УДК 621.91.02 (075.8)

А.В. Рисіч, магістрант
Є.В. Скочко, к.т.н., проф.
Житомирський інженерно-технологічний інститут

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ РОЗШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ФАСОННИХ ДИСКОВИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ (ФДРІ)

Розглядається графічний та аналітичний методи профілювання фасонних дискових РІ в умовах зміни положення їх осей відносно напрямку подачі з метою розширення номенклатури форм оброблювальних поверхонь деталей та підвищення їх точності.

Дисковими фасонними РІ (фрезами та абразивними кругами) обробляють дуже обмежену номенклатуру деталей (Д), коли вони використовуються лише в умовах перпендикулярності подачі їх осі. В цих умовах при обробці призматичних профілів Д (канавок, буртів та схилів) існує плоска характеристика, тобто плоский лінійний контакт РІ з обробленими поверхнями Д, який знаходиться в площині, що перпендикулярна напрямку подачі. При обробці поверхонь обертання подібна плоска характеристика буде знаходитись на загальній осьовій площині РІ та поверхні Д. При обробці гвинтових поверхонь характеристика завжди буде не плоскою, а просторовою, причому перпендикулярність буде зберігатись лише для однієї її точки відносно певної однієї гвинтової лінії (реальної чи уявної), що розташована на певному діаметрі. У процесі такої обробки Д поверхні різання співпадають із частиною ПІП ФДРІ та обмежені як поверхнями заготовок, так і вказаними характеристиками. В цих умовах для кожної з поверхонь деталей потрібно виготовляти окремий спеціальний РІ, що вимагає для потреб машинобудування та інших галузей господарства величезної кількості ФДРІ. Звичайно, урізноманітнення оброблювальних Д із обмеженою номенклатурою ФДРІ виконується лише за рахунок зміни глибини профілю та кутового розташування відносно базових поверхонь (обробка виконується на широкоуніверсальних верстатах).

Значного розширення можливих форм і розмірів оброблювальних поверхонь Д можна досягти за рахунок доцільної зміни (відхилення від перпендикулярності) кута розташування осі ФДРІ відносно напрямку подачі. Це дозволяє значно розширити класи поверхонь Д, оброблювальних одно- та двокутовими, радіусними опуклими та вгнутими ФДРІ, а також спеціальними фасонними інструментами для обробки прямих та гвинтових канавок різальних інструментів, роторів насосів тощо. Визначення кута положення осі вибраного ФДРІ для обробки заданого профілю Д може виконуватись графічним та аналітичним способами.

При обробці Д в реальних умовах внаслідок існуючих похибок виготовлення і налагодження верстатів, биття зубців і некерованого деформування заготовок Д та оправок ФДРІ від сил різання та закріплення, мають місце прогнозовані похибки виготовлення форми та розмірів Д. Розрахунок величин деформацій заготовок та оправок ФДРІ може бути виконаним за відомими формулами дисципліни опору матеріалів, а прогнозування можливих похибок форми та розмірів профілю Д при обробці вибраним профілем ФДРІ за умови відхилення осі інструмента від теоретичного кута положення (прямого чи іншого) відносно напрямку подачі, повинно виконуватись обгинним профілюванням. У звязку з великою чутливістю величини похибки до кута повороту, що має місце при великих діаметрах ФДРІ на крутих ділянках їх профілів, то в цьому випадку може використовуватись лише аналітичний або чисельний метод профілювання поверхнь деталей.

За деяким винятком [1, 2], всі відомі дослідники (більше 20 робіт) вирішували лише пряму задачу – за заданим профілем Д знаходили потрібний профіль ФДРІ. Але у їхніх роботах [1, 2] пряма задача вирішується хоч і точним, але складним аналітичним трансцендентним способом. До того ж у них вирішується спрощена задача – поворот осі ФДРІ виконується тільки в одній площині. Для розширення класу оброблювальних поверхонь деталей певним ФДРІ при різних положеннях його осі відносно напрямку подачі, потрібно вирішувати і обернену задачу – знаходили можливі профілі Д за рахунок пошуку обгинних поверхонь, які мають лінійчатий дотик (харатеристику) з ПІП ФДРІ. Вивчення полів допусків на задані поверхні Д дозволяє визначити кількість подібних поверхонь Д, які можуть бути оброблені певним ФДРІ.

© А.В. Рисіч, Є.В. Скочко, 2001

Суттю графічного профілювання поверхонь Д (призматичних, кільцевих та гвинтових), як обгинних поверхонь за відношенням до певного профілю ПІП ФДРІ та вибраного його розташування відносно подачі, є знаходження найбільш "виступаючих" точок ПІП при їх відносному русі в напрямку подачі.

Для спрощення вказаної просторової задачі необхідно використати відомий метод [3] сукупності січних площин, перпендиулярних до осі ПІП ФДРІ. Отримані кола в перетинах, що представлені у вигляді еліпсів, дозволяють легко знайти профілюючі точки дотику ПІП з Д. Отриманий профіль – це результат переміщення кожної з точок характеристики у напрямку подачі до досягнення однієї січної площини (торцьової, осьової або умовно нормальної).

При профіліюванні Д можливі розриви ліній характеристики, а також "перекриття" окремих "виступаючих" точок у певних січеннях більш "виступаючими" є дійсно профілюючими.

Розглянемо послідовність графічного профілювання прямолінійної поверхні стружкової канавки циліндричної чи кінцевої фрези, що має пряму, дугові вгнуті та опуклі ділянки при обробці за допомогою ФДРІ. Зрозуміло, що основний профіль канавки виконується при перпендикулярному розташуванні осі ФДРІ відносно подачі. Для отримання розширеної, але подібної канавки ФДРІ загального положнення треба її відвернути від перепндикулярного положення до стану подачі на певний невеликий кут (до 10...20°) (рис. 1).

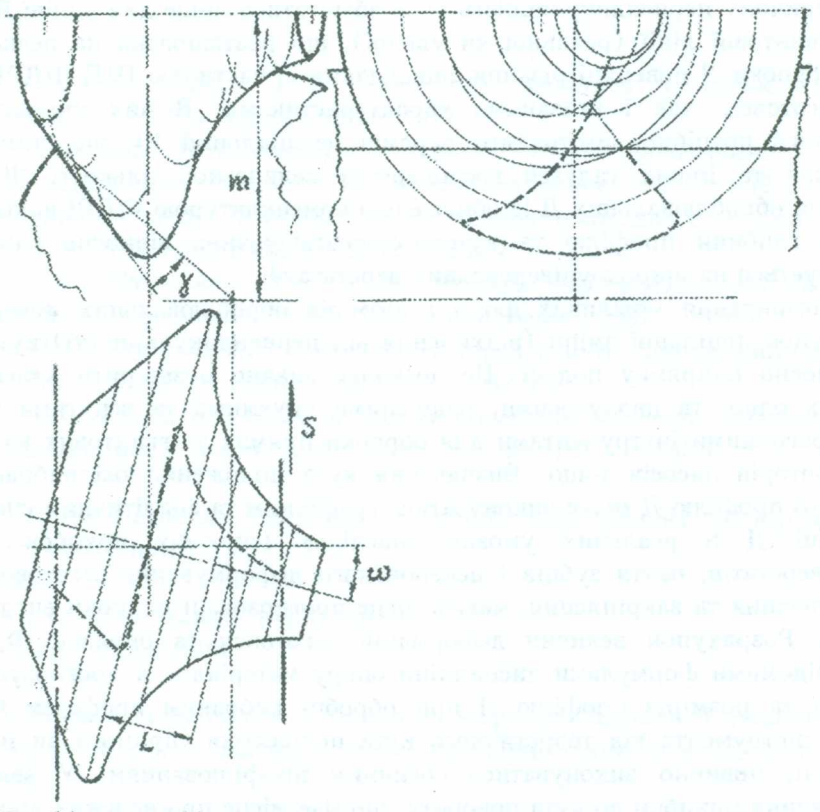

Рис. 1. Графічне профілювання стружкової канавки при прямолінійній подачі

Загальна послідовність графічного профілювання може бути такою:

1. Головне зображення ФДРІ виконується повернуто, у збільшеному масштабі на площині А.
2. Будується ряд січень ПІП ФДРІ, перпендикулярних до його осі.
3. Будується ряд еліпсів від січень площинами ПІП на двох проекціях, одна з яких (площина Б) перпендикулярна, а друга (площина В) паралельна подачі.
4. На площині А будується обгинна до ряду найбільш "виступаючих" ділянок еліпсів, котра і буде шуканим профілем канавки. На цій площині з профілем буде співпадати проекція характеристики (лінія дотику Д з ФДРІ).
5. Дві інші проекції характеристики будуються на проекціях Б та В шляхом переносу точок дотику еліпсів із профілем канавки на вказані площини та послідовного поєднання їх плавними лініями.

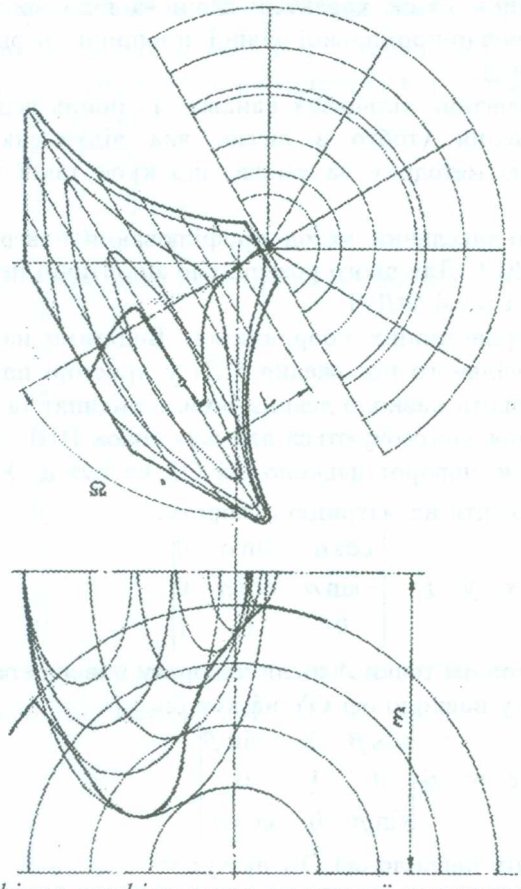

Рис. 2. Графічне профілювання гвинтової стружкової канавки

Послідовність графічного профілювання гвинтової канавки заданої форми кінцевої, циліндричної фрез чи інших Д за допомогою ФДРІ загального положення може бути такою:

1. В залежності від потрібної величини кута нахилу гвинтової канавки на більш критичному для обробки січному діаметрі канавки (частіше це зовнішній діаметр), схрещують вісь ФДРІ відносно осі деталі під таким кутом: $\Omega = 90 - (\varpi + \delta)$, де ϖ – кут нахилу канавки, а δ – відхилення від звичайного узгодженого стану. Для отримання потрібної величини переднього кута треба зісунути профіль із найбільшим діаметром ФДРІ вздовж своєї осі на відстань L відносно найкоротшої відстані між осями. Головне зображення ФДРІ виконується в збільшеному масштабі на проекції А (рис. 2).

2. На проекції А проводимо ряд січних, перпендикулярних осі ППП ФДРІ, а на поекції Б будуємо відповідні кола.

3. На проекції В будуємо вид вздовж осі деталі, віддаленої від проекції осі ФДРІ на відстань m.

4. На проекції Б будуємо еліпси, які є проекцями січень ППП ФДРІ.

5. Проводимо ряд циліндричних концентричних січень різних діаметрів Д, що охоплюють всю глибину стружкової канавки.

6. Знаходимо точки перетину еліпсів–січень ППП ФДРІ з циліндричними січними поверхнями Д.

7. На проекції А шляхом переносу точок перетину знаходимо лінії січень ППП ФДРІ циліндричними січними поверхнями Д.

8. На кальці зображується вісь та ряд синусоїд, як проекцій гвинтових ліній на кожному з циліндричних січень канавки, за умови, що всі вони мають однаковий заданий крок.

9. Шляхом послідовного зсуву кожної зі синусоїд вздовж осі ФДРІ до стану дотику з відповідними лініями січень ППП ФДРІ циліндричними поверхнями Д, знаходимо окремі точки характеристики. З'єднуючи отримані точки лініями, випливає характеристика – лінія дотику ППП ФДРІ з Д.

10. Шляхом переміщення точок характеристики за відповідними гвинтовими лініями до торцьової, осьової або умовно-нормальної січної площини, отримаємо відповідний профіль шуканої гвинтової канавки Д.

Для графічного пофілювання кільцевих канавок чи інших видів профілів Д за допомогою ФДРІ загального положення (тобто з віссю, яка відхилена від осьової площини Д) використовуємо попередню методику за умови, що крок такої гвинтової канавки дорівнює нулю.

Розглянемо аналітично-чисельний метод профілювання поверхні Д за даним профілем і відносним положенням ФДРІ. Для цього розглянемо аналітичні перетворення, які виконуються при відносному повороті та зсуві ФДРІ.

Представимо ПІП у тривимірних координатах. Виділимо на поверхні ПІП деяку точку $A(x, y, z)$ для задання довільного положення ПІП у просторі потрібно виконати геометричні перетворення, такі як повороти навколо деяких осей координат та зсув вздовж осей координат. Ці геометричні перетворення застосовуються для всіх точок ПІП.

Для початку розглянемо поворот навколо осі OZ на кут α. У матричному вигляді вектор $\vec{A}(x, y, z)$ потрібно помножити на матрицю повороту:

$$|X \quad Y \quad Z| = |x \quad y \quad z| \begin{vmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

де $A(X, Y, Z)$ – нові координати точки A після повороту навколо осі OZ. Аналогічно знаходимо нові координати для пороту навколо осі OY на кут β:

$$|X \quad Y \quad Z| = |x \quad y \quad z| \begin{vmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{vmatrix}.$$

Аналогічно для повороту навколо осі OX на кут γ:

$$|X \quad Y \quad Z| = |x \quad y \quad z| \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma \end{vmatrix}.$$

Три повороти навколо осей можна представити у такому вигляді:

$$M(\alpha, \beta, \gamma) = M(\alpha) \cdot M(\beta) \cdot M(\gamma);$$

де $M(\alpha) \cdot M(\beta) \cdot M(\gamma)$ – матриці повороту навколо осей OX, OY, OZ відповідно. Матриця $M(\alpha, \beta, \gamma)$ після добутку буде мати такий вигляд:

$$M(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{vmatrix} \cos\alpha\cos\beta & \sin\alpha\cos\beta & -\sin\beta \\ -\sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma & \cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma & \cos\beta\sin\gamma \\ \sin\alpha\sin\gamma + \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma & -\cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma & \cos\beta\cos\gamma \end{vmatrix}$$

або спрощено:

$$M(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{vmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{vmatrix},$$

де $A, B, C, D, E, F, G, H, I$ – відповідні вирази у попередній матриці.

Зсув точки вздовж осей координат відбувається шляхом додавання відповідної величини зсуву. Позначимо зсув вздовж осі OX як Δx, вздовж OY – Δy і OZ – Δz. Тоді зміщена точка буде мати такі координати:

$$|X \quad Y \quad Z| = |x \quad y \quad z| + |\Delta x \quad \Delta y \quad \Delta z|.$$

Візьмемо для реально існуючої точки $A(x, y, z)$ однорідні координати (r, s, t, u), $u \neq 0$. Відношення (залежність) між однорідними і неоднорідними координатами такі:

$$X = \frac{r}{u}; \quad Y = \frac{s}{u}; \quad Z = \frac{t}{u}; \quad u \neq 0.$$

Тоді точка у тривимірному просторі матиме вигляд:

$$|x \quad y \quad z \quad 1| = \frac{1}{u} |r \quad s \quad t \quad u|.$$

У зв'язку з тим що $u \neq 0$, запишемо для спрощення, що $u = 1$ (або його можна використовувати як множник нормування простору). Тобто вектор $\vec{A}$ представимо у вигляді (1). Тоді матрицю повороту 3×3 перетворимо на матрицю 4×4, у такому вигляді:

$$M(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{vmatrix} A & B & C & 0 \\ D & E & F & 0 \\ G & H & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Аналогічно матриця зміщенння може бути представлена у вигляді 4×4:

$$\mathrm{T} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{vmatrix}.$$

Перемножимо матриці M та T:

$$\mathrm{S} = \begin{vmatrix} A & B & C & 0 \\ D & E & F & 0 \\ G & H & I & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{vmatrix}.$$

Якщо вектор перемножити на цю матрицю, то одночасно відбувається три повороти та три зсуви. Представлені координати вектора $\vec{A}$ можна задати такими двопараметричними рівняннями:

$$x = x(u, v);$$
$$y = y(u, v);$$
$$z = z(u, v).$$

Якщо домножити вектор-матрицю a на матрицю S, то отимаємо рівняння:

$$X = Ax + Dy + Gz + \Delta x;$$
$$Y = Bx + Ey + Hz + \Delta y;$$
$$Z = Cx + Fy + Iz + \Delta z.$$

Після перетворень отримаємо:

$$X = x\cos\alpha\cos\beta + y(\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma) + z(\sin\alpha\sin\gamma + \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma) + \Delta x;$$
$$Y = x\sin\alpha\cos\beta + y(\cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma) + z(\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma) + \Delta y;$$
$$Z = -x\sin\beta + y\cos\beta\sin\gamma + z\cos\beta\cos\gamma + \Delta z.$$

Поверхня інструменту задається двопараметричними рівняннями. За допомогою матриці повороту та зсуву (виведеної вище), перетворюються рівняння ПІП. Тобто, координати кожної точки будуть представленими у вигляді вектор-матриці:

$$\vec{R} = \begin{vmatrix} x(u, v) & y(u, v) & z(u, v) \end{vmatrix}.$$

Далі цей вектор-матриця перемножується на матрицю повороту та зсуву. Отриманий результат – це і є рівняння ПІП після позиціювання у просторі відносно деталі.

З отриманої системи рівнянь, залежно від виду подачі, вибираються рівняння, з яких знаходиться залежність між двома параметрами $\boldsymbol{U}$ та $\boldsymbol{V}$. Задаються січні площини, які паралельні подачі, і, бажано перепендикулярні до однієї з осей (якщо можливо). Перетин січних площин та ПІП дає деякі криві. З цієї кривої, відповідно до виду подачі, знаходиться характеристична точка чи після деяких перетворень – профіль деталі.

На рис. 3 представений універсальний алгоритм, у якому в залежності від виду подачі змінюється лише підалгоритм.

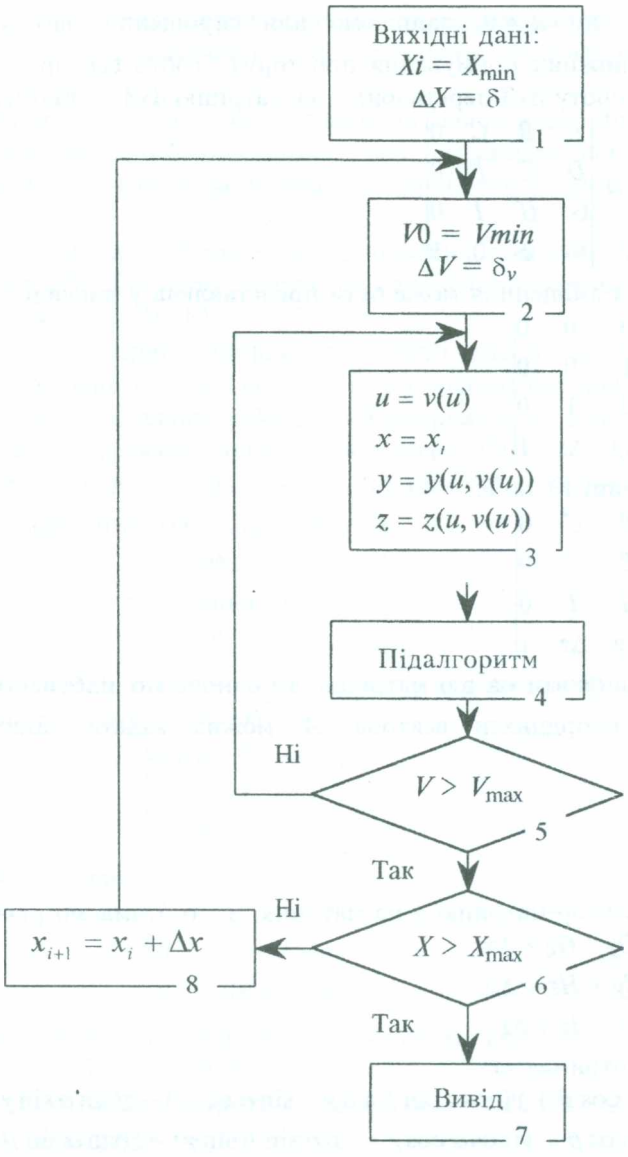

Рис. 3. Універсальний алгоритм

Внутрішній цикл здійснює "обхід" точок кривої Кі, кожна точка цієї кривої перевіряється підалгоритмом. Якщо вона задовольняє умову, то координати цієї точки вносяться до масиву. Якщо з Кі кривої немає жодної точки, яка задовольняє умову, то у масив заноситься "порожній елемент".

Зовнішній цикл здійснює перебір січних площин. Коли необхідна кількість січних буде набрана, то здійснюється вихід із алгоритму.

Результатом роботи наведеного алгоритму є масив координат точок, які представляють координати точок характеристики чи профілю.

Наведемо декілька прикладів.

Приклад № 1.

Подача вздовж осі OZ є прямолінійною (рис. 4). Зрозуміло, що для знаходження обгинної на площині XOY, потрібно спроектувати кожну точку ПІП на цю площину. Для цього проводиться січна полщина Xi та отримується деяка крива Кі. Крайні точки цієї кривої, що спроектована на XOY, будуть точками, які належать профілю. А точки, які були спроектовані на XOY, є точками характеристики. Для цього кожна точка кривої перевіряється чи буде вона Ymax чи Ymin. Якщо точка задовольняє цю умову, то її координати заносяться до масиву.

Це реалізується підалгоритмом на рис. 5.

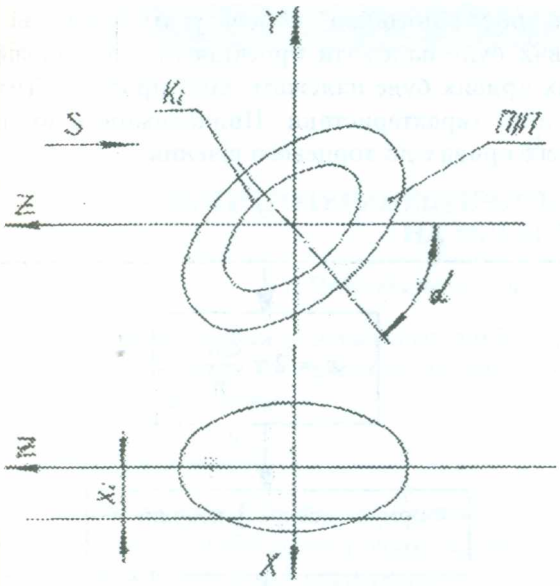

Рис. 4. До прикладу № 1

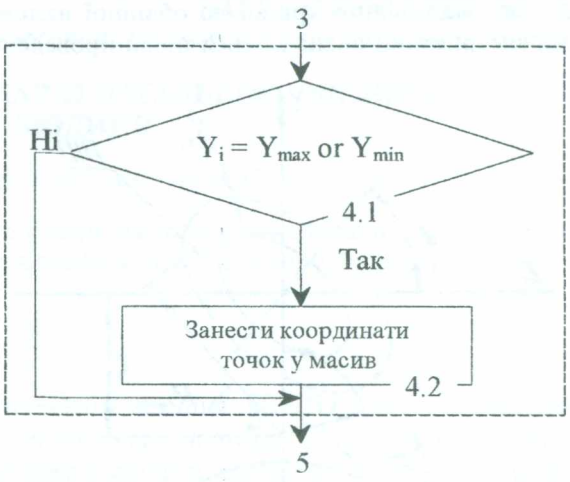

Рис. 5. Підалгоритм до прикладу № 1

Приклад № 2

Задається кругова подача навколо осі OX (рис. 6). Для знаходження профілю у площині XOY потрібно кожну точку, отриману при січені (крива Кі), повернути навколо осі O, яка стоїть на відстані m від OX. Крайніми точками такої проекції будуть ті точки, які будуть мати радіуси R_{max} або R_{min}. Тому у підалгоритмі для кожної кривої перевіряються відстані від осі O_0. При виконанні даної умови координати точок заносяться у масив.

Приклад підалгоритму на рис. 7.

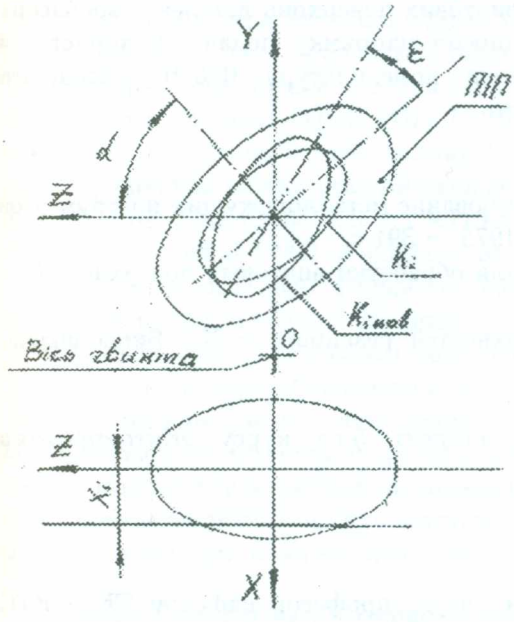

Рис. 6. До прикладу № 2

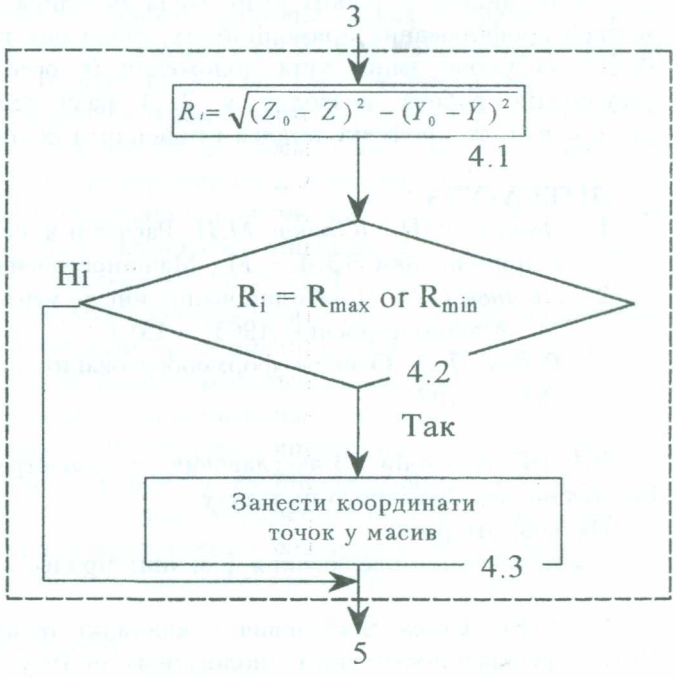

Рис. 7. Підалгортм до прикладу № 2

Приклад № 3

Задається гвинтова подача з кроком p (рис. 8). Потрібно знайти профіль у площині XOY. Задається головна площина, наприклад, ZOY. Розглядається січна площина X_i, яка утворює криву K_i. Ця площина знаходиться на відстані Δx від головної площини. Цю криву необхідно повернути навколо осі деталі (в даному випадку) на кут: $\varepsilon = 2\pi \cdot \frac{\Delta X}{p}$ і використати

відповідні формули повороту координат. Таким чином, потрібно спроектувати всі криві на площину XOZ. Отримана сукупність точок кривих буде належати проекціям січних площин, проведених до торцевого січення. Обвідна до цих кривих буде належати лінії профілю. Точка дотику відповідної кривої до обвідної належить лінії характеристики. Приналежність до лінії характеристики визначається після проведення усіх кривих до торцевого січення.

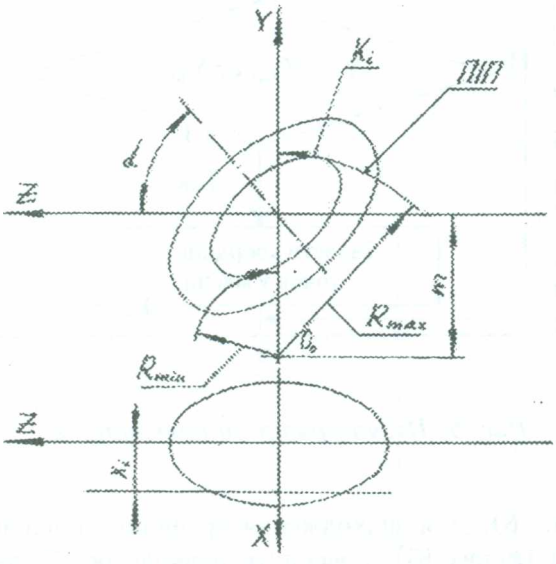

Рис. 8. До прикладу № 3

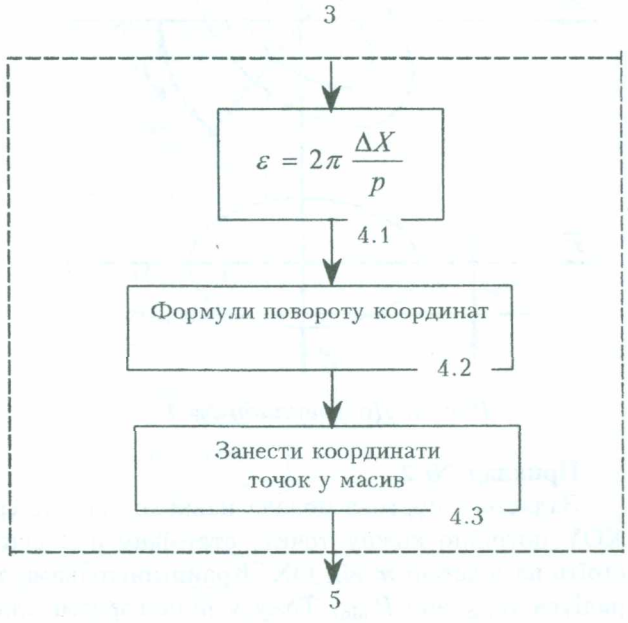

Рис. 9. Підалгортм до прикладу № 3.

Таким чином, у роботі розроблена методика геометричного, аналітичного та чисельного методів профілювання прямолінійних, кільцевих та гвинтових поверхонь деталей, оброблених ФДРІ за умови зміни кута положення їх осей відносно напрямку подачі. Використання результатів роботи дозволяє у 2...4 рази зменшити номенклатуру ФДРІ, розширити різноманітність профілів деталей і підвищити їх точність.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Лашнев С.И., Юликов М.И.* Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиносторение, 1975. – 391 с.
2. *Лашнев С.И.* Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей. – М.: Машиностроение, 1965. – 151 с.
3. *Родин П.Р.* Основы формообразования поверхностей резанием. – К.: Вища школа, 1977. – 192 с.

РИСІЧ Анатолій В'ячеславович – магістрант, студент 5-го курсу Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання фізичних процесів.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, професор кафедри ТМ і КТС Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– металорізальні інструменти;

– теорія та практика різання.

Подано 23.05.2001