

УДК 621.95.08

В.Р. Кобельник, асист.

П.Д. Кривий, к.т.н., проф.

Тернопільський державний технічний університет
імені Івана Пулюя

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНОЇ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЗМУ ПОДАЧ ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ НА ПРИКЛАДІ ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2Н118

Подана методика, експериментальна установка та результати досліджень в імовірнісному аспекті кінематичної точності механізму подач вертикально-свердильних верстатів на прикладі моделі 2Н118. Встановлено, що існуюча конструкція механізму подач та точнісні характеристики конструктивних елементів верстата не забезпечують стабільної точності подач. Отримані результати показують, що із збільшенням установлених значень подач кінематична точність механізму подач верстата моделі 2Н118 знижується.

Проблема та її актуальність. В процесі свердління наскрізних отворів на вертикально-свердильних верстатах (ВСВ) внаслідок пружних деформацій конструктивних елементів приводу головного руху, коробки швидкостей та механізму подач [3–5, 7], які виникають на етапах врізання інструмента, усталеного процесу різання і виходу свердла із заготовки, подача S_x має різні значення. Так на етапі врізання подача S_{ep} змінюється (зростає) від 0 до S_n , S_n – подача, яку забезпечує певний встановлений кінематичний ланцюг згідно з паспортом ВСВ на етапі усталеного процесу різання подача постійна $S_y = S_n = \text{const}$, а на етапі виходу свердла із тіла заготовки подача S_e миттєво зростає до максимального значення $S_{e\text{max}}$ і різко зменшується до нуля.

Окрім цього, внаслідок різножорсткості конструктивних елементів механізму подач, радіального биття радіусів ділільних кіл зубчастих коліс, різнорозмірності кроків шліців, тощо, і особливо, похибок виготовлення зубчастих коліс, які регламентується відповідною нормою кінематичної точності – накопиченою кінематичною похибкою, значення подачі за один оберт шпинделя буде величиною випадковою.

Метою роботи є розробка методики дослідження кінематичної точності механізму подач ВСВ в імовірнісному аспекті та проведення

експериментальних досліджень ВСВ, на прикладі моделі 2Н118.

Практична цінність. Внаслідок реалізації запропонованої методики є можливість отримати основну характеристику розсіювання значень подач – дисперсію, яка є критерієм оцінки кінематичної точності механізмів подач ВСВ

Тому розробка методики і проведення експериментальних досліджень в імовірнісному аспекті кінематичної точності механізмів подач ВСВ є актуальною задачею.

Основні завдання: розробити методику дослідження в імовірнісному аспекті кінематичної точності механізмів подач, створити установку для її реалізації, провести експериментальні дослідження та здійснити аналіз кінематичної точності механізму подач ВСВ моделі 2Н118.

Виклад основного матеріалу. Прийmemo на основі граничної теореми Чебишева [2] гіпотезу, що внаслідок дії певної кількості факторів (пружні деформації елементів ВСВ, неточність розмірних параметрів деталей механізму подач і найголовніше накопичені кінематичні похибки зубчастих коліс), які обумовлені технологічними процесами виготовлення деталей ВСВ, що забезпечують подачу інструмента – значення подачі на один оберт шпинделя підпорядковуватиметься нормальному закону розподілу.

Для отримання характеристик розсіювання подач, за якими можна буде оцінювати кінематичну точність механізму подач ВСВ розроблено методику та проведені експериментальні дослідження.

Для цього була створена установка, схема якої подана на рис. 1. На столі верстата 1 встановлюють сферометр 2 з точністю вимірювання 0,001 мм. Через кульку 3 штока сферометра забезпечують його контакт з торцем шпинделя 4. Важелі 6 і 7 для зміни відповідно подач і частот обертання шпинделя залежно від діаметра свердла встановлюють в такі положення, які забезпечують задані, налагоджувальні, згідно з паспортом ВСВ подачу S_{n1} і частоту обертання шпинделя $n_{шп1}$.

Експериментальні дослідження здійснюють наступним чином. За допомогою рухомого важеля 5 включають механічну подачу та повертають ручку 8, яка жорстко зв'язана з валом електродвигуна, вибирають зазор, встановлюють шкалу сферометра в нульове положення і досягають повороту шпинделя на 1 оберт (фіксують стрілкою). При цьому за даними сферометра визначають величину вертикального переміщення шпинделя, тобто подачу на 1 оберт шпинделя. Так як відлік переміщення шпинделя здійснюють при його одному і тому ж кутовому положенні, в одній і тій же точці його торця, то похибка викликана можливим його торцевим биттям не

впливає на точність здійснення замірів.

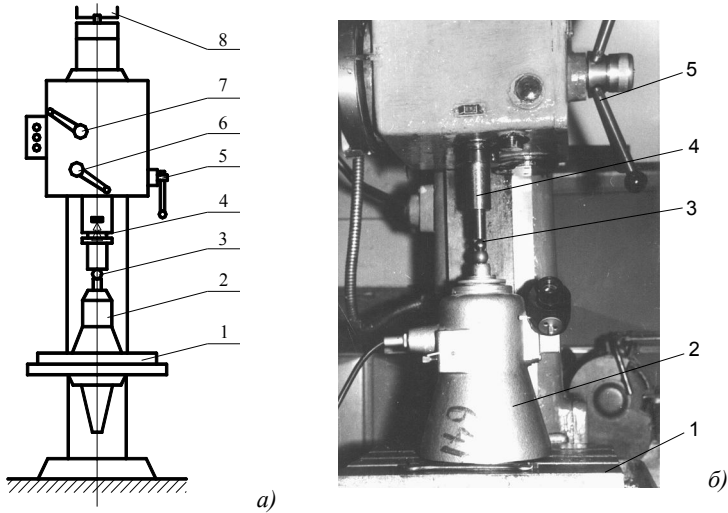


Рис. 1. Конструктивна схема (а) та фрагмент загального виду установки (б) для дослідження кінематичної точності механізму подач ВСВ

Надалі, повторюючи вищеподані прийоми і віднімаючи попередні значення переміщень штока сферометра від отриманих, визначають значення подач – S_{di} , тобто

$$\begin{aligned}
 S_{d1i} &= L_{сф1}, \\
 S_{d2i} &= L_{сф2} - L_{сф1}, \\
 S_{d3i} &= L_{сф3} - L_{сф2}, \\
 &\dots \\
 S_{dni} &= L_{сфn} - L_{сф(n-1)}, \quad (n = 1, 2, \dots, w).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Тут S_{di} – дійсне значення подачі ВСВ за показами сферометра при встановленій налагодженій відповідній подачі S_i , мм/об.; $L_{сф}$ – покази сферометра, мм; w – кількість обертів шпинделя; i – кількість значень подач за паспортом верстата.

Аналогічно, згідно з поданою вище методикою, проводили дослідження значень інших подач, що забезпечуються ВСВ.

Провівши за поданою методикою заміри w разів і визначивши за (1) w значень подач, для кожної із встановлених паспортом ВСВ подачі, отримують статистичні ряди розсіювання при відповідних

налагодженнях верстата, що забезпечують: $S_1; S_2; S_3; \dots; S_{i-1}; S_i$.

Отримані випадкові значення S_{oi} перевіряють на однорідність статистичного розсіювання за критеріями Корхана і Гребса, і на відповідність їх нормальному закону розподілу за критеріями Колмогорова і Пірсона χ^2 [2].

Визначають характеристики розсіювання подач: середнє значення \bar{S} ; дисперсію $D(S)$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma(S)$.

Оцінку кінематичної точності і встановлення суттєвих розбіжностей точності кінематичних ланцюгів механізму подач налагоджених на відповідні значення S здійснюють за критерієм F Фішера $F = D(S_{oi}) / D(S_{oi})_{\min}$ [6], при $D(S_{oi}) \geq D(S_{oi})_{\min}$, тут $D(S_{oi})_{\min}$ – найменша із дисперсій розсіювання досліджуваних подач прийнята за еталон.

Суттєвість розбіжності між двома дисперсіями визначають шляхом порівняння значення критерію F з табличним F_T , поданим в [6], при рівні значимості $q_0 = 0,05$ і величинах $k_1 = w_1 - 1$; $k_2 = w_2 - 1$, де w_1, w_2 – величини вибірок при проведенні експериментів. Якщо $F > F_T$, то відмінність дисперсій суттєва, і це свідчить про суттєве зниження кінематичної точності.

Для **прикладу** подано результати експериментальних досліджень кінематичної точності механізму подач ВСВ моделі 2Н118.

Провівши заміри за поданою методикою, для вибірки величиною $w = 40$ і визначивши за (1) 40 значень подач, при відповідних кінематичних ланцюгах верстата, які забезпечують подачі: $S_1 = 0,1$ мм/об.; $S_2 = 0,14$ мм/об.; $S_3 = 0,20$ мм/об. $S_4 = 0,28$ мм/об. (рис. 2), отримали статистичні ряди їх розсіювання.

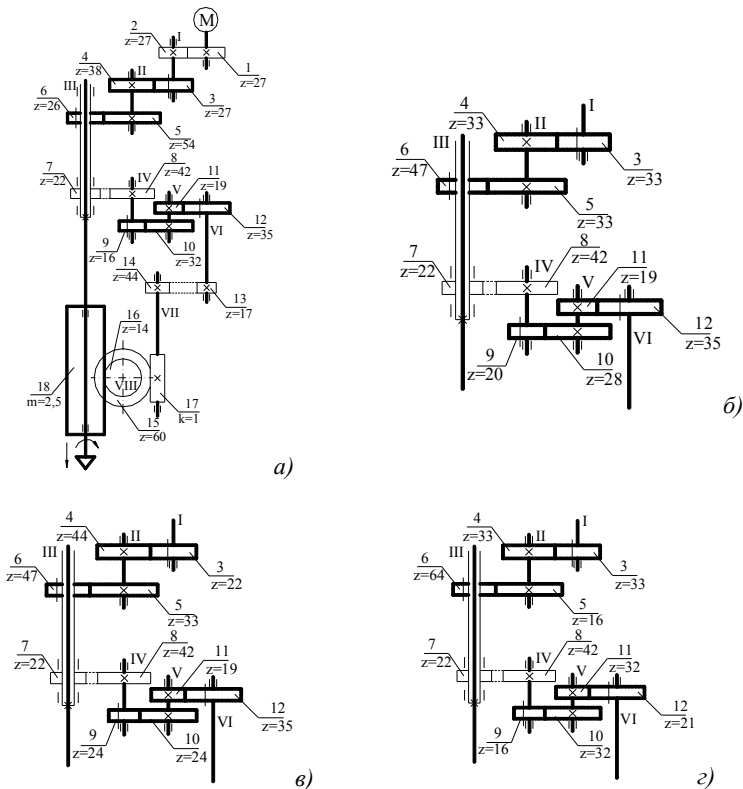


Рис. 2. Кінематичні схеми ланцюгів ВСВ мод. 2Н118, які забезпечують відповідні подачі та частоти обертання шпинделя:

а) – $S = 0,1$ мм/об., $n = 2000$ об./хв.; б) – $S = 0,14$ мм/об., $n = 1000$ об./хв.;

в) – $S = 0,2$ мм/об., $n = 500$ об./хв.;

г) – $S = 0,28$ мм/об., $n = 350$ об./хв.

Відповідні кінематичні ланцюги, що подані на рис. 2, які забезпечили певні значення подач та частот обертання шпинделя, вибирали, виходячи із реальних умов свердління.

Наприклад, у випадку свердління наскрізного отвору діаметром $D = 10$ мм, оброблюваний матеріал: сталь 45, матеріал інструмента Р6М5, робота з охолодженням, на основі [8] подачу визначали із залежності $S = C_s \cdot D^{0.6}$, де C_s – коефіцієнт, який враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. Швидкість різання

приймали рівну $V = 20$ м/хв. [1]. Тоді подача $S_n = 0,14$ мм/об., а $n_n = 1000$ об./хв.

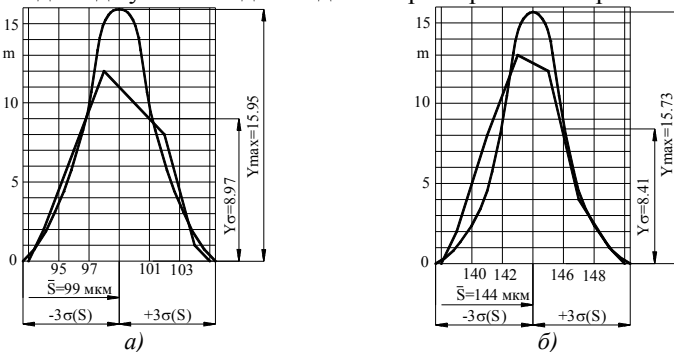
Піддавши статистичній обробці отримані дані, визначили характеристики розсіювання подач: середні значення – \bar{S}_{oi} ; дисперсії розсіювання $D(S_{oi})$ та середньоквадратичні відхилення $\sigma(S_{oi})$, які подані в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики розсіювання подач ВСВ моделі 2Н118 та значення критерію Фішера

Значення подач за паспортом верстата залежно від $D S_n$, мкм/об.	100	140	200	280	
Середнє значення подачі за експериментальними даними \bar{S}_o , мкм/об.	99	144,0	201,0	283,0	
Дисперсія розсіювання подач $D(S_{oi})$, (мкм/об.) ²	4,59	4,69	28,06	66,72	
Середньоквадратичне відхилення подач $\sigma(S_{oi})$, мкм/об.	2,14	2,17	5,30	8,17	
Критерій Фішера	F	1,00	1,02	6,11	14,53
	F_T	1,79			

На рис. 3 подані полігони, теоретичні криві нормального розподілу значень досліджуваних подач та деякі характеристики їх розсіювання.



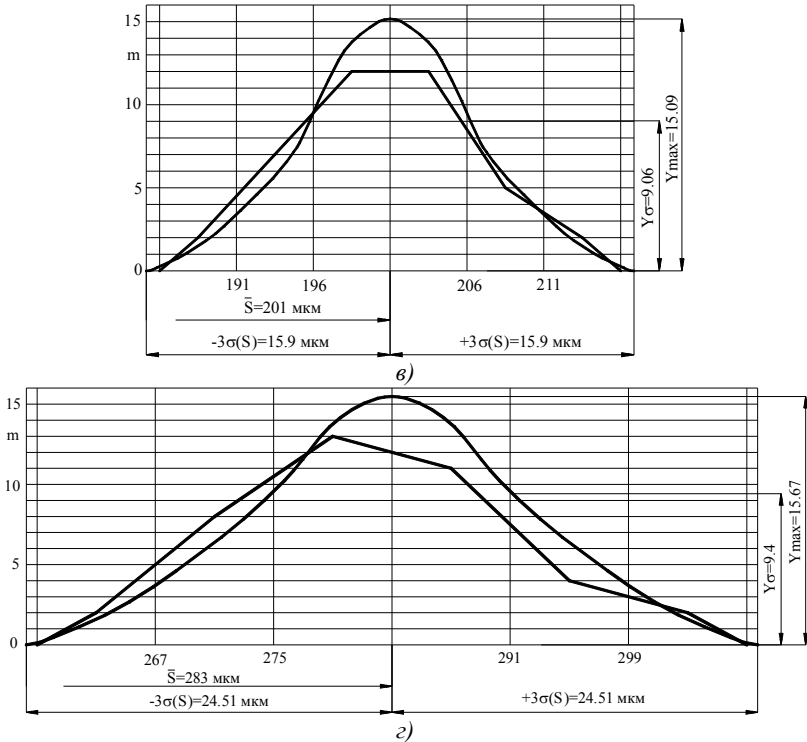


Рис. 3. Полігони та теоретичні криві розсіювання подач для встановлених за паспортними даними, їх значеннями:

а) – $S = 0,1$ мм/об.; б) – $S = 0,14$ мм/об.; в) – $S = 0,2$ мм/об.;

з) – $S = 0,28$ мм/об. t – частота попадання значень подачі в інтервал

За критерієм Фішера, здійснювали оцінку кінематичної точності та встановлювали суттєвість розбіжностей кінематичної точності певних кінематичних ланцюгів механізму подач ВСВ моделі 2Н118, значення яких подані в табл. 1. У нашому випадку за еталон взяли $D(S_{oi})_{\min} = D(S_{oi}) = 4,59$ (мкм/об.)² для подачі $S_1 = 0,1$ мм/об.

Оцінку суттєвості розбіжностей між двома дисперсіями здійснювали при порівнянні значення критерію F з табличним значенням F_T , при рівні значимості $q_0 = 0,05$ і величинах

$k_1 = k_2 = w - 1$, позаяк $w = 40$ для всіх проведених експериментів. Для нашого випадку згідно з [6] $F_T = 1,79$.

Аналіз даних, поданих в табл. 1, показує, що суттєвої різниці між кінематичною точністю ланцюгів механізму подач які забезпечують подачі $S_1 = 0,1$ мм/об.; $S_2 = 0,14$ мм/об. не має.

Кінематична точність ланцюгів механізму подач, що забезпечують подачі 0,2 мм/об. і 0,28 мм/об. по відношенню до точності ланцюгів механізму подач, які забезпечують подачі 0,1 мм/об. і 0,14 мм/об. є нижчою та відрізняється суттєво.

На основі проведених досліджень можна зробити такі **висновки**:

1. Розроблено методика дослідження, яка дозволяє аналізувати і оцінювати в імовірнісному аспекті кінематичну точність механізмів подач ВСВ.

2. Створено установку та проведені експериментальні дослідження кінематичної точності механізмів подач ВСВ моделі 2Н118.

3. Встановлено, що розсіювання досліджуваних значень подач підпорядковуються нормальному закону розподілу.

4. Встановлено, що із збільшенням значень подач, кінематична точність механізму подач знижується. Так, для кінематичних ланцюгів, що забезпечують подачі $S_3 = 0,2$ мм/об. і $S_4 = 0,28$ мм/об., поле їх розсіювання відповідно у 2,47 і 3,82 разів більше від поля розсіювання подачі $S_1 = 0,1$ мм/об., яка прийнята за еталон. Кінематичні ланцюги, які забезпечують подачі $S_1 = 0,1$ мм/об., $S_2 = 0,14$ мм/об., мають однакову кінематичну точність.

Щодо **рекомендацій**, то, з метою забезпечення стабільності та підвищення кінематичної точності механізму подач ВСВ, пропонується для кінематичних ланцюгів, кінематична точність яких суттєво відрізняється від еталонної, в даному випадку це кінематичні ланцюги, що забезпечують значення подач $S = 0,2$ мм/об. і $S = 0,28$ мм/об., використовувати зубчасті колеса з $z = 21, 24$ і 32 вищого ступеню точності.

У **перспективі** запропонована методика може бути застосована для визначення кінематичної точності механізмів подач інших моделей ВСВ. Отримані результати можуть бути використані при дослідженні в імовірнісному аспекті сумарних пружних переміщень в приводах головного руху та механізмів подач ВСВ [5].

ЛІТЕРАТУРА:

1. Барановский А.М. Режимы резания металлов : Справочник /

- А.М. Барановський*. – М. : Машиностроение, 1972. – 408 с.
2. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / *Е.С. Вентцель*. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
 3. *Зеленцов В.В.* Влияние жесткости настольно-сверлильных станков на точность обработки отверстий / *В.В. Зеленцов* // *Металорежущие станки*. – К. : Техника, 1978. – № 6. – С. 50–54.
 4. *Зеленцов В.В.* Исследование жесткости настольно-сверлильных станков / *В.В. Зеленцов* // *Металорежущие станки*. – К. : Техника, 1977. – № 5. – С. 73–79.
 5. *Кобельник В.Р.* Жорсткість вертикально-сверлильних верстатів / *В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий* // *Вісник ЖДТУ* / *Технічні науки*. – 2007. – № 1 (40). – С. 34–40.
 6. *Колкер Я.Д.* Математический анализ точности механической обработки деталей / *Я.Д. Колкер*. – К. : Техніка, 1976. – 200 с.
 7. *Левина З.М.* Контактная жесткость машин / *З.М. Левина, Д.Н. Решетов*. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
 8. *Справочник технолога-машиностроителя*. Т. 2. / под ред. В.М. Кована. – М. : Машгиз, 1963. – 912 с.

КОБЕЛЬНИК Володимир Романович – асистент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– процеси механічної обробки

Тел.: 8(0352)25–06–76.

E-mail: V_Kobelnik@ukr.net

КРИВИЙ Петро Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– технологічне та інструментальне забезпечення якості виробів.

Тел.: 8(0352)25–06–76.

Подано 13.10.2009