, практически совпадают. Их разница лежит в поле допуска на геометрические параметры сверла.

Таблица 2 – Изменение углов  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $\gamma$  и  $\gamma_n$  на режущей кромке сверла

$\frac{R_x}{R}$	$\omega_x$	$\mu_x$	Инструментальная система координат				Статическая система координат		
			$\varphi$	$\lambda$	$\gamma$	$\gamma_n$	$\varphi_c$	$\lambda_c$	$\gamma_c$
1	$30^\circ$	$8^\circ37'$	60°	$7^\circ28'$	$30^\circ25'$	$30^\circ25'$	$59^\circ43'$	$7^\circ28'$	$30^\circ38'$
0,8	$24^\circ30'$	$10^\circ48'$		$9^\circ21'$	$23^\circ40'$	$23^\circ25'$	$59^\circ33'$	$9^\circ21'$	$23^\circ43'$
0,6	$19^\circ6'$	$14^\circ29'$		$12^\circ30'$	$19^\circ40'$	$14^\circ45'$	$59^\circ12'$	$12^\circ30'$	$15^\circ10'$
0,4	$13^\circ$	$22^\circ$		$19^\circ$	$3^\circ30'$	$3^\circ15'$	$58^\circ05'$	$19^\circ$	$3^\circ20'$
0,2	$6^\circ35'$	$48^\circ35'$		$40^\circ30'$	$-40^\circ20'$	$-24^\circ05'$	$48^\circ53'$	$40^\circ30'$	$-31^\circ21'$

Такое отличие между значениями передних углов на режущей кромке объясняется незначительным отличием значений главного угла в плане в инструментальной и статической системах координат.

Значение передних углов в кинематической системе координат  $\gamma_k$  больше в сравнении со статическими углами  $\gamma_c$  на величину угла  $\tau_{Nx}$ , который в свою очередь зависит как от угла между векторами скорости главного движения и подачи, так от статического главного угла в плане  $\varphi_c$ . Допустимая подача при сверлении согласно [17] определяется диаметром сверла. Поэтому рассмотрим, как изменяется угол  $\tau_N$  при различных  $\varphi_c$  и

при допустимых подачах для разных диаметров сверла. Так как скорость точек режущей кромки уменьшается от периферии к центру, то угол между статической и кинематической плоскостями будет расти, изменяясь от минимального значения до максимума в центральной зоне сверла.

Изменение угла  $\tau_N$  на режущей кромке для сверл разных диаметров и соответственно при допустимой для этих диаметров подачи при различных значениях  $\varphi$  приведены в табл. 3.

Анализ полученных значений  $\tau_N$  показывает, что с увеличением угла  $\varphi$  и отношения подачи к диаметру сверла, угол  $\tau_N$  увеличивается. Однако, для спиральных сверл с отношением диаметра сердцевины к диаметру сверла равным 0,15 и углом наклона стружечной канавки  $\omega=30^\circ$  для  $\varphi$  в диапазоне  $45^\circ \div 90^\circ$  это увеличение не выходит за пределы допуска сверла. Поэтому анализ геометрии передней поверхности спиральных сверл и разработка новых конструкций режущей части можно приводить в инструментальной системе координат. Это объясняется несущественным изменением передних углов, измеренных в различных системах координат.

Таблица 3 – Изменение угла  $\tau_N$  на режущей кромке спирального сверла

$\frac{R_x}{R}$	$\varphi=45^\circ$			$\varphi=60^\circ$			$\varphi=90^\circ$		
	$\varnothing 3$ мм S=0,05 мм/об	$\varnothing 5$ мм S=0,12 мм/об	$\varnothing 18$ мм S=0,32 мм/об	$\varnothing 3$ мм S=0,05 мм/об	$\varnothing 5$ мм S=0,12 мм/об	$\varnothing 18$ мм S=0,32 мм/об	$\varnothing 3$ мм. S=0,05 мм/об	$\varnothing 5$ мм. S=0,12 мм/об	$\varnothing 18$ мм S=0,32 мм/об
1	0°13'	0°18'	0°17'	0°16'	0°23'	0°17'	0°18'	0°26'	0°19'
0,8	0°16'	0°23'	0°21'	0°20'	0°28'	0°20'	0°23'	0°33'	0°24'
0,6	0°22'	0°30'	0°28'	0°26'	0°38'	0°28'	0°30'	0°43'	0°32'
0,4	0°31'	0°47'	0°41'	0°39'	0°56'	0°41'	0°46'	1°6'	0°48'
0,2	0°50'	1°29'	1°15'	1°19'	1°39'	1°13'	1°31'	2°11'	1°37'

*Изменение задних углов спирального сверла при плоской задней поверхности.*

Задние углы у спиральных сверл задаются в сечении, касательном к круглой цилиндрической поверхности, концентричной оси сверла  $\alpha_u$ , это будет инструментальный рабочий угол  $\alpha_{pc}$ .

В статической системе координат этот угол вдоль режущей кромки определяется по зависимости [16]:

$$tg \alpha_{pcx} = \frac{\cos \mu_x \cdot tg \alpha_u + ctg \varphi_u \cdot \sin(\mu_x - \mu)}{\cos \mu},$$

где  $\alpha_u = \alpha$  известны, заданы на чертеже;  $\sin \mu = \frac{R_x}{R}$  ( $r$  – радиус сердцевины сверла,  $R$  – радиус сверла).

Таблица 4 – Изменение задних углов вдоль режущей кромки спирального сверла в инструментальной и статической системах координат.

$\frac{R_x}{R}$	$\varphi$	Инструментальная система координат				Статическая система координат			
		$\alpha=6^\circ$		$\alpha=12^\circ$		$\alpha=6^\circ$		$\alpha=12^\circ$	
		$\alpha_{ин}$	$\alpha_{нн}$	$\alpha_{ин}$	$\alpha_{нн}$	$\alpha_c$	$\alpha_{нс}$	$\alpha_c$	$\alpha_{нс}$
1	45°	4°17'	4°19'	8°41'	8°44'	4°16'	4°17'	8°38'	8°41'
0,8		5°51'	5°54'	10°15'	10°20'	5°48'	5°51'	10°10'	10°15'
0,6		8°31'	5°39'	12°55'	13°7'	8°23'	8°30'	12°43'	12°55'
0,4		14°10'	14°40'	18°35'	19°13'	13°38'	14°7'	17°54'	18°31'
0,2		40°42'	45°25'	45°27'	50°10'	32°27'	36°52'	30°40'	41°17'
1	60°	5°14'	5°17'	10°34'	10°40'	5°13'	5°16'	10°32'	10°38'
0,8		6°19'	6°25'	11°39'	11°48'	6°18'	6°22'	11°36'	11°45'
0,6		8°9'	8°21'	13°26'	13°45'	8°5'	8°17'	13°20'	13°39'
0,4		11°55'	12°35'	17°7'	18°2'	11°42'	12°21'	16°49'	17°44'
0,2		26°16'	33°0'	30°59'	38°18'	24°7'	30°29'	28°46'	35°50'
1	90°	6°0'	6°4'	12°0'	12°8'	6°0'	6°4'	12°0'	12°8'
0,8		5°58'	6°4'	11°55'	12°8'	5°58'	6°4'	11°55'	12°8'
0,6		5°53'	6°4'	11°46'	12°8'	5°53'	6°4'	11°46'	12°8'
0,4		5°38'	6°4'	11°16'	12°8'	5°38'	6°4'	11°16'	12°8'
0,2		4°1'	6°4'	8°6'	12°8'	4°1'	6°4'	8°6'	12°8'

При известных инструментальном  $\alpha$  и рассчитанном рабочем угле  $\alpha_{рс}$  в статической системе координат по зависимостям указанным в табл. 1 определяются главные и нормальные инструментальные задние углы в статической системе координат. Их расчетные значения на режущей кромке для спиральных сверл с  $\alpha=6^\circ$  и  $\alpha=12^\circ$  приведены в табл. 4.

Анализ изменения главных задних углов на режущей кромке в инструментальной и статической системах координат показывает существенное отличие их значений. При этом с уменьшением угла  $\varphi$  наблюдается более резкое изменение задних углов на режущей кромке. Также при меньших значениях  $\varphi$  разность значений углов  $\alpha_{ин}$  и  $\alpha_c$ , измеренных в главных секущих плоскостях увеличивается.

Следует отметить, что главные задние углы на режущей кромке существенно меньше, в сравнении с нормальными задними углами меньше и диапазон их изменения, табл. 4.

Согласно формулам определения главных задних углов, табл. 1, в кинематической системе координат они будут меньше статических на угол  $\tau_{Nx}$  (3). По аналогии со значениями передних углов, угол  $\tau_N$  не оказывает существенного влияния на изменение кинематических главных задних углов спирального сверла, в сравнении со статическими. Поэтому при анализе геометрии задней поверхности с достаточной точностью (в пределах допуска на угловые размеры сверла) следует использовать статическую систему координат.

## Выводы

В статье приведен анализ изменения геометрических параметров на режущей кромке спирального сверла в различных системах координат. Показано, что отличия передних углов спирального сверла в различных системах координат незначительны. Их значения в инструментальной системе координат тождественны значениям, которые определены в статической и кинематической системах координат. Однако, определение геометрии задней поверхности следует проводить в статической системе координат, что в большей степени отображает их значения в процессе резания.

**Список литературы:** 1. Родин П.Р. Геометрия режущей части спирального сверла / П.Р. Родин, Киев: Техника 1971 – 135 с. 2. А.с. №715228 (СССР) Сверло с криволинейными режущими кромками/ Куцяк Я.В., Векерик В.И., Санчишак В.М. – опубл. в Б.И. 1980, №5. 3. А.с. №1046038 (СССР) Фасонное сверло / Родин П.Р., Татаренко В.Н., Робаковский Я.Н., Станиславский В.Н., Равская Л.В., – опубл. в Б.И. 1984, №2. 4. А.с. №1065109 (СССР) Сверло с подточкой поперечной режущей кромки/ Дибнер Л.Г. Лапиц Б.А. Жилис В.И. Конников М.Н.– опубл. в Б.И. 1984, №7. 5. А.с. №1085702 (СССР) Сверло фасонное / Родин П.Р., Фигурин Ю.И. Татаренко В.Н – опубл. в Б.И. 1984 №13. 6. А.с. №1133044 (СССР) Сверло спиральное двухперовое / Яшин Г.Г., Ногин И.С. – опубл. в Б.И. 1985 №7. 7. А.с. №1151375 (СССР) Спиральное сверло Скочко Е.В. – опубл. в Б.И. 1985 №14. 8. В. Karpushewski, R.S. Turmanidze, L. Dübner. O. Kushnarenko Erhöhung der standzeit und prozesssicherheit von mikrobohrern durch die entwicklung neuer werkzeuggeometrien. Сучасні технології і машинобудуванні. Зб. Наук. Праць С 56. – Харків : НТУ „ХПІ”, 2008 – 208 с. 9. Жиров В.И. Сверла с переточенной перемычкой. / Станки и инструмент 1954 г. №2. 10. Криштопа Н.А., Родина Т.Г. Геометрия задних поверхностей сверл и способы их формообразования. К. Вища школа, 1982. 128с. 11. Жилис В. И. Современные конструкции спиральных сверл. Под ред. Галея М.Г. Вильнюс , 1966. 12. Radzevich S.P. Kinematic Geometry of Surfece Machininy. CRC Press Taylons Fran Cis Grop 2008 – 508 p. 13. А.А. Вачев. Зависимости между инструментальните и работните ъгли – альтернативни на ISO03002/2 1892 (У)// Сборник доклады МНТК по авангардни машиностроители обработки 8МНТК по ведущих производственных операций. Кранево-България 2008, 12с. 14. Николаенко Т.П., Корбут Є.В., Теорія аналітичного визначення геометричних параметрів різальної частини інструментів // Вісник ЖДТУ: вип. 29. Житомир: 2004. с.134-138. 15. Николаенко Т.П., Мельничук Л.С., Общая теория определения геометрических параметров инструментов./ Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць ДДМА – Вип. №14. – 2003. Краматорськ с. 3-11. 16. Равская Н.С., Охрименко А.А. Общая теория определения геометрических параметров режущей части инструментов. Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин. Сборник научных трудов Полоцкого государственного университета. Том 2. 2009, Новополоцк, Беларусь, С 260-265. 17. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: Часть II. Нормативы режимов резания. – М.: Экономика. 1990.