

# Лекція 10. ОПЕРАЦІЙНІ ТП ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

## 10.1. Загальна послідовність робіт

Розробка операційного ТП починається зі складання (уточнення) операційного ескізу, за яким визначається зміст операції. Це дозволяє виявити кількість встановлень, що необхідні для виконання операції. Далі процес розробляється для кожного встановлення з виконанням відповідних ескізів та вказанням схем базування та закріплення заготовки у кожному встановленні.

На деталі виділяються так звані зони обробки (див. наступну лекцію), що представляють собою частину припуску на тому чи іншому елементі або якійсь частині деталі. Припуск може бути знятий різними інструментами за декілька переходів або навіть операцій. Введення зон обробки дозволяє використовувати типові схеми переходів, що визначають правила побудови траєкторій інструментів, а останнє значно полегшує підготовку УП для верстатів з ЧПУ.

Послідовність обробки деталі по зонах, що, як правило, зв'язані з конструктивними особливостями деталі, виконується окремо для кожного встановлення деталі.

У кожній із зон визначаються:

- вид обробки (чорнова, чистова);
- її послідовність для окремих елементів деталі, що знаходяться у даній зоні;
- необхідні види та типорозміри різальних інструментів;
- сукупність елементів деталі, що обробляються одним (загальним) інструментом, що характеризує частину операції, яка виконується за окремою УП.

Методи розробки операційних ТП аналогічні методам розробки маршрутних ТП. Найбільш успішним є технологічне проектування на основі типізації ТП. Типові ТП є базою для різноманітних автоматизованих систем проектування. З цих систем необхідно виділити комплексну автоматизовану систему технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), що забезпечує вдосконалення та прискорення технологічної готовності підприємства до виробництва виробів вищої категорії якості при мінімальних трудових і матеріальних витратах.

Метод проектування ТП на базі типових переходів здійснюється вибором варіантів обробки окремих елементів деталі та загальної послідовності її обробки, що найбільше відповідають конкретним технологічним і виробничим умовам. При цьому за основу приймаються відповідні переходам типові схеми обробки елементів, що відрізняються геометрією контуру, характером припуску, точністю тощо.

*Порядок (послідовність) технологічного проектування (синтезу) ТП у розглянутому випадку наступний:*

– виявляються окремі конструктивні елементи оброблюваної деталі та відповідні зони обробки;

– для обробки кожного елемента і зони встановлюється (вибирається) типовий технологічний перехід (типова схема обробки) і призначається для цього різальний інструмент;

– у визначеній логічній послідовності переходи з призначенням режимів обробки поєднуються у технологічний ланцюжок, що складає технологічну операцію в цілому;

– при цьому необхідно вже на стадії технологічного проектування прагнути будувати операцію з такими переходами, що відповідають траєкторії руху кожного інструмента, що реалізується на верстатах з ЧПУ у вигляді так званих стандартних циклів.

При автоматизованій підготовці ТП виникають складні задачі вибору оптимального рішення з допустимої множини попередньо сформованих рішень. Тому в умовах автоматизованого виробництва вирішення технологічних задач може бути трохи іншим. В практиці робіт на верстатах з ЧПУ цей метод зручний, оскільки він дозволяє спростити складання УП.

Певним чином на процес технологічного проектування для верстатів з ЧПУ впливають обмеження по номенклатурі різальних інструментів, що використовуються при цьому. Тому при проектуванні операційних ТП для конкретного верстата з ЧПУ кількість переходів визначається насамперед можливим числом різальних інструментів, що налагоджуються, на операцію. Ці інструменти вибираються із закріпленої за конкретним верстатом номенклатури інструментів. Якщо кількість вибраних для виконання операції інструментів перевищує кількість інструментних позицій на верстаті, то найчастіше обробку поділяють на дві операції, що здійснюються з визначеним перенастроюванням верстата і за відповідними УП.

Використання на верстатах з ЧПУ спеціальних комбінованих різальних інструментів економічно виправдане не завжди і залежить від обсягу і повторюваності партій деталей, що обробляються на даному верстаті. Від цього залежить також і характер пропрацювання та відпрацювання ТП і підготовлених УП.

Вказане визначає послідовність і перелік робіт складання та відпрацювання операційного ТП і УП, тобто:

- 1) складання: – операційного ескізу;
  - схеми встановлення заготовки;
  - загального плану операції;
- 2) виявлення: – оброблених елементів;
  - зон обробки, розрахунок межперехідних розмірів;

- 3) вибір: – типових технологічних переходів;
  - відповідних різальних інструментів з номенклатури наявних, що закріплені за верстатом;
- 4) вибір для вільних позицій у РГ або магазині додаткових інструментів, якщо вони дозволяють: – скоротити час обробки;
  - вирівняти завантаження технологічно необхідних інструментів;
- 5) аналіз вибраних інструментів:
  - вибір інструментів, технологічно необхідних для виконання операцій із врахуванням скорочення часу обробки, з числа інструментів за межами номенклатури, закріпленої за верстатом;
  - розгляд можливості застосування спеціальних комбінованих інструментів;
- 6) визначення послідовності обробки поверхонь в операції зі встановленням черговості роботи інструментів за типовими схемами;
- 7) оптимізація послідовності обробки з метою мінімізації:
  - часу обробки;
  - кількості одиниць різальних інструментів;
- 8) призначення режимів роботи кожного різального інструмента відповідно до рекомендацій;
- 9) уточнення режимів різання із врахуванням обмежень, що зв'язані із засобами кріплення заготовки, жорсткості деталі, кінематичними особливостями верстата;
- 10) уточнення режимів роботи кожного інструмента із врахуванням попередніх експериментів і наявного досвіду їх використання із врахуванням стійкості та надійності його роботи;
- 11) уточнення режимів різання кожного з інструментів налагодження (для мінімізації сумарного часу обробки партії заготовок) із врахуванням:
  - зміни інструментів;
  - підналагодження та налагодження інструментів;
- 12) визначення доцільності встановлення на верстаті декількох однакових деталей за витратами часу на встановлення;
- 13) підготовка УП;
- 14) підготовка УП з оптимізацією траєкторії руху основних та усіх інструментів;
- 15) відлагодження УП при обробці першої деталі;
- 16) відлагодження УП щодо:
  - коригування послідовності роботи інструментів;
  - схем переміщення кожного інструмента;
  - кількості додаткових інструментів за результатами обробки;
  - першої або декількох перших деталей;
  - першої партії деталі;
- 17) відлагодження УП щодо коригування режимів різання, підходів і перебігів інструмента за результатами обробки:
  - першої чи декількох перших деталей;

– першої партії деталей;

18) відлагодження УП щодо коригування режимів різання за результатами обробки першої партії деталей із врахуванням:

– фактичної витрати інструментів;

– їх вартості;

– витрат на зміну, підналагодження, відновлення тощо.

Очевидно, що збільшення витрат часу на проектування операційних ТП та УП економічно виправдується зі збільшенням обсягу партії деталей, що обробляються за даним ТП і за підготовленою УП, та із збільшенням повторюваності партій.

Встановлення послідовності переходів, використовуваних інструментів, режимів різання завершує першу частину роботи зі складання операційного ТП, що може оформлятися на стандартизованих бланках технологічної документації. Одночасно з розробкою операційної технології готуються карти налагодження верстата та інструментів, оформлення яких закінчується після розробки УП.

У ряді випадків для зручності розробляються схеми (ескізи) закріплення заготовки з вказанням нульової точки верстата, точки початку обробки, нульової точки деталі тощо. Крім того, на операційному ескізі оброблюваної деталі можуть бути зазначені:

– контури заготовки;

– контури першого і другого рівнів обробки з геометричними опорними точками;

– припуски.

Подальші роботи зв'язані зі складанням розрахунково-технологічної карти (РТК).

Пошук оптимального варіанта технологічної операції, що представляє собою компромісне поєднання кількісного та якісного критеріїв (машинного часу обробки деталі і заданих параметрів її якості), найбільш успішно здійснюється при автоматизованому проектуванні ТП.

## **10.2. Процеси обробки отворів**

Трудомісткість обробки отворів досягає 40 % і більше від загальної трудомісткості обробки деталей. Тому вибору раціональної схеми обробки отворів необхідно приділяти особливу увагу. Практично всі основні типи верстатів з ЧПУ можуть використовуватись для обробки отворів. Послідовність операцій встановлюється за загальними правилами.

### **10.2.1. Технологічна класифікація отворів**


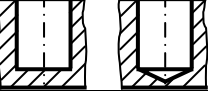
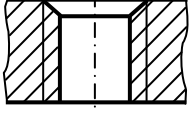
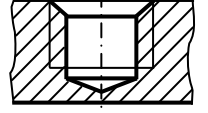
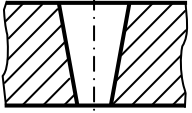
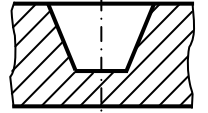
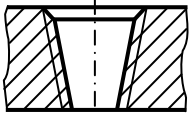
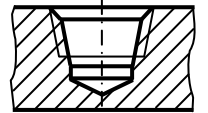
Конфігурація будь-якого отвору – наскрізного чи глухого – формується з основних та додаткових елементів.

Основні елементи (табл. 10.1) можуть бути наскрізними або глухими, причому в останніх форма дна може бути плоскою або довільною. Більшість основних елементів складають гладкі циліндричні отвори різних квалітетів: від

довільних розмірів, що при технологічному проектуванні звичайно прирівнюють до 13-го квалітету, до отворів 7-го квалітету. Отвори, що виконуються за 6-м квалітетом і точніші, зустрічаються порівняно рідко.

Таблиця 10.1

Типові основні елементи отворів

Тип отворів	Основний елемент	
	наскрізний отвір	глухий отвір
Гладкий циліндричний		
Циліндричний з різью		
Гладкий конічний		
Конічний з різью		

До числа додаткових елементів відносяться фаски і заглиблення прямокутного профілю з довільними розмірами, зовнішні та внутрішні торці, що вимагають обробки канавки, і різного роду перешкоди.

Заготовки можуть бути трьох типів:

- суцільні;
- з литим отвором;
- з попередньо обробленим отвором.

Отвори складної конфігурації можуть бути представлені ступінями, що розташовуються вздовж осі отвору і відокремлюються один від одного торцями поверхні, що представляють собою площини, перпендикулярні до цієї осі (рис. 10.2). Таким чином, будь-який отвір представляється як сукупність окремих ступіней, розташованих вздовж однієї осі.

Кожна ступінь розглядається разом з торцем, від якого починається її обробка. Для розробки технології обробки отворів торців їх можна (а часто і необхідно) нумерувати.

Кожна виділена ступінь може бути оброблена за один або декілька типових переходів.

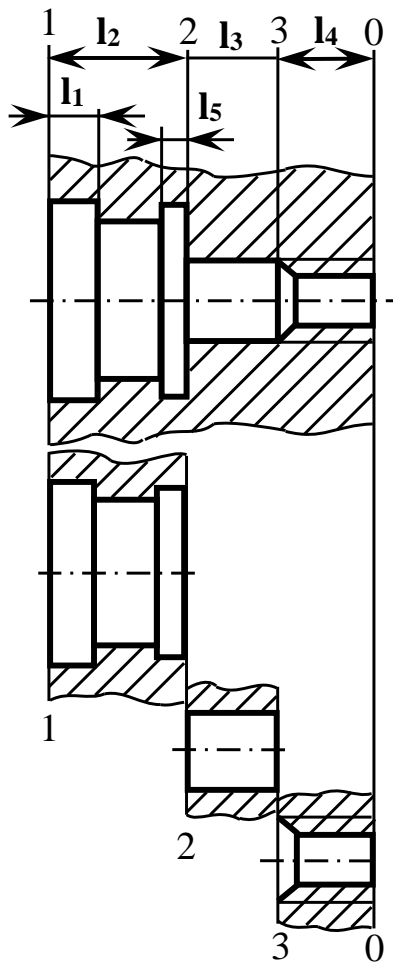


Рис. 10.2. Приклад ступінчастого отвору

### 10.2.2. Типові переходи при обробці отворів

Для однієї ступені отвору може бути встановлена наступна *послідовність технологічних переходів*:

1. Центрування. Виконується спеціальним центровим інструментом, свердлом або конусною зенківкою (рис. 10.3, поз. 1).
2. Чорнова обробка отворів. Може бути виконана за один або декілька проходів свердлами, зенкерами, різцями і фрезами (рис. 10.3, поз. 2, 5, 7, 8).
3. Обробка торців отворів. Виконується прямими зенківками з напрямними цапфами, торцевими пластинами (рис. 10.3, поз. 3) або фрезами, а також різцями, встановленими у плансупорті.
4. Конічне зенкерування. Виконується спеціальними конічними зенкерами.
5. Пряме зенкерування. Цей перехід може здійснюватись прямими зенківками з напрямними цапфами, зенкерами для глухих отворів або різцями для глухих отворів на борштанзі та у плансупорті (рис. 10.3, поз. 3, 7).

6. Конічне зенкерування – перехід для обробки фасок, що виконується конусними зенківками, свердлами або різцями (рис. 10.3, поз. 4).

7. Різенарізання. Виконується мітчиками для наскрізних та глухих отворів (рис. 10.3, поз. 6).

8. Напівчистова обробка отворів. Проводиться зенкерами або різцями для наскрізних і глухих отворів, включаючи плансупортну обробку (рис. 10.3, поз. 2, 5, 7).

9. Обробка канавок. Цей перехід виконують плансупортом або вручну.

10. Чистова обробка. Виконується розвертками або різцями для наскрізних та глухих отворів, включаючи плансупортну обробку.

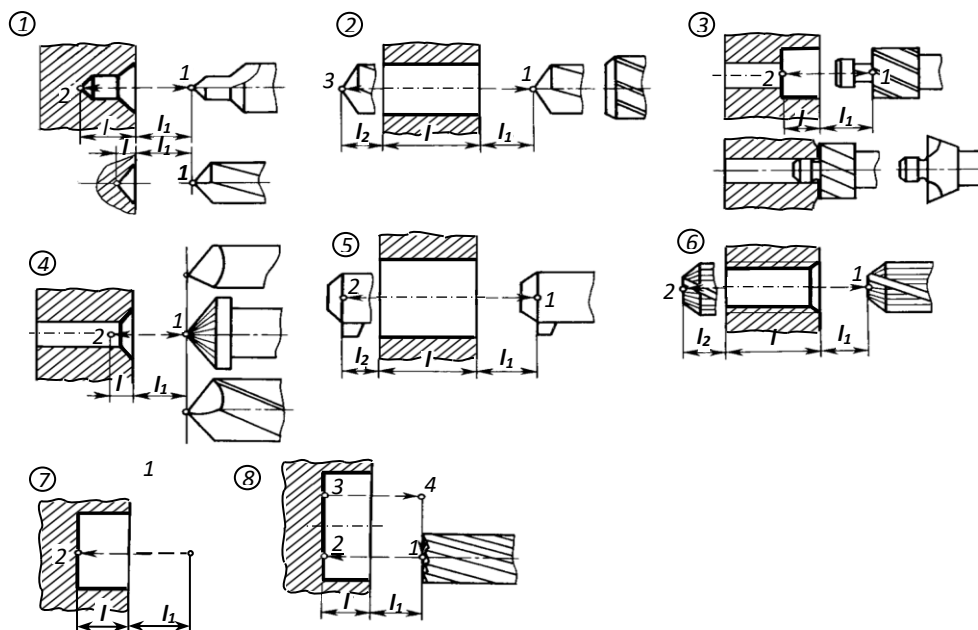


Рис. 10.3. Типові переходи обробки внутрішніх циліндричних поверхонь:

- 1 – центрування центрувальним або спіральним свердлом;
- 2 – свердління, зенкерування, розгортання;
- 3 – зенкерування донним зенкером, цекування;
- 4 – зенкування фаски конусною зенківкою, свердлом, різцем;
- 5 – розточування отворів;
- 6 – нарізання різі;
- 7 – розточування глухого отвору;
- 8 – фрезерування отвору кінцевою фрезою;
- $l_1$  – недохід;
- $l_2$  – перебіг;
- $l$  – глибина отвору

### 10.2.3. Проектування операцій обробки отворів

При проектуванні ТП обробки складних отворів (багатоступінчастих, різностінних) чистові переходи, в результаті яких досягається якість готової

сходинки, призначаються в основному незалежно від обробки інших ступенів. Чорнові переходи для різних сходенок, як правило, взаємозалежні, що вимагає їх об'єднань з уточненням розміру інструментів, а також плану робочих і допоміжних ходів.

Перед призначенням технологічних переходів аналізується можливість застосування стрижневих інструментів (свердел, зенкерів, розверток), розточувальних (різців) або і тих, і інших. При цьому враховується як розмір отвору та призначення верстата (свердлильний, розточувальний, багатоцільовий), так і загальні технологічні вимоги, які можуть містити дані щодо чорнової обробки (фрезерування або розточування) виду заготовки.

Використання фрезерування для чорнової обробки дозволяє скоротити номенклатуру інструментів, що необхідні для виконання операції.

У технологічних вимогах можуть міститись вимоги щодо обробки деталі за декілька операцій на спеціалізованих верстатах. У такому випадку призначення технології на першому етапі ведеться у відповідності до верстата з максимальними можливостями, а поділ на операції із врахуванням технологічних можливостей інших верстатів виконується на інших етапах.

Технологічні переходи, що виконуються розточувальними інструментами, призначаються при допустимому відхиленні розташування осей отворів до 0,1 мм і при таких діаметрах отворів, що допускають застосування розточувальних інструментів.

При проектуванні операцій з використанням стрижневих різальних інструментів схема переходів при обробці отворів може бути наступною:

- перехід центрування призначається у всіх випадках, коли потрібно обробити отвір у суцільному матеріалі (тобто вихідна заготовка отвору не має). Виключення складають короткі отвори 13-го квалітету з діаметром до 25 мм;
- отвори 13-го квалітету і нижче з параметрами шорсткості поверхні по діаметру  $R_z > 20$  мкм можуть бути отримані свердлінням, крім отворів, що мають плоске дно і тому потребують зенкерування;
- для одержання отворів 11-го квалітету необхідний чистовий прохід зенкером, діаметр якого дорівнює кінцевому розміру отвору;
- якщо потрібно одержати отвори 7–10 квалітетів, чистовий перехід виконується розвертанням відповідного квалітету, діаметр і поле допуску якого дорівнюють відповідним параметрам отвору. Перед розвертанням отвір зенкерується;
- припуски на обробку отворів, а також рекомендований характер переходів і типи різальних інструментів, що можуть використовуватись при цьому, наведені в довідковій літературі;



– обробка додаткових елементів отворів стрижневими інструментами, як правило, не викликає труднощів. Рекомендації з призначення переходів обробки цих елементів досить відомі.

При проектуванні операцій з використанням розточувальних інструментів, потрібно враховувати те, що розточувальні інструменти дозволяють одержати отвори високої точності з достатньою прямолінійністю та невеликими відхиленнями осей. При використанні розточувальних інструментів число переходів для отвору заданих діаметра, довжини, точності та шорсткості залежить від різних факторів і багато в чому від паспортної точності настроєних інструментів.

Необхідно зазначити, що особливо складними для обробки є так звані глибокі отвори, відношення довжини до діаметра яких більше п'яти. Їх обробка вимагає не тільки спеціальних різальних інструментів та технології, а й технологічного обладнання.

#### 10.2.4. Послідовність обходу отворів інструментами

Проектування операції обробки отворів на верстатах з ЧПУ свердлильно-розточувальної групи завершується призначенням послідовності обходу отворів інструментами. Послідовність обходу залежить від того, як будуються операції (переходи) – послідовно чи паралельно.

При паралельному методі кожен інструмент обходить всі отвори, що підлягають обробці цим інструментом, а потім інструмент змінюється, і цикл повторюється.

Послідовний метод відрізняється тим, що кожен отвір обробляється всіма необхідними за технологією інструментами, а потім після зміни позиції осі отвору обробляється наступний отвір.

У більшості випадків вибір методу обробки пов'язаний з виконанням умови мінімізації часу холостих переміщень. Виключення складають ті випадки, коли метод визначається технологічними умовами обробки. Наприклад, при обробці отворів 7–9-го квалітетів або отворів з жорсткими допусками на міжцентрову відстань (до 0,2 мм) доцільно перші переходи (центрування, свердління, зенкування, зенкерування) виконувати паралельно, а заключні переходи – послідовно, без переміщень деталі.

Час холостих переміщень  $T_x$  при обробці групи однакових отворів одним комплектом інструментів складається з часу на зміну інструментів  $\tau_\Sigma$  і часу на переміщення при позиціонування  $\theta_\Sigma$ :

$$T_x = \tau_\Sigma + \theta_\Sigma. \quad (10.1)$$

При паралельному методі кожен інструмент змінюється один раз. Тому час, що витрачений на зміну інструментів, складає:

$$\tau_{\Sigma} = m \cdot \tau,$$

а час обходу отворів одним набором інструментів:

$$\theta_{\Sigma} = m \cdot \theta,$$

де  $\tau$  – середній час зміни одного інструмента;

$\theta$  – час обходу всіх отворів одним інструментом;

$m$  – число інструментів.

Загальний час на холості переміщення при паралельному методі дорівнює:

$$T_{\text{пар}} = n \cdot m \cdot \tau + \theta. \quad (10.2)$$

При послідовному методі кожен інструмент змінюється стільки разів, скільки отворів ( $n$ ) у групі, тобто:

$$t_{\Sigma} = n \cdot m \cdot \tau,$$

а час обходу комплектом інструментів всіх отворів (оскільки обхід здійснюється один раз) буде:

$$\theta_{\Sigma} = \theta.$$

Загальний час на холості переміщення при послідовному методі дорівнює:

$$T_{\text{пос}} = n \cdot m \cdot \tau + \theta. \quad (10.3)$$

Для вибору методу обробки можна скористатися коефіцієнтом:

$$K = T_{\text{пар}} / T_{\text{пос}} = (1 + k) / (n + k/m), \quad (10.4)$$

де  $k = \theta / \tau$ .

Якщо  $K > 1$ , то кращим є послідовний метод обробки, при  $K < 1$  більшу продуктивність забезпечує паралельний метод.

Загальний час обходу групи отворів визначається виразом:

$$\theta = n \cdot t_{p.g} + (\Sigma - l_{p.g} \cdot n) / V_{\text{пр}}, \quad (10.5)$$

де  $n$  – число отворів у групі;

$t_{p.g}$  – сумарний час на розгін і гальмування;

$l_{p.g}$  – сумарний шлях розгону і гальмування;

$\Sigma$  – довжина шляху обходу отворів групи;

$V_{\text{пр}}$  середня швидкість прискореного переміщення.

Методи вибору маршруту інструмента при обході отворів в процесі обробки.

Задача полягає у виборі маршруту обходу  $n$  точок, що проходить через кожну точку тільки один раз. Оскільки цей маршрут визначає час допоміжних переміщень, то він повинен мати мінімальну довжину із врахуванням постійної та однакової швидкості переміщення відповідного робочого органу верстата за відповідними координатними осями.

Задача в такому формулюванні ідентична відомій в математиці задачі про комівояжера. При всій простоті формулювання цієї задачі (перебрати всі маршрути і взяти з них найменший) її рішення відрізняється труднощами обчислювального характеру. Тому в математиці розроблено ряд точних методів, що дозволяють знайти оптимальний маршрут, не вдаючись до перебору всіх можливих варіантів. Найбільш відомі з них – метод цілочисельного лінійного і динамічного програмування, метод гілок та границь.

Методи оптимізації маршруту інструмента. При виборі методу оптимізації маршруту інструмента необхідно керуватися поняттям економічності. Якщо оптимізація маршруту дозволяє скоротити час обробки на величину  $T$ , хв, то виграш вартості за рахунок оптимізації складає

$$T \cdot N \cdot C_{ст},$$

де  $C_{ст}$  – вартість однієї верстато-хвилини;

$N$  – розмір партії деталей, що обробляються за УП.

Витрати на розрахунок дорівнюють

$$C_{ЕОМ} \cdot t_0,$$

де  $C_{ЕОМ}$  – вартість однієї хвилини часу роботи ЕОМ;

$t_0$  – час, необхідний для розрахунку оптимізованого маршруту, хв.

Для оцінки економічності можна ввести коефіцієнт:

$$E = T \cdot N \cdot C_{ст} / (C_{ЕОМ} \cdot t_0). \quad (10.6)$$

Якщо  $E > 1$ , то оптимізація доцільна.

Крім точних математичних методів оптимізації маршрутів широко використовують евристичні методи. Рішення, отримані на їх основі, не претендують на точність та оптимальність. Застосування евристичних методів призводить до результату, що набагато кращий довільного, взятого випадково рішення і який звичайно близький до найкращого варіанта, хоча ніколи не дає повної впевненості в тому, що найкраще рішення досягнуто.

*Найпростіший евристичний алгоритм* формулюється так: “йти у найближчу, ще не пройдену точку”. Для  $n$  точок цей алгоритм вимагає порядку  $n^2$  арифметичних операцій. Удосконаленням його є евристичний алгоритм, що складається у  $n$ -кратному його повторенні з вибором щоразу іншої початкової точки. Як оптимальний приймається кращий з  $n$  варіантів. Число арифметичних операцій, що необхідні для виконання цього удосконаленого алгоритму, має

порядок  $n^3$ . Ці два евристичних алгоритми називаються локально-оптимальними і дають задовільні результати для малої кількості точок ( $n \leq 20$ ).

Існують *рандомізовані варіанти* цих алгоритмів, у яких перехід з  $i$ -ої точки виконується не в найближчу не пройдену точку, а випадково – у будь-яку не пройдену точку. При цьому ймовірність переходу зважена відповідно до відстані: чим ближче точка, тим ймовірнішим є перехід до неї.

Другий рандомізований алгоритм відрізняється від першого тим, що щоразу за початок випадковим чином вибирається інша точка. Цей алгоритм у порівнянні з маршрутом, призначеним людиною, підвищує продуктивність верстата на 14–17%.