УДК 62-589.25
В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», м. Київ.

Оптимізація холостих і робочих переміщень інструменту

У статті представлений фрагмент дослідження, спрямований на знаходження більш ефективної траєкторії руху інструменту при холостому переміщенні на трикоординатних верстатах з ЧПУ при фрезеруванні деталей, що мають складні поверхні. При формоутворенні таких поверхонь використовують кінцеві, сферо-циліндричні і конічні фрези. При використанні багатоцільових верстатів час, що витрачається на зміну інструментів і переходи від однієї зони обробки до іншого, близькі за часом з процесом різання [1].

Завдання мінімізації неодружених переміщень при фрезеруванні деталей складної форми на багатоцільових верстатах дуже актуальна, тому що рішення її дозволяє підвищити продуктивність дороговартісного технологічного обладнання, скоротити загальний час обробки, значно знизити виробничі витрати.

Основним завданням пристроїв ЧПК є задание і відтворення певної просторової траєкторією. Тому *спосіб завдання і відтворення траєкторії (вид управління)* є другою за важливістю класифікаційною ознакою систем ЧПК.

Відповідно до цього можна виділити пристрої, що забезпечують:

- циклове управління – траєкторія задається номерами точок у просторі;
- позиційне управління – траєкторія задається номерами і координатами точок у просторі;
- контурне управління – траєкторія задається просторовою кривою [5].

Контурні СЧПК забезпечують безперервне управління робочими органами відповідно до заданих законів зміни їх шляху і швидкості переміщення для отримання необхідного контуру обробки. При контурній обробці інструмент рухається відносно заготовки по криволінійної траєкторії, яка утворюється у результаті додавання рухів за двома (плоска криволінійна

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019

траєкторія) або трьом (просторова криволінійна траєкторія) прямолінійним координатами. Такі СЧПК використовують в токарних і фрезерних верстатах, при виготовленні деталей з фасонними поверхнями. Подача (***S***) інструменту в кожен момент обробки складається з поперечної ($S_n<i_n$) і поздовжньої ($S_{пр}$) подач. Таким чином, переміщення інструменту з різними координатними осями, функціонально пов'язаними одна з другой [5].

У нашому випадку розглянемо контурну систему управління. У програмному забезпеченні, створеному на базі досліджень, буде автоматично будуватися траєкторія (контур), яка буде перетворюватися в керуючий код верстата з ЧПК.

Для проведення порівняльних досліджень, було створено завдання:

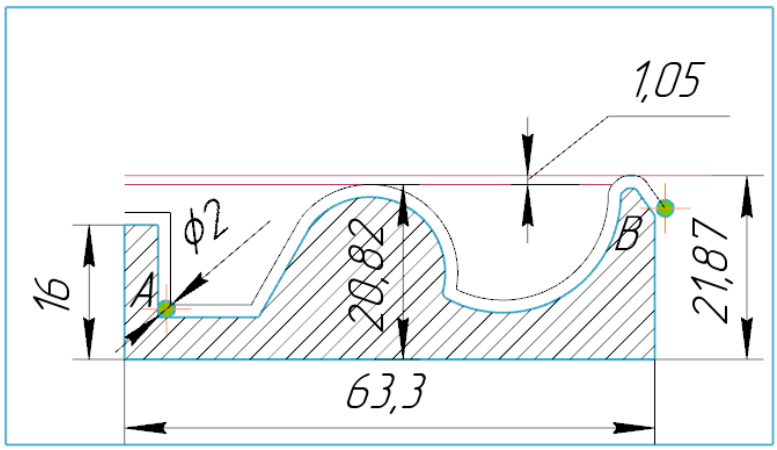

Рис. 1. Площина заготовки побудованого завдання

Завдання переміститись з точки «*A*» у точку «*B*», найкоротшим шляхом та за найменший час, оминаючи площину безпеки. Для спрощення схем, приймаємо наступні умовні позначення схеми (табл.1).

Таблиця 1. Умовні позначення

	Побудована траєкторія руху інструмента		Пікова вершина
	Тіло заготовки		Площина безпеки
	Контур заготовки	а) б)	а) точка початку-кінця б) проміжні точки траєкторії

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019

Найпростішим способом переміщення є рух по прямим, оскільки ним користувались при ручному керуванні верстатом. Даний метод мінімізує зіткнення з поверхнею заготовки або оснастки, але є найдовшим з усіх.

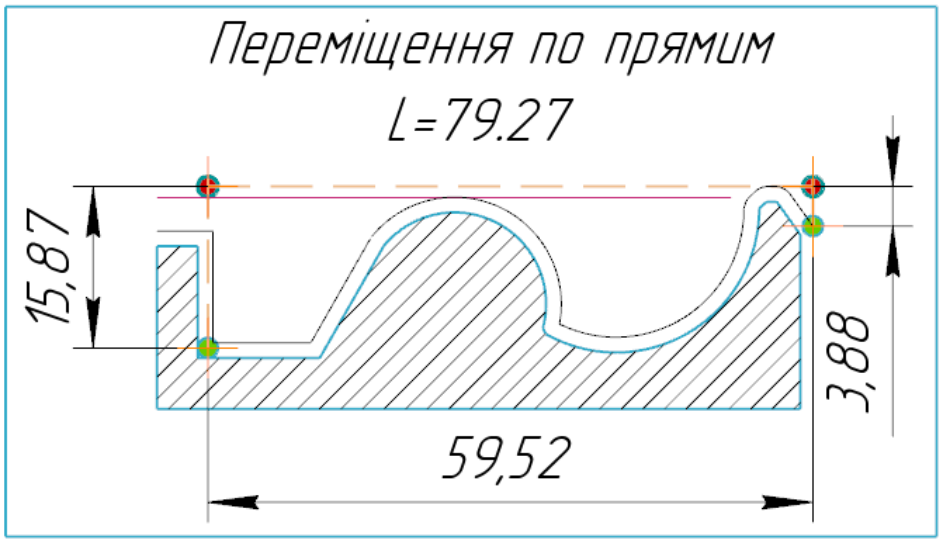

Рис. 2. Переміщення за прямими

Використовуючи даний метод ми проходимо по лінії найвищого піку, що обумовлюється найвищою точкою заготовки або оснастки з додаванням площини безпеки.

З появою сучасних CAD програм стало можливим швидка побудова еквідистанти. При цьому потрібно вибрати площину заготовки і оснастки і вибрати відстань, на яку повинна зміститися траєкторія відносно них.

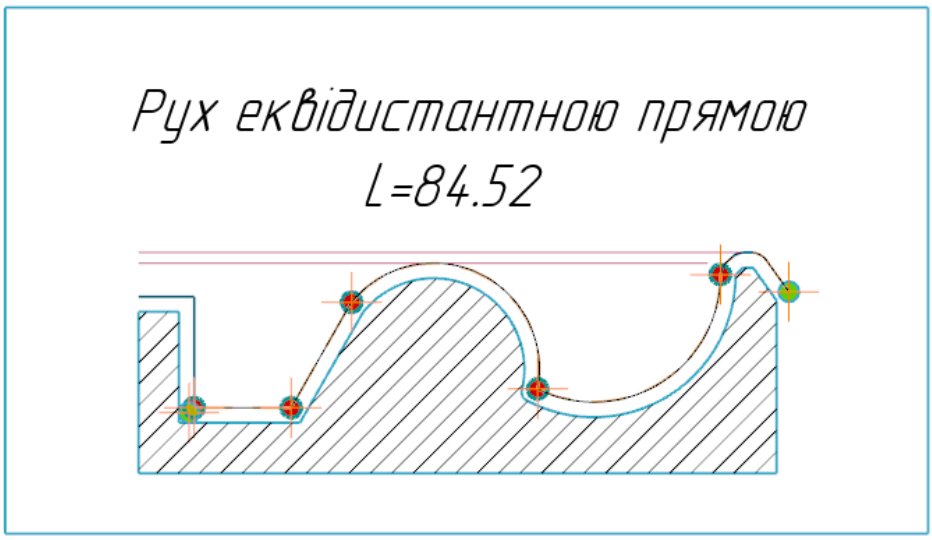

Рис. 3. Рух еквідистантною прямою

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019

Як видно з рис. 3, площину безпеки збігається з побудованою еквідистантою, оскільки рівняння їх побудови однакові, а головною умовою є мінімальна відстань переміщення як щодо заготовки та оснащення, так і відстань пройденого інструментом шляху.

Але при даній побудові траєкторія стала ще довшою за рахунок складності поверхні і необхідності обходу широких поверхонь по дузі. Щоб спростити траєкторію було прийнято рішення пройти за контрольними точками, що являють собою пікові вершини з врахуванням площини безпеки.

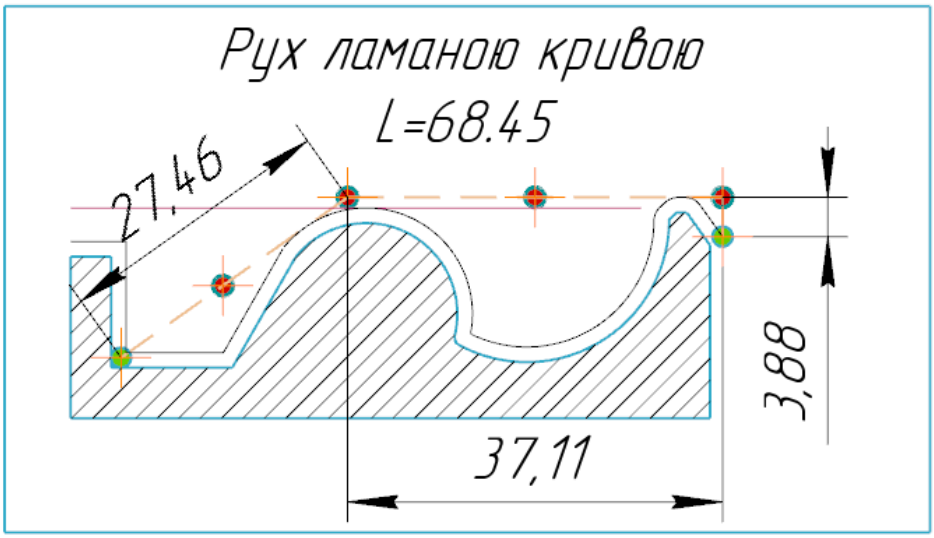

Рис. 4. Рух ламаною кривою

Рух прямими розташованими під кутом 90 градусів є нетехнологічним, оскільки приводи верстату не можуть миттєво змінити напрям на великих швидкостях, тому для ЧПК було прийнято скруглення при переходах і обходах, найпростішим видом скруглення є сплайнові побудови.

Для цього потрібно побудувати сплайн для кожної пари точок траєкторії, в побудові потрібно перебрати точки, що належать до сплайну, та обрати з усіх точок ту, відстань від котрої до P_n буде мінімальною [6].

$$P_n=P_c+L \times V \quad (1)$$

Де P_n - нове положення, P_c - старе положення, L - відстань, а V - вектор напрямку [6].

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019

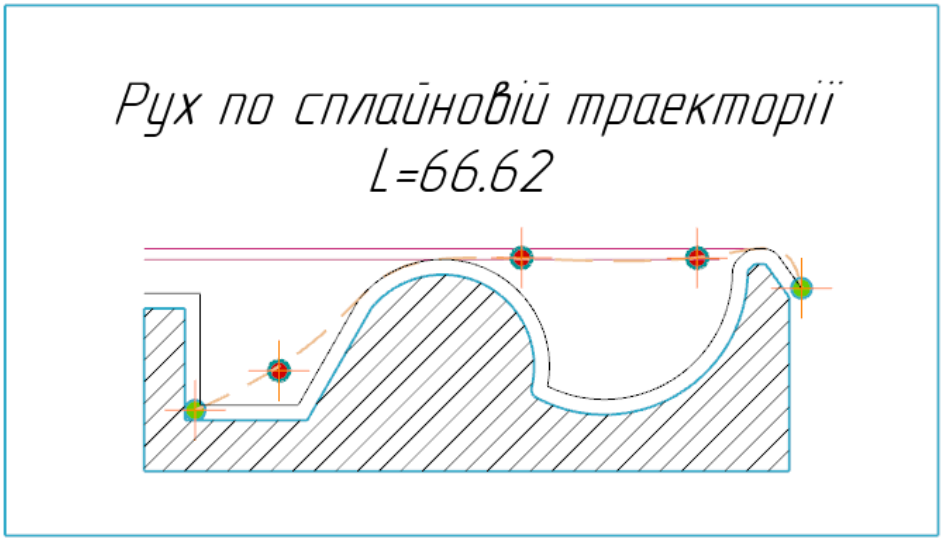

Рис. 5. Рух з сплайновим скругленням через контрольні точки

Але через структуру побудову ввігнутих прямих є небезпека контакту з оснасткою або заготовкою. Тому використовуючи криву Безьє можемо побудувати аналог тільки з ввігнутою траєкторією.

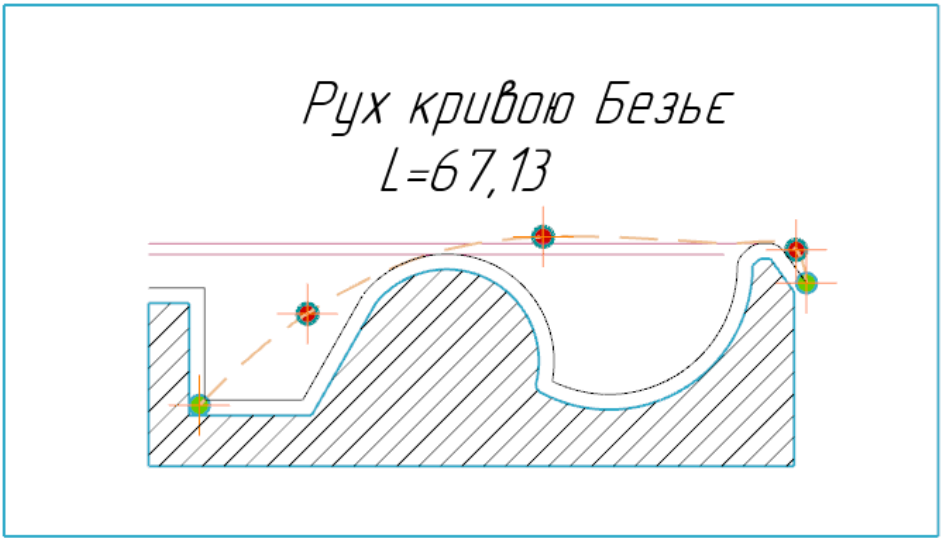

Рис. 6. Рух за кривою Безьє

Використовуючи постійні контрольні точки, та різні методи побудови траєкторії, визначили, що оптимальною є побудова кривої Безьє, оскільки саме вона має найкоротшу траєкторію, що відповідає поставленій задачі. Але аналізуючи отриманні траєкторії виникають сумніви, оскільки на деяких

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019

ділянках траєкторії більш доцільно рухатись прямою, саме тому було виконано ряд допоміжних побудов, і отримано результати, що наведенні на рис.7.

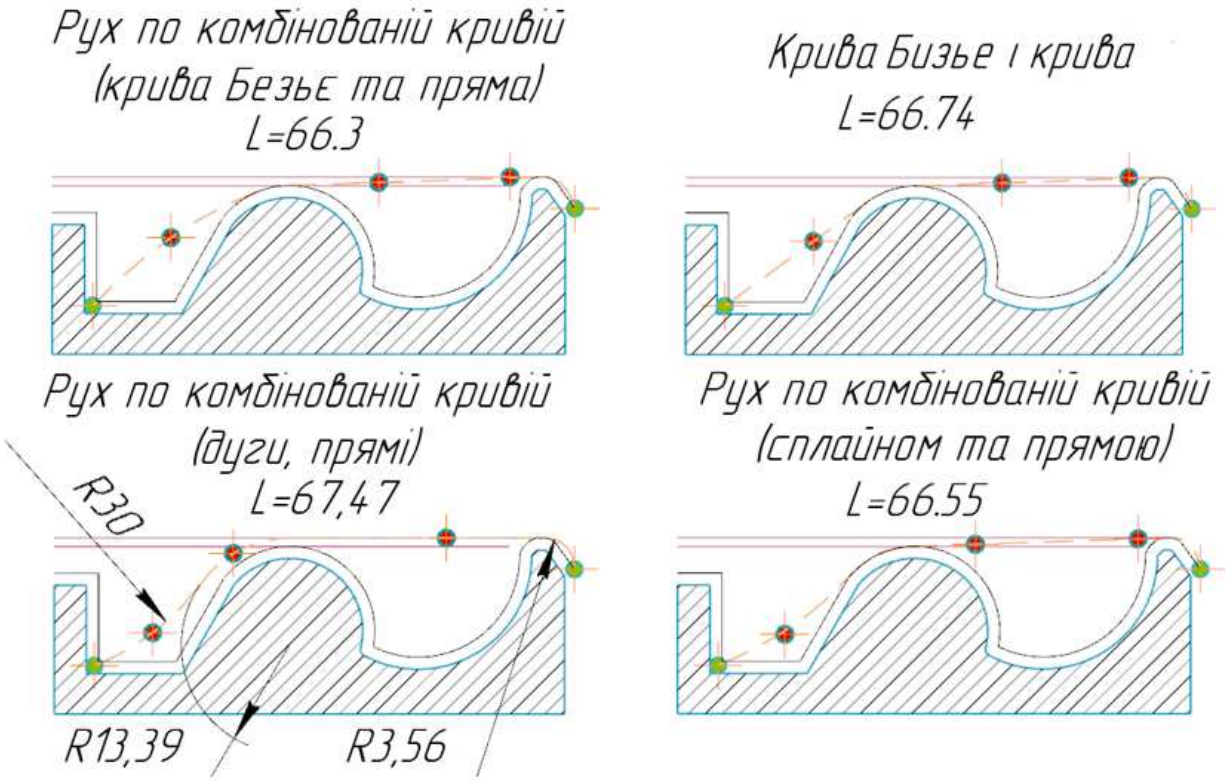

Рис. 7. Комбіновані траєкторії

Виходячи з аналізу додаткових побудов, знову бачимо, що крива Безьє показує кращий варіант. Тому доцільно використовувати саме комбінований метод у програмному забезпеченні, що буде розроблятись на основі даних досліджень.

Висновки.

Рух по прямим розташованим під кутом 90 градусів є нетехнологічним, оскільки приводи верстату не можуть миттєво змінити напрям на великих швидкостях, тому для ЧПК було прийнято скруглення траєкторії при переходах і обходах. Найпростішим видом скруглення є сплайнові побудови, але через структуру побудови ввігнутих прямих є небезпека контакту з оснасткою або заготовкою. Тому використовуючи криву Безьє можемо побудувати траєкторію тільки з ввігнутою характеристикою. Дослідним шляхом, а саме побудовою траєкторії в програмному продукті Компас 2018, були виконані виміри довжин,

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019

та була визначена оптимальна траєкторія, а саме сполученням кривої Безьє та прямої [4].

Список використаних джерел

1. Мілевський В. В. Оптимізація холостих переміщень інструменту при обробці на верстатах з ЧПК / В. В. Мілевський, Ю. М. Малафєєв. // Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція "Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку". – 2018. – №46. – С. 475–479.

2. Пономарёв Б.Б., Нгуен Ван Нам. Алгоритм оптимизации вспомогательных перемещений инструментов при фрезеровании сложных поверхностей // Вестник Иркутского Государ- ственного Технического Университета. 2013. №1. С. 33-37.

3. https://sapr.ru/article/6720.

4. В. В. Борисенко, "Построение оптимального сплайна Безье", *Фундамент. и прикл. матем.*, 21:3 (2016), 57–72.

5. http://bibliograph.com.ua/spravochnik-54/19.htm.

6. https://illumium.org/node/111.

© В.В. Мілевський, Ю.М. Малафєєв, 2019