

УДК 514.182: 621.95.025

DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-2-39-46

Н.В. Палий

Канд. техн. наук, доцент,

Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана,

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Использование способов начертательной геометрии для графического исследования параметров режущей части спирального сверла

Аннотация. В работе представлены примеры практического применения способов начертательной геометрии для решения инженерных задач определения и исследования параметров режущей части спирального сверла. Отмечена необходимость графических построений, которая связана с тем, что измерить задний угол прямым методом измерения с применением универсальных угломеров невозможно из-за сложной геометрической формы объекта измерения.

Проведен анализ геометрической формы рабочей части спирального сверла, которая включает главную заднюю коническую поверхность зуба сверла, переднюю винтовую поверхность канавки сверла, цилиндрическую поверхность спинки зуба, главную и поперечную режущие кромки.

С использованием теоремы о двойном соприкосновении построена проекция профиля зуба спирального сверла на плоскости параллельной оси сверла при заданной проекции профиля на плоскости перпендикулярной оси сверла. Профиль зуба определяется линиями пересечения конической поверхности с цилиндрической поверхностью и с винтовой поверхностью канавки сверла. Форма канавки сверла считается заданной. Построены проекции поперечной режущей кромки сверла как линии пересечения двух конических поверхностей со скрещивающимися осями. Задача решена с использованием пучка вспомогательных плоскостей. Показана тенденция увеличения угла наклона поперечной режущей кромки к оси сверла при уменьшении расстояния между скрещивающимися осями конических поверхностей.

Графически в произвольной точке лезвия сверла определена величина одной из основных геометрических параметров сверла — заднего угла. Показано, что чем ближе точка лезвия к центру сверла, тем больше величина заднего угла.

Построения выполнены в 2D-системе проектирования Компас-График.

В работе использовались альтернативные методы решения геометрических задач, которые, в отличие от традиционных, дают более простое и наглядное графическое решение.

Ключевые слова: начертательная геометрия, практическое применение, графические построения, линия пересечения, геометрические параметры спирального сверла.

N. V. Paliy

Ph. D. of Engineering, Associate Professor,

Bauman Moscow State Technical University,

5, 2nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia**The Use of Descriptive Geometry Methods for Graphical Study of the Parameters of the Cutting Part of a Spiral Drill**

Abstract. The article presents examples of practical application of descriptive geometry methods for solving engineering problems of determining and studying the parameters of the cutting part of a spiral drill. The necessity of graphical constructions is noted, which is due to the fact that it is impossible to measure the rear angle by a direct measurement method using a universal measuring instrument due to the complex geometric shape of the measuring object.

The analysis of the geometric shape of the working part of the spiral drill, which includes the main rear conical surface of the drill tooth, the front screw surface of the drill groove, the cylindrical surface of the tooth back, the main and transverse cutting edges are presented.

Using the double contact theorem, a projection of the tooth profile of a spiral drill is constructed on a plane parallel to the drill axis with a given profile projection on a plane perpendicular to the drill axis. The tooth profile is determined by the lines of intersection of the conical surface with the cylindrical surface and with the helical surface of the drill groove. The shape of the drill groove is considered to be set. Projections of the transverse cutting edge of the drill are constructed as lines of intersection of two conical surfaces with intersecting axes. The problem is solved using a bundle of auxiliary planes. The tendency of an increase in the angle of inclination of the transverse cutting edge to the drill axis with a decrease in the distance between the intersecting axes of conical surfaces is shown.

Graphically, at an arbitrary point of the drill blade, the value of one of the main geometric parameters of the drill - the rear angle is determined. It is shown that the closer the point of the blade is to the center of the drill, the greater the value of the rear angle.

The constructions are made in the 2D Compass-Graph design system.

The paper used alternative methods for solving geometric problems, which, unlike traditional ones, provide a simpler and more visual graphical solution.

Keywords: descriptive geometry, practical application, graphical drawings, intersection line, geometric parameters of the spiral drill.

Введение

При проектировании спиральных сверл применение графических и математических методов моделирования элементов рабочей части актуально [7; 11; 12; 15; 20; 22; 23; 29; 31; 32; 35] для решения следующих инженерных задач:

- усовершенствование конструкции спиральных сверл для обеспечения оптимальных режимов резания и увеличения стойкости инструмента;
- определение геометрических параметров и параметров позиционирования инструмента для изготовления и обработки спиральных сверл;
- определение параметров спиральных сверл, не поддающихся измерению прямыми методами.

Построение изображений режущей части спирального сверла проводят для исследований одного из основных геометрических параметров сверла – заднего угла в заданных точках на режущем лезвии и для проверки выбранных параметров заточки сверла [15].

Необходимость графических построений связана с тем, что измерить задний угол прямым методом измерения с применением универсальных угломеров невозможно из-за сложной геометрической формы объекта измерения. Так как режущие кромки сверла являются пространственными кривыми, передняя и задняя поверхности режущего зуба сверла являются криволинейными. Поэтому используют косвенный (графический) метод измерения, при котором измерение задних углов проводится непосредственно на чертеже [15].

В данной работе построения выполнены в 2D-системе проектирования Компас-График.

Анализ геометрической формы рабочей части спирального сверла

Сверла вместе с зенкерами и развертками объединены в группу осевых инструментов, которые характеризуются вращательным главным движением резания при постоянном радиусе траекторий его режущих точек и движением подачи, направленным только вдоль оси главного движения [8]. Сверла применяют для сверления отверстий в сплошном материале и для рассверливания исходных отверстий, полученных сверлением, литьем, ковкой и штамповкой.

Рабочая часть спирального сверла представляет собой цилиндр со спиральными правыми или левыми стружечными канавками. Для образования режущей части выполняется заточка сверла [10].

На рис. 1 показана режущая часть спирального сверла, которая включает в себя следующие элементы: главную заднюю поверхность зуба сверла α , переднюю винтовую поверхность γ , поверхность спинки зуба z , главную режущую кромку K , поперечную кромку K_p .

Форма главной задней поверхности α зуба сверла зависит от способа затачивания сверла [10]. В данной работе рассматривается наиболее часто употребляемый способ заточки сверл – конический. Главная задняя поверхность образована конической заточкой, т.е. представляет собой коническую поверхность.

Спиральная стружечная канавка, сформированная на поверхности цилиндра, образует переднюю винтовую поверхность γ . Поверхность спинки зуба z является цилиндрической поверхностью.

Главная режущая кромка K образована пересечением винтовой стружечной канавки сверла (передней винтовой поверхности γ) с задней главной поверхностью α зуба сверла. Поперечная кромка сверла K_p образована пересечением двух задних конических поверхностей α со скрещивающимися осями.

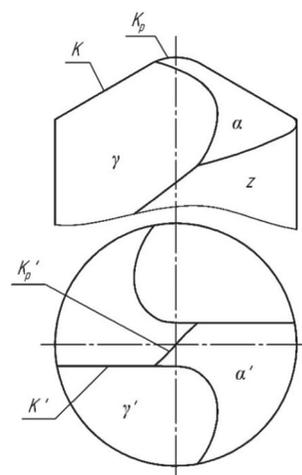


Рис. 1

При конической заточке сверла графическая задача сводится к определению заднего угла в произвольной точке лезвия и к построению проекций профиля зуба сверла для определения формы режущих лезвий сверла – главной режущей кромки и поперечной кромки сверла.

Построение геометрических элементов режущей части спирального сверла

При заточке спирального сверла задняя поверхность зуба сверла образуется с помощью конической поверхности. Для получения необходимого значения заднего угла ось конической поверхности скрещивается с осью сверла и расположена под углом β к оси сверла (рис. 2). Расстояние между скрещивающимися прямыми l_y , угол наклона образующей конуса к оси сверла δ . Положение вершины конуса S_1 задано координатами l_x и l_y .

Проекция сверла на плоскости, перпендикулярной его оси, определяет профиль стружечной канавки сверла и задана радиусами r, r_1, r_2 , размеры которых зависят от радиуса сверла R и определяются соотношениями, положенными в основу проектирования винтовой поверхности канавки сверла [9; 17–19].

Моделирование формы спиральных стружечных канавок представляет собой отдельную графическую задачу, которая подробно рассмотрена в [1; 16; 28; 30; 33; 34]. В данной работе форма стружечной канавки считается заданной.

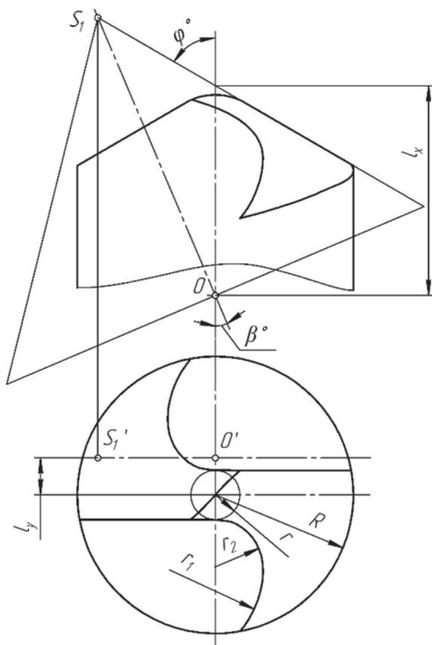


Рис. 2

Используя значение представленных величин, полученных опытным и расчетным путем, построим границы задней поверхности зуба сверла (рис. 3).

На чертеже плоскости скрещивающихся осей цилиндрической поверхности сверла и конической поверхности расположены параллельно плоскости проекций. Построим линии пересечения конической поверхности с цилиндрической поверхностью и с канавкой сверла, ограничивающие заднюю поверхность режущей части. По известной проекции задней поверхности зуба на плоскости перпендикулярной оси сверла построим проекцию зуба сверла на плоскости, параллельной оси сверла.

Обычно для построения проекций образующих конуса используют проекцию конической поверхности на плоскость, перпендикулярную оси сверла [15], однако более простые построения получаются, если использовать теорему начертательной геометрии о двойном соприкосновении, а именно, ее частный случай – теорему Монжа [13; 27].

Впишем в коническую поверхность сферу, центр которой O находится на пересечении оси конуса и прямой, параллельной оси сверла. Построим вспомогательный проецирующий цилиндр радиусом $R_{ц}$, описанный около сферы, ось которого параллельна оси сверла. В соответствии с теоремой Монжа, линией пересечения конической поверхности и вспомогательной цилиндрической поверхности является плоская кривая, в данном случае эллипс. Эллипс проецируется в отрезок прямой EF на плоскость параллельную оси сверла и в окружность с центром O радиусом $R_{ц}$ на плоскость перпендикулярную оси сверла.

Используем для построения проекции зуба сверла образующие конуса и принадлежащие им точки пересечения с цилиндрической поверхностью сверла и сечением канавки (рис. 3). На плоскости перпендикулярной оси сверла построим через вершину конуса ряд проекций образующих $S_1'1', S_1'2', \dots, S_1'6'$. Точки 1...6 принадлежат линии пересечения EF , используя свойство принадлежности фигур, найдем их проекции на плоскости, параллельной оси сверла и, соединив с вершиной конуса S_1 , построим проекции образующих S_11, S_12, \dots, S_16 . На плоскости, перпендикулярной оси сверла, обозначим точки $A_1', A_2', \dots, A_6', B_3', B_4', B_5', C'$ и, используя условие принадлежности этих точек соответствующим образующим, найдем проекции точек $A_1, A_2, \dots, A_6, B_3, B_4, B_5, C$ на плоскости, параллельной оси сверла. Соединив плавной кривой проекции точек $A_1, A_2, \dots, A_6, B_3, B_4, B_5, C$, получим проекцию задней поверхности зуба сверла на плоскости, параллельной оси сверла.

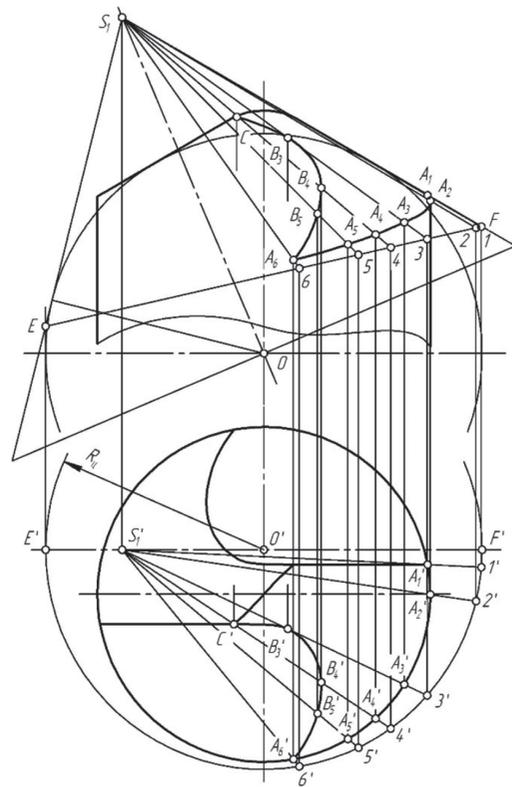


Рис. 3

Режущее лезвие зуба сверла получается при пересечении прямолинейной части винтовой канавки с конической поверхностью. Теоретически режущее лезвие имеет форму гиперболы малой кривизны, так как прямолинейный участок канавки параллелен оси конуса и расположен близко к оси конуса. На плоскости, параллельной оси сверла, лезвие проецируется в линию, близкую к прямой, и практически совпадает с проекцией образующей S_1A_1 (см. рис. 3).

Поперечная режущая кромка сверла является линией пересечения двух конических поверхностей режущей части сверла и является кривой четвертого порядка. Оси конических поверхностей скрещиваются и наклонены под определенными углами к оси сверла. Форма и положение кривой пересечения зависят от взаимного положения и углов конических поверхностей. Традиционно проекцию поперечной кромки строят с помощью введения вспомогательных секущих плоскостей, перпендикулярно оси сверла [15].

В работе предложен альтернативный метод построения линии пересечения двух конических поверхностей со скрещивающимися осями с помощью пучка вспомогательных плоскостей [13; 27], пересекающихся по прямой, соединяющей вершины конусов, и пересекающих конические поверхности по образующим.

Используем для построения вспомогательную плоскость γ , перпендикулярную оси сверла, пересекающую конические поверхности по эллипсам. Линии пересечения плоскостей пучка с проецирующей вспомогательной плоскостью γ пересекают эллипсы в точках, которые используем для построения проекций образующих двух конусов, принадлежащих одной плоскости пучка. При пересечении этих образующих получают общие точки для двух конических поверхностей. Соединяя проекции точек плавной кривой, получим изображение поперечной режущей кромки на плоскости, перпендикулярной оси сверла и на плоскости, параллельной оси сверла (рис. 4).

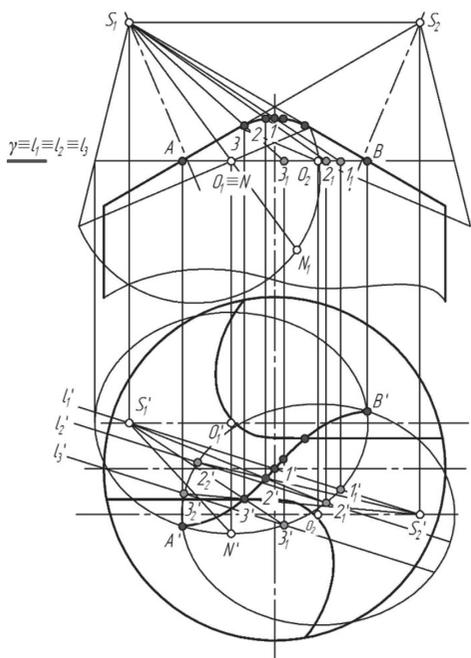


Рис. 4

На рис. 5 представлены два варианта положения и формы поперечной режущей кромки сверла.

С уменьшением расстояния между скрещивающимися осями конических поверхностей угол ψ наклона поперечной кромки к оси сверла увеличивается $\psi_2 > \psi_1$.

Так как кривизной поперечной режущей кромки на коротком участке кривой пересечения пренебрегают, то на чертеже ее изображают отрезком прямой линии, перпендикулярной оси сверла и расположенной под углом к оси ($\psi = 55...57^\circ$).

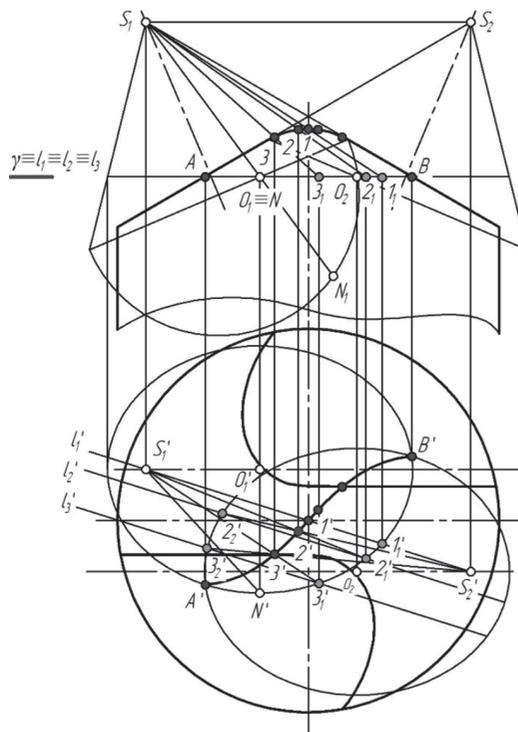


Рис. 5

Определение заднего угла в произвольной точке режущего лезвия сверла

При построении заднего угла обычно используют способ замены плоскостей проекций и построение развертки плоской кривой линии на чертеже [15]. Однако задача может быть решена более простым и наглядным способом.

Для каждой точки режущего лезвия определить величину угла можно в плоскости, перпендикулярной оси сверла. В каждый момент времени точка лезвия вращается вокруг оси сверла и в то же время принадлежит эллипсу конической задней поверхности. Угол между касательными к окружности, по которой точка вращается вокруг оси сверла, и к эллипсу в заданной точке лезвия сверла определяет величину заднего угла. В разных точках лезвия углы между касательными не равны. Чем ближе точка лезвия к центру сверла, тем больше величина заднего угла $\alpha_2 > \alpha_1$ (рис. 6).

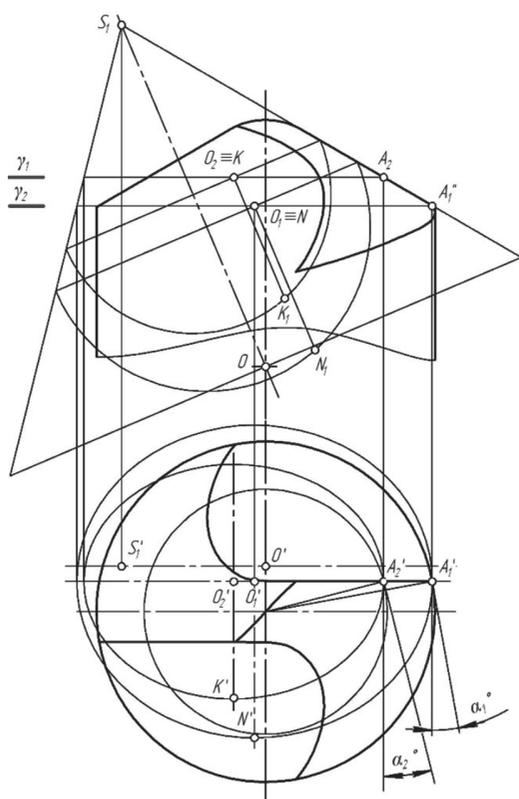


Рис. 6

В границах существования задней поверхности линия эллипса не должна пересекать окружность. Поэтому имеют значение границы, определенные построением на рис. 3 и зависящие от принятых значений взаимного положения осей и размеров конуса и сверла. Если эти условия не выполняются, то построение повторяют при других величинах параметров заточки.

Заключение

Применение методов начертательной геометрии для определения параметров конструкции позволяет быстро и наглядно, с необходимой точностью получить оптимальные значения исследуемых геометрических характеристик и диапазон их возможных изменений.

Отметим важность использования студентами знаний и навыков по начертательной геометрии для решения практических задач в учебном процессе [2–6; 14; 21; 24–26]. Это обеспечивает системный подход к изучению геометро-графических дисциплин, способствует развитию междисциплинарных связей, дает материал для студенческой научной работы и используется для решения инженерных задач на профилирующих кафедрах.

Литература

- Акиншев А.С. Моделирование геометрии стружечных канавок спиральных сверл средствами Autodesk Inventor [Текст] / А.С. Акиншев, А.Л. Климентьев, А.М. Гусаров // Тезисы докладов 50-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки. — Витебск: Витебский гос. технологический университет, 2017. — С. 181.
- Бойков А.А. Проблемы геометро-графической подготовки студентов вузов [Текст] / А.А. Бойков, К.Т. Егизарян, А.В. Ефремов, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 4–22. — DOI 10.12737/2308-4898-2023-11-1-4-22.
- Вышнепольский В.И. Всероссийская научно-методическая конференция «Проблемы инженерной геометрии» и семинар «Геометрия и графика» 2021 г. [Текст] / В.И. Вышнепольский, Н.С. Кадыкова, Т.А. Верещагина // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 35–52. — DOI 10.12737/2308-4898-2022-10-2-35-52.
- Вышнепольский В.И. Методическая система проведения занятий на кафедре «Инженерная графика» РТУ МИРЭА [Текст] / В.И. Вышнепольский, А.А. Бойков, К.Т. Егизарян, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 23–34. — DOI 10.12737/2308-4898-2023-11-1-23-34.
- Вышнепольский В.И. Организация практико-ориентированного обучения на кафедре «Инженерная графика» РТУ МИРЭА [Текст] / В.И. Вышнепольский, А.А. Бойков, А.В. Ефремов, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 35–43. — DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-35-43.
- Вышнепольский В.И. Научно-исследовательская работа на кафедре «Инженерная графика» РТУ МИРЭА [Текст] / В.И. Вышнепольский, А.А. Бойков, К.Т. Егизарян, А.В. Ефремов // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 70–85. — DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-70-85.
- Гавариев Р.В. Использование средств компьютерного моделирования при проектировании и изготовлении концевой режущего инструмента [Текст] / Р.В. Гавариев, А.А. Хакимзянова // Научный вестник. — 2016. — № 3. — С. 28–36. — DOI: 10.17117/nv.2016.03.028.
- ГОСТ 25751-83 Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 27 с.
- Даниленко Б.Д. Способы задания размеров профиля стружечных канавок спирального сверла на учебных чертежах [Текст] / Б.Д. Даниленко // Машиностроитель. — 2014. — № 11. — С. 17–20.
- Дибнер Л.Г. Заточка спиральных сверл [Текст] / Л.Г. Дибнер, Ю.П. Шкурин. — М.: Машиностроение, 1967. — 156 с.

11. Домнин П.В. Математическое моделирование винтовых поверхностей сверла в среде Mathcad [Текст] / П.В. Домнин // Вестник МГТУ «Станкин». — 2021. — № 1. — С. 106–110.
12. Зубкова О.С. Математическое представление режущих кромок спирального сверла в системе Maple [Текст] / О.С. Зубкова, В.В. Куц, Л.Н. Лыкова, Н.Н. Лыкова // Современные материалы, техника и технологии. — 2017. — № 7. — С. 21–28.
13. Иванов Г.С. Начертательная геометрия: учебник [Текст] / Г.С. Иванов. — 3-е изд. — М.: Изд-во МГУЛ, 2012. — 224 с.
14. Лепаров М.Н. О геометрии, еще один раз [Текст] / М.Н. Лепаров // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 1. — С. 3–13. — DOI 10.12737/2308-4898-2022-10-1-3-13.
15. Малевский Н.П. Расчет и конструирование спиральных сверл. Методическое пособие по курсу «Режущий инструмент» [Текст]: Ротапринт / Н.П. Малевский. — М.: Изд-во МВТУ, 1977. — 54 с.
16. Малевский Н.П. Расчет профиля винтовых канавок спиральных сверл. Методическое пособие по курсу «Режущий инструмент» [Текст]: Ротапринт / Н.П. Малевский. — М.: Изд-во МВТУ, 1977. — 16 с.
17. Малевский Н.П. Подготовка исходных данных для графического определения профиля зуба дисковой фрезы для канавки сверла в учебных проектах по режущему инструменту [Текст] / Н.П. Малевский, Б.Д. Даниленко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2008. — № 1. — С. 79–82.
18. Малевский Н.П. Профилирование стружечных канавок спиральных сверл [Текст] / Н.П. Малевский, Б.Д. Даниленко // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». — 2009. — № 1. — С. 100–115.
19. Малевский Н.П. Профилирование стружечных канавок спиральных сверл и определение профиля их нормального сечения [Текст] / Н.П. Малевский, Б.Д. Даниленко, В.С. Булошников // Главный механик. — 2015. — № 5–6. — С. 36–40.
20. Мартыненко К.Ф. Геометрия режущей кромки спирального сверла с обратным углом при вершине [Текст] / К.Ф. Мартыненко, Д.А. Тихонов // Вестник Саратовского гос. технического университета. — 2010. — Т. 3. — № 1. — С. 46–49.
21. Оюунжаргал Ч. Тенденции обучения в инженерной графике [Текст] / Ч. Оюунжаргал, Э. Оюунзая // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 53–59. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-53-59.
22. Петухов Ю.Е. Математическая модель криволинейной режущей кромки спирального сверла повышенной стойкости [Текст] / Ю.Е. Петухов, А.А. Водовозов // Вестник МГТУ «Станкин». — 2012. — № 3. — С. 28–32.
23. Пятых А.С. Математическая модель геометрии режущей части спирального сверла [Текст] / А.С. Пятых // Авиационное машиностроение и транспорт Сибири: Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. Иркутский национальный исследовательский технический университет. — Иркутск, 2017. — С. 232–236.
24. Сальков Н.А. Основные причины плохого усвоения начертательной геометрии [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2021. — Т. 9. — № 2. — С. 3–11. — DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-2-3-11.
25. Сальков Н.А. Системный подход к изучению начертательной геометрии [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 1. — С. 14–23. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-14-23.
26. Сальков Н.А. Об изображениях [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 3–10. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-3-10.
27. Фролов С.А. Начертательная геометрия: учебник для втузов [Текст] / С.А. Фролов. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1983. — 240 с.
28. Balandin A.D., Danilenko B.D. Producing helical channels on taps by means of face mills // Russian Engineering Research. 2013. V. 33. I. 6. Pp. 355–357. DOI: 10.3103/S1068798X1306004X.
29. Beju L.D., Brindasu D.R., Mutiu N.C., Rothmund J. Modeling, simulation and manufacturing of drill flutes // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. V. 83 (9–12). I. 04. Pp. 2111–2127. DOI: 10.1007/S00170-015-7710-1.
30. Danilenko B.D., Malevskii N.P. Forming a helical chip-channel surface in a spiral drill by specifying two generative straight lines // Russian Engineering Research. 2009. V. 29. I. 4. Pp. 397–399. DOI: 10.3103/S1068798X09040157.
31. Ehrmann K.F., DeVries M.E. Grinding Wheel Profile Definition for the Manufacture of the Drill Flutes // CIRP Annals. 1990. V. 39(1). Pp. 153–156. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61024-5.
32. Karpuschewski B., Jandecka K., Mourek D. Automatic search for wheel position in flute grinding of cutting tools // CIRP Annals. 2011. V. 60(1). Pp. 347–350. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.113.
33. Malkova L.D. Surface modeling as a tool for visualization and analysis of machining problems // AIP Conference Proceedings: International Scientific and Practical Conference "Modeling in Education 2019". Moscow: American Institute of Physics Inc., 2019. V. 2195. Pp. 020056. DOI: 10.1063/1.5140156.
34. Malkova L.D. Residual relief analysis during milling process using surface modeling // AIP Conference Proceedings. Moscow, 2022. Pp. 040009. DOI: 10.1063/5.0074564.
35. Zhang S.Y., Liang Z.Q., Wang X.B., Zhou T.F., Jiao L., Yan P. Influence of Wheel Position Parameters of Flute Profile of Micro-Drill. Materials Science Forum. 2016. V. 874. I. 10. Pp. 52–58. DOI: 104028/www.scientific.net/MSF.874.52.

References

1. Akinshev A.S., Klimentiev A.L., Gusarov A.M. Modelirovanie geometrii struzhechnyh kanavok spiralnyh sverl

- sredstvami Autodesk Inventor [Modeling of the geometry of chip grooves of spiral drills by means of Autodesk Inventor]. *Tezisy dokladov 50 mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov, posvyachennoy godu nauki* [Abstracts of the 50th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students dedicated to the Year of Science. Vitebsk State Technological University]. Vitebsk. 2017. Pp. 181. (in Russian)
2. Boykov A.A., Egiazaryan K.T., Efremov A.V., Kadykova N.S. Problemy geometro-graficheskoi podgotovki studentov vuzov [Problems of geometric-graphic training of university students]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023. V. 11. I. 1. Pp. 4–22. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-4-22. (in Russian)
 3. Vyshnepolskiy V.I., Kadykova N.S., Vereschagina T.A. Vserossiiskaya nauchno-metodicheskaya konferentsiya "Problemy inzhenernoi geometrii" i seminar "Geometriya i grafika" 2021 g. [All-Russian scientific and methodological conference "Problems of engineering geometry" and the seminar "Geometry and graphics" 2021]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022. V. 10. I. 2. Pp. 35–52. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-35-52. (in Russian)
 4. Vyshnepolskiy V.I., Boykov A.A., Egiazaryan K.T., Kadykova N.S. Metodicheskaya sistema provedeniya zanyatii na kafedre "Inzhenernaya grafika" RTU MIREA [Methodological system for conducting classes at the department of "Engineering graphics" RTU MIREA]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023. V. 11. I. 1. Pp. 23–34. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-23-34. (in Russian)
 5. Vyshnepolskiy V.I., Boykov A.A., Efremov A.V., Kadykova N.S. Organizatsiya praktiko-orientirovannogo obucheniya na kafedre "Inzhenernaya grafika" RTU MIREA [Arrangement of practice-oriented learning at the department of "Engineering graphics" RTU MIREA]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023. V. 11. I. 1. Pp. 35–43. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-35-43. (in Russian)
 6. Vyshnepolskiy V.I., Boykov A.A., Egiazaryan K.T., Efremov A.V. Nauchno-issledovatel'skaya rabota na kafedre "Inzhenernaya grafika" RTU MIREA [Scientific research at the department of "Engineering graphics" RTU MIREA]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023. V. 11. I. 1. Pp. 70–85. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-70-85. (in Russian)
 7. Gavariyev R.V., Khakimzyanova A.A. Ispolzovanie sredstv kompiuternogo modelirovaniya pri proektirovani i izgotovlenii kontsevego rezhuthego instrumenta [Use of computer modeling in the design and manufacture of the end of the cutting tool]. *Naychnyi vestnik* [Scientific Bulletin]. 2016. I. 3. Pp. 28–36. DOI: 10.17117/nv.2016.03.028. (in Russian)
 8. *GOST 25751-83 Instrumenty rezhutchie. Terminy i opredeleniya obshchih ponyatii* [State Standard 25751-83. Cutting tools. Terms and definitions of general concepts]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 27 p. (in Russian)
 9. Danilenko B.D. Sposoby zadaniya razmerov profilya struzhechnykh kanavok spiralnogo sverla na uchebnykh chertezhakh [Methods to specify the chip groove profile dimensions of spiral drill on students draws]. *Mashinostroitel* [Machinebuilder]. 2014. I. 11. Pp. 17–20. (in Russian)
 10. Dibner L.G., Shkurin Yu.P. *Zatochka spiralnykh sverl* [Sharpening of spiral drills], Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 156 p. (in Russian)
 11. Domnin P.V. Matematicheskoe modelirovanie vintovykh povernostei sverla v srede Mathcad [Mathematical modeling of drill screw surfaces in Mathcad]. *Vestnik MGTU "Stankin"* [Bulletin of MSTU "Stankin"]. 2021. I. 1. Pp. 106–110. (in Russian)
 12. Zubkova O.S., Kuts V.V., Lykova L.N. Matematicheskoe predstavlenie rezhutnykh kromok spiralnogo sverla v sisteme Maple [Mathematical representation of the cutting edges of a spiral drill in the Maple system]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii* [Modern materials, equipment and technologies]. 2017, I. 7, Pp. 21–28. (in Russian)
 13. Ivanov G.S. *Nachertatel'naya geometriya* [Descriptive geometry]. Moscow, MGUL Publ., 2012. 224 p. (in Russian)
 14. Leparov M.N. O geometrii, ethe odin raz [About geometry, one more time]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022. V. 10. I. 1. Pp. 3–13. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-3-13. (in Russian)
 15. Malevskiy N.P. *Raschet i konstruirovaniye spiralnykh sverl. Metodicheskoe posobie po kursu "Rezhutnykh instrumentov"* [Calculation and design of spiral drills. Methodical manual for the course "Cutting tools"]. Moscow, Rotaprint BMSTU, 1977, 54 p. (in Russian)
 16. Malevskiy N.P. *Raschet profilya vintovykh kanavok spiralnykh sverl. Metodicheskoe posobie po kursu "Rezhutnykh instrumentov"* [Calculation of the profile of twist drill flutes. Methodical manual for the course "Cutting tools"]. Moscow, Rotaprint BMSTU, 1977. 16 p. (in Russian)
 17. Malevskii N.P., Danilenko B.D. Podgotovka ishodnykh dannykh dlya graficheskogo opredeleniya profilya zuba diskovoi frezy dlya kanavki sverla v uchebnykh proektakh po rezhutnemu instrumentu [Preparation of initial data for graphical determination of the tooth profile of a disc cutter for a drill groove in educational projects on cutting tools]. *Izvestia vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [News of higher educational institutions. Machinebuilding]. 2008. I. 1. Pp. 79–82. (in Russian)
 18. Malevskii N.P., Danilenko B.D. Profilirovaniye struzhechnykh kanavok spiralnykh sverl [Profiling of chip grooves of spiral drills]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.E. Baubana. Seriya Mashinostroenie* [Bulletin of the Baubman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering Series]. 2009. I. 1. Pp. 100–115. (in Russian)
 19. Malevskii N.P., Danilenko B.D., Buloshnikov V.S. Profilirovaniye struzhechnykh kanavok spiralnykh sverl i opredeleniye profilya ih normalnogo secheniya [Profiling of chip grooves of spiral drills and determination of their normal cross-section profile]. *Glavniy mekhanik* [The chief mechanic]. 2015. I. 5–6. Pp. 36–40. (in Russian)
 20. Martynenko K.F., Tikhonov D.A. Geometriya rezhutchei kromki spiralnogo sverla s obratnym uglom pri vershine [Geometry of spiral drill cutting edge with return corner at the

- top]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Technical University]. 2010. V. 3. I. 1. Pp. 46–49. (in Russian)
21. Oyuunzhargal Ch., Oyuunzayaa E. Tendentsii obucheniya v ingenernoi grafike [Trends of training in engineering graphics]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022. V. 10. I. 2. Pp. 35–59. DOI 10.12737/2308-4898-2022-10-2-53-59. (in Russian)
22. Petukhov Yu.E., Vodovozov A.A. Matematicheskaya model krivolineinoi kromki spiralnogo sverla povyshennoi stoikosti [Mathematical model of the curvilinear cutting edge of a durable helical bit]. *Vestnik MGTU "Stankin"* [Bulletin of MSTU "Stankin"]. 2012. I. 3. Pp. 28. (in Russian)
23. Pyatyh A.S. Matematicheskaya model geometrii rezhuthei chasti spiralnogo sverla [Mathematical model of the geometry of the cutting part of a spiral drill]. *Aviamashinostroenie i transport Sibiri: sbornik statei IX Vserossiiskoi naychno-prakticheskoi konferentsii. Irkutskii natsionalnyi issledovatel'skii universitet* [Proc. 9th Russian Scientific and Practical Conference: Aircraft engineering and Transport of Siberia. Irkutsk National Research Technical University]. Irkutsk. 2017. Pp. 232–236. (in Russian)
24. Sal'kov N.A. Osnovnye prichiny plohogo usvoeniya nachertatelnoi geometrii [The main reasons for poor assimilation of descriptive geometry]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2021. V. 9. I. 2. Pp. 3–11. DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-2-3-11. (in Russian)
25. Sal'kov N.A. Sistemnyi podhod k izucheniu nachertatelnoi geometrii [A systematic approach to the study of descriptive geometry]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022. V. 10. I. 1. Pp. 14–23. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-14-23. (in Russian)
26. Sal'kov N.A. Ob izobrazheniyah [About images]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022. V. 10. I. 2. Pp. 3–10. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-3-10. (in Russian)
27. Frolov S.A. *Nachertatel'naya geometriya* [Descriptive geometry]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 240 p. (in Russian)
28. Balandin A.D., Danilenko B.D. Producing helical channels on taps by means of face mills // Russian Engineering Research. 2013. V. 33. I. 6. Pp. 355–357. DOI 10.3103/S1068798X1306004X.
29. Beju L.D., Brindasu D.R., Mutiu N.C., Rothmund J. Modeling, simulation and manufacturing of drill flutes // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. V. 83 (9–12). I. 04. Pp. 2111–2127. DOI: 10.10007/S00170-015-7710-1.
30. Danilenko B.D., Malevskii N.P. Forming a helical chip-channel surface in a spiral drill by specifying two generative straight lines // Russian Engineering Research., 2009, V. 29. I. 4. Pp. 397–399. DOI: 10.3103/S1068798X09040157.
31. Ehrmann K.F., DeVries M.E. Grinding Wheel Profile Definition for the Manufacture of the Drill Flutes // CIRP Annals. 1990. V. 39(1). Pp. 153–156. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61024-5.
32. Karpuschewski B., Jandecka K., Mourek D. Automatic search for wheel position in flute grinding of cutting tools // CIRP Annals. 2011. V. 60(1). Pp. 347–350. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.113.
33. Malkova L.D. Surface modeling as a tool for visualization and analysis of machining problems // AIP Conference Proceedings: International Scientific and Practical Conference "Modeling in Education 2019". Moscow: American Institute of Physics Inc., 2019. V. 2195. Pp. 020056. DOI: 10.1063/1.5140156.
34. Malkova L.D. Residual relief analysis during milling process using surface modeling // AIP Conference Proceedings. Moscow, 2022. Pp. 040009. DOI: 10.1063/5.0074564.
35. Zhang S.Y., Liang Z.Q., Wang X.B., Zhou T.F., Jiao L., Yan P. Influence of Wheel Position Parameters of Flute Profile of Micro-Drill. Materials Science Forum. 2016. V. 874. I. 10. Pp. 52–58. DOI: 104028/www.scientific.net/MSF.874.52.