

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9.02.001

К.Л. Панчук, В.Ю. Полшков, И.В. Бутко

КОМПЬЮТЕРНОЕ ГРАФИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В теории профилирования режущих инструментов известен метод нормалей, основанный на построении контактных нормалей к взаимоогибающимся поверхностям из точек на поверхности [1, 2]. Анализ существующих специализаций этого метода для решения рассматриваемой задачи профилирования позволяет сделать вывод о том, что им присущи значительные сложность и громоздкость графических построений в определении отдельной точки касания взаимоогибаемых поверхностей. В работе предлагается подход к решению задачи профилирования, основанный на построении нормали к поверхности из внешней точки. Некоторые преимущества компьютерной графической реализации этого подхода будут показаны по ходу изложения материала работы.

1. Теоретические аспекты построения нормали к винтовой поверхности извне

Контактные нормали к взаимоогибающимся поверхностям отличаются от обычных нормалей тем, что они являются общими для обеих поверхностей в точках касания и в геометрической интерпретации представляют собой прямые общего линейного комплекса (нуль-система) [3], а в кинематической - лучи мгновенного кинематического винта, определяющего мгновенное относительное движение тел с взаимоогибамыми поверхностями [4].

Рассмотрим в качестве одной из взаимоогибаемых поверхностей цилиндрическую винтовую поверхность (ВП). Пусть ВП задана своим чертежом (рис.1). При этом j – винтовая ось (ось ВП), занимающая проецирующее положение относительно горизонтальной плоскости проекций, f_δ и f_δ^1 - торцовые профили ВП в горизонтальных плоскостях уровня δ и δ^1 соответственно. Пусть также $h = H/(2\pi)$ – винтовой параметр ВП, H – шаг ВП. Направление хода ВП определено чертежом.

Под торцевым профилем будем понимать линию сечения ВП плоскостью, перпендикулярной ее винтовой оси.

Нормали к торцевому профилю f_δ образуют поле нормалей в плоскости δ , которое в рассматриваемом подходе к профилированию ограничивает-

ся окружностью радиуса R_i .

Из теории винтовых поверхностей известно, что положение нормали к ВП относительно винтовой оси j определяется соотношением [5]: $r \cdot \operatorname{tg} \varphi = h$, где r и φ соответственно кратчайшее расстояние и угол. Учитывая особенность проекционного расположения ВП относительно плоскости проекции Π_1 (см. рис.1), выражающуюся в том, что $j \perp \Pi_1$, можно на основании приведенного соотношения утверждать, что нормаль к торцовому

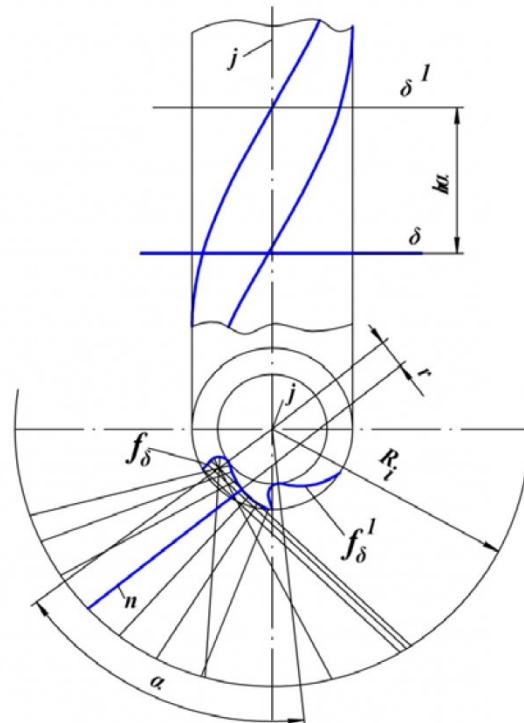


Рис.1 Поле нормалей торцевого профиля

му профилю в его точке есть с точностью до направления ортогональная проекция нормали к ВП в этой точке. В этой связи знак угла φ зависит от направления хода ВП и от направления вектор- момента, образуемого проекцией вектора нормали к ВП на торцовую плоскость при ее вращении относительно центра j в плоскости Π_1 .

Применим некоторые понятия и теоретические положения теории винтов [4] в рассматриваемом подходе. Пусть $n_{\delta 1}^0$ и $n_{\delta 1}$ – два разных положения одной и той же нормали к торцовому профилю в его положениях $f_{\delta 1}^0$ и $f_{\delta 1}$ (рис. 2). Очевидно, основания $N_{\delta 1}^0$ и $N_{\delta 1}$ этой нормали принадлежат разным плоскостям уровня δ^0 и δ торцового профиля в его положениях $f_{\delta 1}^0$ и $f_{\delta 1}$. Повернем нормаль к торцовому профилю вокруг центра j_1 в положение n_1^0 , при котором она будет проходить через точку $a_{ii}^0 = M_1^0$. Этому повороту на угол α_δ будет соответствовать положение N_1^0 основания нормали в соответствующей плоскости уровня δ_N^0 . Поскольку нормаль к ВП является лучом винта [4], то приняв точку M^0 нормали в качестве полюса определенной полярной плоскости G^0 , получим, в соответствии с определением этой плоскости,

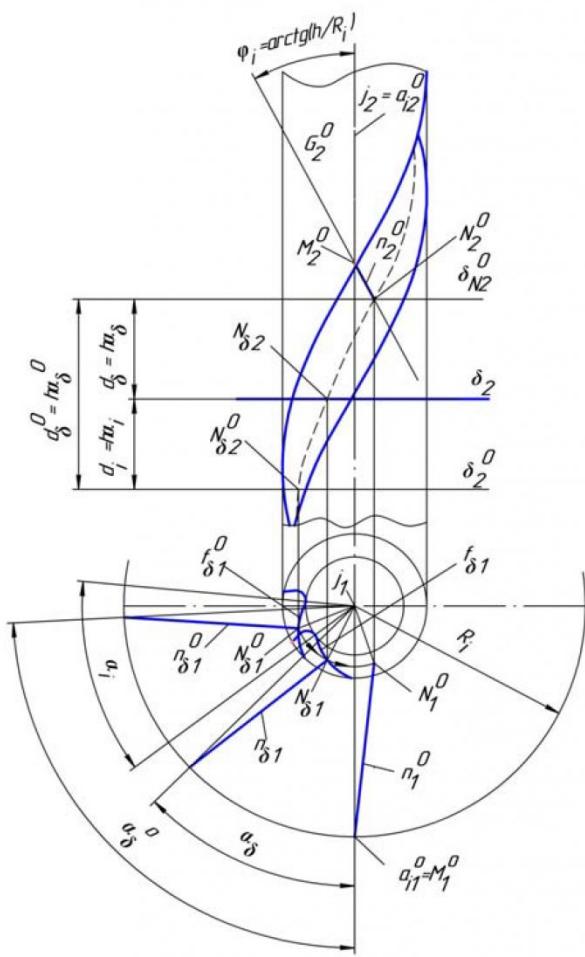


Рис. 2 Проецирующее положение полярной плоскости

что через точку $M^0 \in G^0$ проходит пучок лучей винта, один из которых совпадает с нормалью n^0 к ВП в точке $M^0 \in \pi^0$. Положение полярной плоскости G^0 относительно винтовой оси j определяется соотношением $R_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = h$, где R_i - расстояние от полюса M^0 до оси j , φ_i - угол между полярной плоскостью G^0 и осью j . Исходя из проекционной особенности расположения полюса M^0 и оси j (см.

рис. 2), получаем, что G_2^0 есть фронтальный след полярной плоскости G^0 , расположенной под углом φ_i к оси j , проходящей через основание N^0 нормали. Поэтому точка $M_2^0 = G_2^0 \cap j_2$ есть фронтальная проекция полюса M^0 полярной плоскости и,

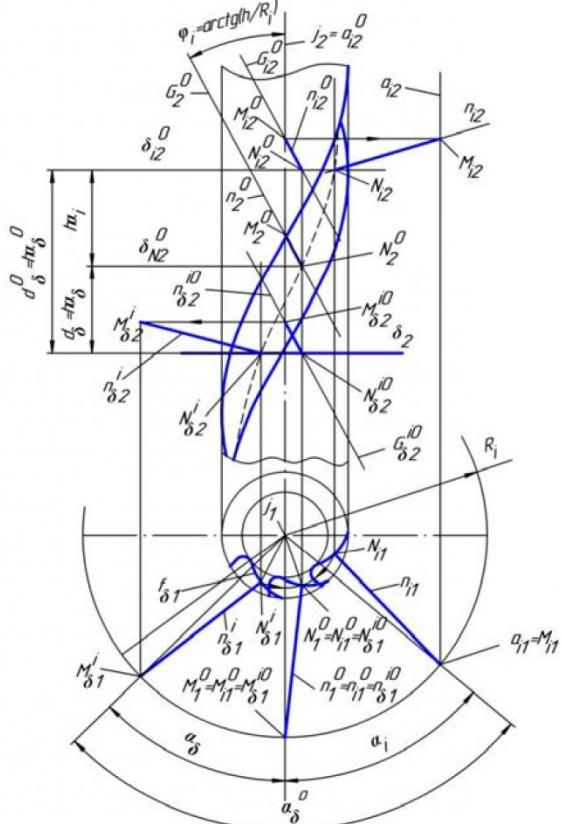


Рис.3 Поворотные положения нормали

следовательно, n_2^0 и n_1^0 есть проекции нормали n^0 к ВП, проходящей через внешнюю точку M^0 (M_1^0 , M_2^0).

Нормали к ВП, которые пересекают прямую a_i^0 (a_{ii}^0 , a_{i2}^0), проходящую через полюс M^0 параллельно винтовой оси j , - эти нормали параллельны полярной плоскости G^0 с полюсом M^0 . Действительно, полярные плоскости с полюсами – точками прямой a_i^0 , определяются одним и тем же соотношением $R_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = h$. Следовательно, они образуют пучок параллельных плоскостей, и каждой из них в общем случае принадлежит конечное число нормалей ВП, проходящих через полюс – точку пересечения полярной плоскости и прямой a_i^0 .

Как следует из вышеизложенного, для построения нормали к ВП на основе использования минимального количества изображений ВП, т.е. на Π_1 и Π_2 , необходимо, чтобы полярная плоскость, содержащая искомую нормаль, была проецирующей относительно Π_2 . Принимая любую точку пространства, через которую должна проходить нормаль к ВП, в качестве полюса полярной плоскости винта (j, h), и полагая, что через эту

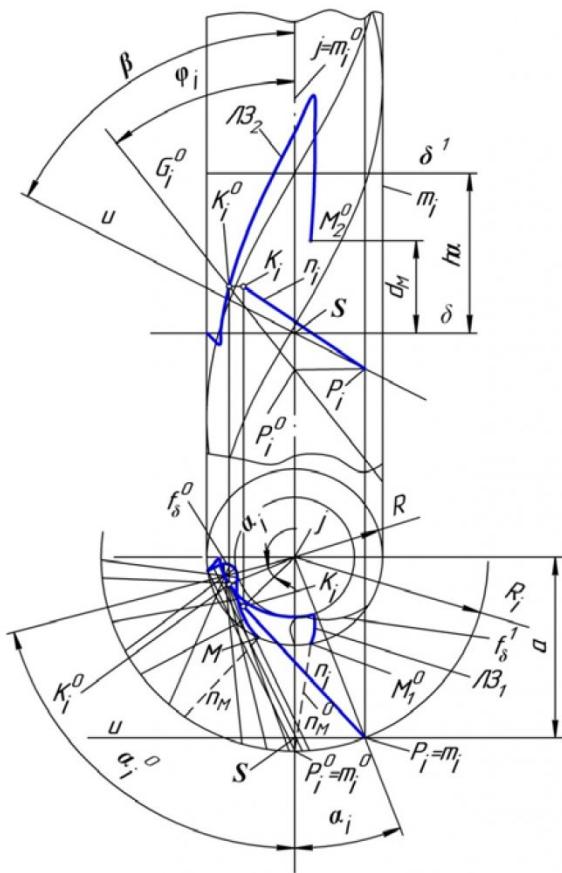


Рис. 4 Определение точки K_i характеристики

точку проходит конечное число нормалей к ВП, мы должны выполнить некоторое геометрическое преобразование, направленное на изменение положения полюса и ВП с целью получения проецирующего положения полярной плоскости. Очевидно, этим преобразованием является вращение относительно винтовой оси j .

На рис. 3 показаны поворотные положения полюсов "М", образующих одно и тоже расстояние R_i с винтовой осью j : $M_i(M_{i1}, M_{i2})$, $M^0(M_1^0, M_2^0)$ и $M_\delta^i(M_{\delta1}^i, M_{\delta2}^i)$

Прямая кратчайшего расстояния между полюсом M^0 и осью j занимает проецирующее относительно Π_2 положение. Поэтому полярная плоскость $G^0(G_2^0)$ этого полюса является также проецирующей и образует угол $\varphi_i = \arctg(h/R_i)$ с осью j . Прямая кратчайшего расстояния между полюсом M_i и осью j не занимает проецирующего положения. Пусть n_{i1} - проекция проходящей через точку M_i нормали к ВП. Выполним поворот полюса M_i и ВП, находящихся в жесткой связи друг с другом, вокруг оси j на угол α_i до проецирующего положения полярной плоскости. В таком случае на плоскости проекций Π_1 получаем соответствующее изображение положения n_{i1}^0 проекции нормали к ВП из точки M_i . Очевидно, проекции N_{i2}^0 и N_{i2} на Π_2 оснований нормали в ее

положениях n_i^0 и n_i принадлежат одной плоскости уровня $\delta_i^0(\delta_{i2}^0)$. Проекция N_{i2} основания нормали n_i^0 определяет след G_{i2}^0 проецирующей полярной плоскости G_i^0 с полюсом $M_i^0(M_{i1}^0, M_{i2}^0)$ Очевидно, $M_{i2}^0 = G_{i2}^0 \cap j_2$. Из вышеизложенного следует параллельность следов $G_{i2}^0 \parallel G_2^0$. В соответствии с выполненным преобразованием проекции M_{i2}^0 и M_{i2} положений полюса M_i будут принадлежать одной горизонтальной прямой, а сами положения M_i^0 и M_i полюса M_i - одной горизонтальной плоскости уровня.

Если повернуть на угол α_δ полюс M_δ^i , через который проходит нормаль $n_\delta^i(n_{\delta1}^i, n_{\delta2}^i)$ к ВП, в жесткой связи с ВП, до проецирующего относительно Π_2 положения $G_\delta^{i0}(G_{\delta2}^{i0})$ его полярной плоскости G_δ^i , то получим на Π_1 : проекцию $n_{\delta1}^{i0}$ положения n_δ^i преобразуемой нормали n_δ^i , проекцию $N_{\delta1}^{i0}$ положения N_δ^{i0} преобразуемого основания N_δ^i этой нормали на ВП и проекцию $M_{\delta1}^{i0}$ положения M_δ^{i0} преобразуемого полюса M_δ^i , через который проходит нормаль n_δ^i . При таком преобразовании ВП поворачивается относительно своей оси j на угол α_δ , полюс M_δ^i перемещается в свое положение $M_\delta^{i0}(M_{\delta1}^{i0}, M_{\delta2}^{i0})$ в горизонтальной плоскости уровня, при этом соответствующие проекции $M_{\delta2}^i$ и $M_{\delta2}^{i0}$ принадлежат горизонтальной прямой, а основание N_δ^i нормали к ВП и его полярное положение N_δ^{i0} принадлежат горизонтальной плоскости уровня $\delta(\delta_2)$.

2. Геометрическая модель профилирования дискового инструмента

Основываясь на вышеизложенных теоретических положениях, рассмотрим геометрическую модель компьютерного графического профилирования на конкретном примере профилирования. В качестве исходных примем следующие данные:

1. ВП (j, R, h, f_δ^1, NX) задана чертежом (рис. 4), где j - винтовая ось; R - радиус ограничивающей цилиндрической поверхности вращения; h - единичный шаг (винтовой параметр); f_δ^1 - торцевый профиль и его плоскость δ^1 ; NX - направление хода ВП. В качестве торцевого используем профиль винтовой стружечной канавки концевой фрезы, состоящей из трех участков (отрезок прямой линии и дуги двух окружностей), сстыкованных по первому порядку гладкости [2].

2. Параметры установки профилируемого дискового инструмента (ДИ): u - ось ДИ, положение которой относительно оси j определяется кратчайшим расстоянием a и углом скрещивания β , а относительно ВП - положением точки скрещивания S , принадлежащей плоскости δ торцевого профиля f_δ . Чертеж на рисунке 4 выполнен средствами плоской графики КОМПАС V11 и соответствует следующим численным значениям исходных данных $\beta=63^\circ$, $a=51.23\text{мм}$, $\alpha=60^\circ$ (см. рис1), $h=43.328\text{мм}$; $R=25\text{мм}$. NX определяется чертежом.

Рассмотрим при этих данных построение на ВП ортогональной проекции произвольной точки $P_i \in u$ на основе средств плоской графики КОМПАС V11. На горизонтальной плоскости проекции Π_1 угловое положение горизонтальной проекции $P_i \in u$ относительно проецирующего направления на фронтальную плоскость проекции Π_2 определяется углом α_i . В примере $\alpha_i=21^{\circ}20'$. Построим поле нормалей $\{n\}$ к профилю f_δ (см. рис.1), ограниченное профилем f_δ и окружностью радиуса $R_t = \|P_t\|$. В примере $R_t=55$ мм. Повернем на Π_1 точку $P_i \in u$ в жесткой связи с телом, к которому прикреплена ВП, в положение P_i^0 , при котором полярная плоскость G_i полюса P_i станет проецирующей (G_i^0) относительно Π_2 , при этом $\varphi_i=\arctg(h/R_i)$. В примере $\varphi_i=38^{\circ}14'$. В связи с этим поворотом поле нормалей $\{n\}$ вместе с профилем f_δ повернется в плоскости δ относительно винтовой оси j на угол $\alpha_i^0=a+\alpha_i$ и займет новое положение, определяемое новым положением f_δ^0 профиля f_δ . Для профиля f_δ^0 и индуцируемого им поля нормалей построим линию LZ_1 , которая известна в теории плоских зубчатых зацеплений, как линия зацепления [6]. Как известно, LZ_1 представляет собой геометрическое место оснований нормалей к торцовому профилю, полученных в результате поворота каждой нормали относительно центра j окружности R_i в положение прохождения этой нормали через полюс зацепления P_i^0 . На ри-

сунке в качестве примера показано построение конечной точки M_1^0 на LZ_1 , как основания нормали n_M в ее положении n_M^0 , проходящем через полюс P_i^0 при повороте нормали n_M на угол α_M вокруг центра j из ее положения относительно профиля f_δ^0 . Очевидно, основание $M \in n_M$ в результате поворота преобразуется в точку $M_1^0 \in n_M^0$.

Линии LZ_1 соответствует по построению линия LZ_2 на плоскости проекции Π_2 . Каждой точке на LZ_1 соответствует определенная точка на LZ_2 , которая определяется в проекционной связи удалением d от плоскости $\delta=\Pi_1$ из этой плоскости на расстояние, пропорциональное углу (со знаком + или -) поворота в плоскости $\delta=\Pi_1$, становится точкой на LZ_2 . Так, например, положение точки $M_2^0 \in LZ_2$, соответственной точке $M_1^0 \in LZ_1$, определяется расстоянием $d_M = h \cdot \alpha_M$, где угол α_M взят со знаком +, поскольку поворот, в результате которого получаем $M \rightarrow M_1^0$, соответствует заданному НХ исходной ВП.

Как следует из п.п. 1, ЛЗ с проекциями LZ_1 и LZ_2 представляет собой по существу ортогональную проекцию прямой линии $m_i^0 (m_i^0 \parallel j, m_i^0 \ni P_i^0)$ на заданной ВП, полученную проецированием нормалями к ВП на саму ВП.

Таким образом, на чертеже (см. рис. 4) выполнено построение ЛЗ (LZ_1, LZ_2), соответствующей выбранной точке $P_i \in u$ в ее положении $P_i^0 = m_i^0$.

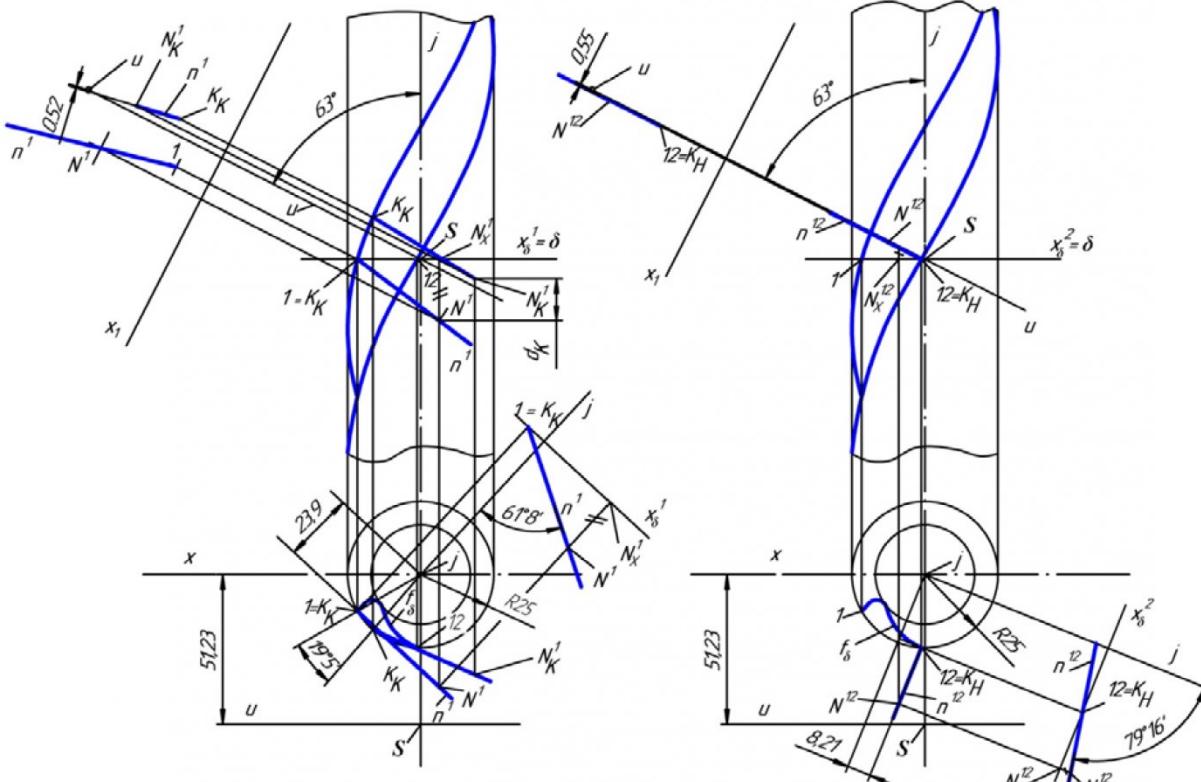


Рис. 5 Определение граничных точек характеристики

Раньше, в п.п.1 было отмечено, что параметры положения взаимно соответственных полюса P_i^0 и полярной плоскости G_i^0 удовлетворяют соотношению $K_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = h$. Исходя из вышеизложенного можно утверждать, что точка пересечения $K_i^0 = G_i^0 \cap L_3$ представляет собой основание нормали к ВП, проведенной из точки P_i^0 . Обратным поворотом в плоскости $\Pi_1 = \delta$ на угол $-\alpha_i$ относительно центра j получаем искомую точку K_i – основание нормали n_i к ВП, проходящей через исходную точку $P_i \in u$. Рассматривая прямую u как множество $\{P_i\}$ точек P_i и выполняя по рассмотренному выше алгоритму построения основания K_i нормали n_i к ВП, проходящей через каждую P_i , получим множество точек $\{K_i\}$, образующих характеристику – линию касания взаимоогибаемых поверхностей, одной из которых является ВП. Последующее рассмотрение других точек $P_i \in u$ в решении поставленной задачи профилирования при тех

численных значениях исходных данных позволило обнаружить существование нескольких нормалей к ВП, проходящих через одну и ту же точку $K_i \in u$. Эта отличительная особенность предлагаемой геометрической модели профилирования может быть использована для качественного анализа результата профилирования, например, при исследовании подрезания. Другой положительной особенностью модели является возможность значительного сокращения количества операций построения, поскольку $L_3 P_i$, построенная для точки $P_i \in u$, и $L_3 P_i'$, построенная для точки $P_i' \in u$, симметричной P_i относительно точки скрещивания $S \in u$, неотличимы по геометрической форме и отличаются лишь положением относительно плоскости $\delta = \Pi_1$.

В случае аналитического описания предлагаемой геометрической модели профилирования задача определения граничных точек искомой характеристики вполне решаема. При конструктив-

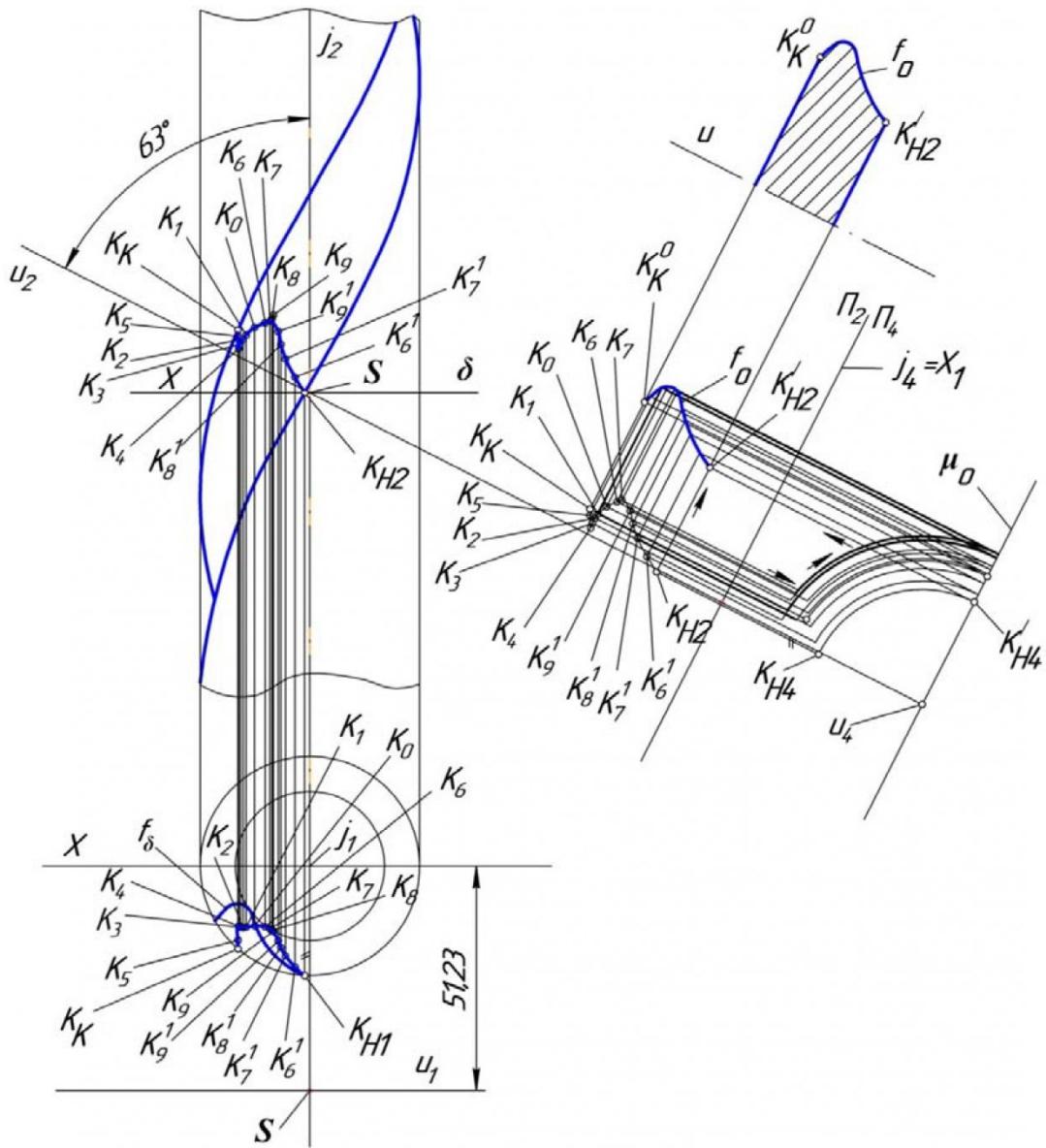


Рис.6 Определение осевого профиля инструмента

ном (графическом) компьютерном профилировании конечные точки характеристики могут быть определены на основе одного из известных итерационных способов [2]. На рисунке 5 представлены компьютерные построения, связанные с определением таких точек K_h (рис. 5,а) и K_k (рис. 5,б), выполненные указанным способом. Смысл этого способа заключается в том, что нормали n к ВП в точке ее торцового профиля f_δ придают винтовые перемещения, которые могут быть противоположных направлений, вдоль винтовой линии, проходящей через основание нормали на профиле f_δ , до тех пор, пока эта нормаль не пересечет ось и инструмента с заданной точностью. Из компьютерных построений на рисунке 5, а следует, что нормаль n^1 к ВП в крайней точке $1=K_k$ торцового профиля после одного винтового приращения в направлении хода ВП прошла на расстоянии 0.52 мм от оси и инструмента. Из схемы построений на рисунке 5, б следует, что нормаль n^{12} к ВП в другой конечной точке $12=K_h$ торцового профиля f_δ прошла сразу, без винтовых приращений, на расстоянии 0.55 мм от оси u .

В результате компьютерного выполнения множества однотипных построений, таких как для вышерассмотренной точки $P_i \in u$, получаем пространственный дискретный ряд точек

$\{K_i\}$, искомой характеристики. В поставленной задаче профилирования с определенными значениями исходных данных получено 16 точек характеристики (рис. 6). Две из них, K_8 и K_9 , были выведены из дискретного ряда $\{K_i\}$, как несоответствующие характеру последовательного формообразования этого ряда. Это несоответствие является следствием недостаточной точности компьютерного графического определения указанных точек, как точек пересечения полярных плоскостей G_8^0 и G_9^0 с соответствующими линия-

ми LZ_8 и LZ_9 . Недостаточная точность обусловлена ограниченными возможностями интерполяции дискретного ряда точек средствами плоской компьютерной графики при получении геометрической формы проекции LZ_1 и LZ_2 на плоскостях Π_1 и Π_2 .

После анализа полученного пространственно-го дискретного ряда точек искомой характеристики и его корректировки с целью уточнения положений отдельных его точек путем более точного определения их положения за счет построения дополнительных точек – узлов интерполяции этого ряда, расположенных вблизи уточняемой точки – после этих действий выполняется переход к построению осевого профиля f_0 профилюемого ДИ. Для удобства последующих построений сме-стим массив фронтальных проекций точек дис-cretного ряда характеристики вдоль оси и на сво-бодное поле построений (см. рис. 6). В системе плоскостей проекций $X_1(\Pi_2/\Pi_4)$ ось и профилюемого ДИ займет проецирующее положение $u \perp \Pi_4$, т.е. ее проекция на Π_4 будет точкой u_4 . Используя «старые» проекции – массив горизонтальных проекций точек дискретного ряда характеристики, строим проекции точек этого ряда на Π_4 . Например, $(K_{h1}, K_{h2}) \rightarrow K_{h4} \rightarrow K_{h4}' \rightarrow K_{h2}'$, где K_{h4}' принадлежит осевой плоскости μ_0

профилюемого ДИ. Выполняя подобные по-строения для остальных точек дискретного ряда характеристики, получим в итоге осевой профиль f_0 искомого ДИ. Сравнение полученного профиля f_0 с соответствующим профилем ДИ, спрофилированного известным итерационным способом [2] при тех же данных задачи профилирования, показало высокую точность совпадения профилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник конструктора-инструментальщика /В.И. Баранников, [и др]. - М.: Машиностроение, 1994. - 560с.
2. Щегольков Н.Н. Итерационный способ компьютерного профилирования дисковых инструментов для винтовых поверхностей: учеб. пособие. - М.: Московский станкостроительный институт, 1991. - 32с.
3. Диментберг, Ф.М. Теория винтов и ее приложения. - М: Наука, 1978 -328с.
4. Панчук, К.Л. Кинематический метод профилирования дисковых инструментов // Известия вузов. Машиностроение. - 1979. - №11. - С.125 – 129.
5. Люшин, В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1968. - 371с.
6. Литвин, Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Наука, 1968. - 584с.

□ Авторы статьи:

Панчук
Константин Леонидович,
докт.техн.наук, доцент, проф. каф.
“Начертательная геометрия, инже-
нерная и компьютерная графика”.
(Омский государственный техниче-
ский университет)
E-mail: Panchuk_KL@mail.ru

Полшков
Владислав Юрьевич,
студент группы МС-115,
(Омский государственный
технический университет).
E-mail: Panchuk_KL@mail.ru

Будко
Иван Валерьевич,
студент группы МС-516 (Омский
государственный технический уни-
верситет).
E-mail: Panchuk_KL@mail.ru