

УДК 621.9.2

І. А. Бойко^{1,2}, канд. техн. наук В. В. Солоха², д-р техн. наук Л. Й. Івченко²¹ АО «Мотор Січ», ² Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ РУХОМИХ ВУЗЛІВ 5-КООРДИНАТНОГО ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ НА АМПЛІТУДУ КОЛИВАНЬ ЗБУРЕННЯ ПЕРЕДНЬОГО КІНЦЯ ШПИНДЕЛЯ

Визначено вплив положення рухомих вузлів 5-координатного обробного центру на амплітуду коливань збурення (АКЗ) переднього кінця шпинделя для перших восьми частот власних коливань верстата. Проаналізовані заходи щодо зменшення впливу положення рухомих вузлів на якість та точність обробки.

Ключові слова: частота власних коливань, амплітуда коливань збурення, шпиндельний вузол.

Постановка задачі

Проведений в роботі [1] динамічний аналіз 5-координатного обробного центру дозволив визначити частоти і форми власних коливань верстата, амплітуду коливань збурення переднього кінця шпинделя, та оцінити вплив зміни різних параметрів і властивостей елементів системи на перераховані вище характеристики.

Значення амплітуди коливань збурення були отримані для випадків, коли рухомі вузли верстата (шпиндельний вузол, каретка і поворотний стіл) розташовувались в центрі зони обробки.

Аналізуючи отримані форми власних коливань, можна зробити висновок, що величина АКЗ різна для кожної точки досліджуваної системи і може залежати як від форми коливань і пружних властивостей елементів верстата, так і від положення рухомих вузлів.

Під час роботи верстата шпиндельний вузол здійснює переміщення в межах робочої області, а отже, буде спостерігатися зміна амплітуди коливань збурення переднього кінця шпиндельного вузла. Переміщення шпиндельного вузла за лінійними осями призводитиме до зміни амплітуди коливань збурення переднього кінця шпинделя, що може виражатися у значному збільшенні або зменшенні її величини відносно дослідженого в роботі [1] середнього положення.

Враховуючи можливості технологічного обладнання, зменшення АКЗ переднього кінця шпиндельного вузла можливе за рахунок оптимізації керуючих програм, проектуємих пристосувань, конструкторсько-технологічних змін, тощо.

Мета статті

На базі математичної моделі, яку описано в роботі [1], провести гармонічний аналіз, визначити і проаналізувати вплив положення шпиндель-

ного вузла на АКЗ переднього кінця шпинделя, що переміщується вздовж лінійних осей.

Результати дослідження

В роботі [1] для 5-координатного обробного центру Ricomax 820 VERSA було визначено вісім частот власних коливань (ЧВК) (табл. 1), що лежать в межах частот обертання шпинделя, характерних для силового різання. Оскільки отримані в розрахунок значення АКЗ відносяться до середнього положення шпиндельного вузла і можуть мати не максимальні значення, то дослідження впливу положення рухомих вузлів верстата необхідно провести для усіх восьми раніше визначених ЧВК.

Для досліджуваного верстата шпиндельний вузол (ШВ) має можливість переміщуватись вздовж осей Y і Z (рис. 1). Аналізу підлягатимуть дев'ять крайніх положень ШВ на межі зони обробки. Крайнє положення шпиндельного вузла за напрямком + Y, відносно базового, називатимемо лівим положенням, а за - Y - правим положенням. Крайнє положення ШВ за напрямком + Z, відносно базового, називатимемо верхнім положенням, а за - Z - нижнім положенням. АКЗ визначалася за трьома осями для кожного із положень шпиндельного вузла як відгук на дію гармонічної сили, вектор якої, за кожної з осей координат, дорівнював 100 Н. АКЗ за відповідними осями позначимо як A_x , A_y і A_z .

Враховуючи низьку АКЗ поворотного круглого столу [1,2], аналіз впливу зміни його положення на АКЗ не проводиться, тому за віссю X стіл фіксується посередині зони обробки.

На рис. 2, 3 для кожної ЧВК наводяться графіки залежності АКЗ переднього кінця шпинделя за трьома осями координат від його положення за віссю Z, для кожного із трьох положень ШВ вздовж осі Y (ліве, середнє, праве положення).

Таблиця 1 – Частоти власних коливань 5-координатного обробного центру

№ частоти	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота, Гц	37,36	44,74	77,6	109,75	125,8	139,9	162,14	175,38

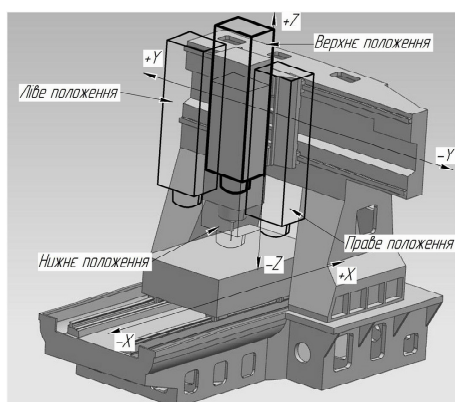


Рис. 1. Граничні положення шпиндельного вузла в межах зони обробки

На ЧВК $f_1 = 37,36$ Гц (рис. 2, а) спостерігається значна залежність АКЗ від переміщення шпиндельного вузла вздовж осі Z. Максимальна АКЗ спостерігається в правому положенні шпиндельного вузла, де A_x і A_z досягають 4,5 мкм. При цьому, різниця між значеннями АКЗ у нижньому і верхньому положенні ШВ, досягає 300 %, а між правим і лівим положенням доходить до 200 %. Значення A_y при переміщенні ШВ практично не змінюється.

Для частоти $f_2 = 44,74$ (рис. 2, б) зміна АКЗ як при переміщенні вздовж траверси, так і вздовж каретки ШВ, несуттєві. Оскільки коливання на даній частоті відбуваються вздовж осі Y, то і АКЗ за цією віссю будуть найбільшими і змінюватимуться у межах від 2,3 до 2,9 мкм. Зменшення

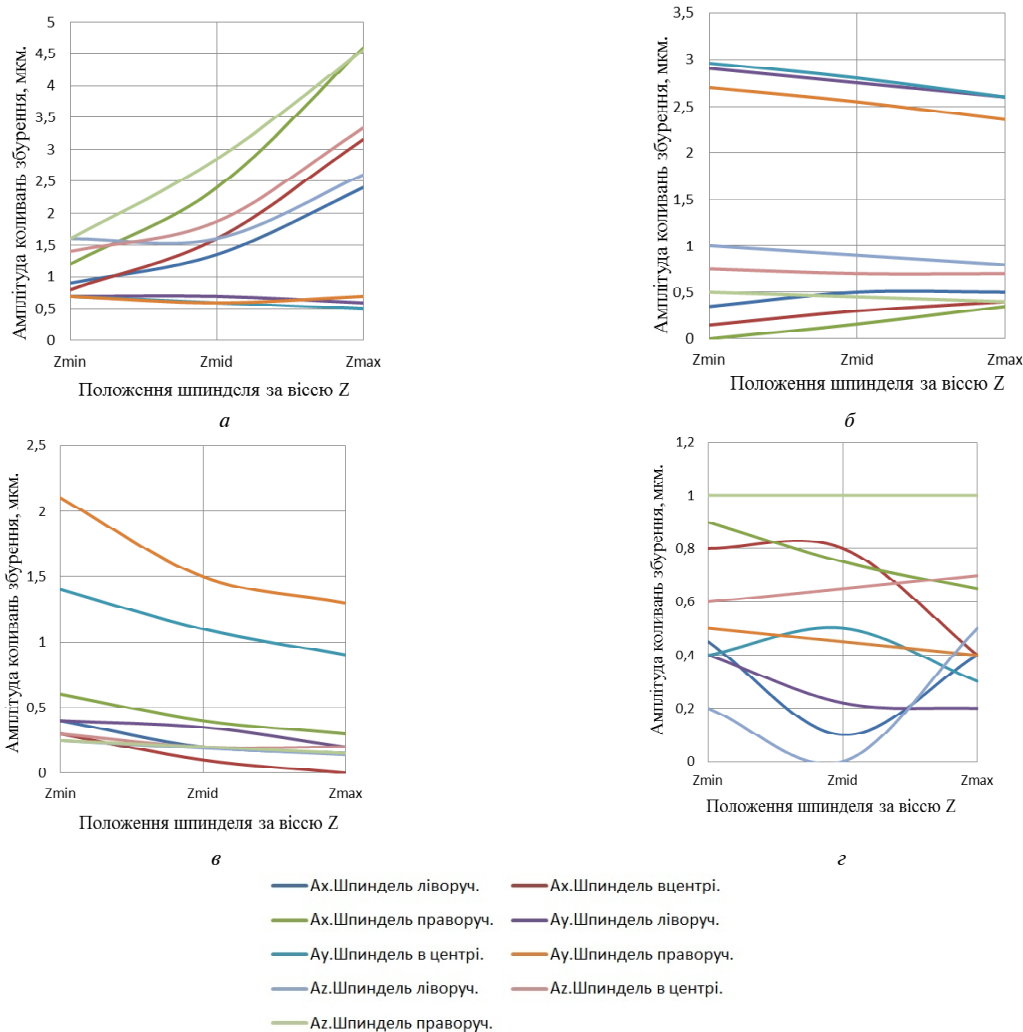


Рис. 2. Залежність АКЗ за трьома осями від положення шпиндельного вузла для різних ЧВК верстата (а – $f_1=37,36$ Гц; б – $f_2=44,74$ Гц; в – $f_3=77,6$ Гц; г – $f_4=109,75$ Гц)

АКЗ для данної частоти може бути досягнуто за рахунок проведення змін у конструкції верстата.

Третя ЧВК $f_3 = 77,6$ Гц (рис. 2, *в*) відрізняється значним впливом на АКЗ положення ШВ вздовж траверси (вісь Y). В лівому положенні ШВ A_y від 3 до 5 разів більша, ніж у правому, досягаючи 2,2 мкм, а A_x і A_z ледь сягають 0,5 мкм. На частоті $f_4 = 109,75$ Гц (рис. 2, *з*) АКЗ за трьома осями дуже малі і максимум сягають 1 мкм. Найменші коливання ШВ відбуваються у лівому положенні, а найбільші – у правому.

Максимальні АКЗ для $f_5 = 125,8$ Гц (рис. 3, *а*) мають місце в нижньому положенні ШВ за усіма 3-ма осями. Найменші значення АКЗ спостерігаються за віссю Y, а найбільші – за віссю X (до 1,4 мкм).

Подібна картина спостерігається і для шостої ЧВК $f_6 = 139,9$ Гц (рис. 3, *б*), крім того, що максимальні значення A_x сягають 3,2 мкм, A_y не перевищують 0,5 мкм, а A_z лежать в межах від 0,8 до 1,2 мкм.

Надзвичайно малі АКЗ для сьомої і восьмої ЧВК (рис. 3, *в* і 3, *г*). Для сьомої ЧВК ($f_7 = 162,14$ Гц) тільки в правому положенні шпиндельного вузла A_y сягає 1,3 мкм. АКЗ за іншими осями набагато менші, тому їх до уваги можна не брати. Для восьмої ЧВК ($f_8 = 175,38$ Гц) в правому нижньому положенні максимальне значення АКЗ для A_x становить 0,8 мкм і сходиться до нуля при підйомі ШВ в верхнє положення. A_y і A_z не перевищують 0,4 мкм.

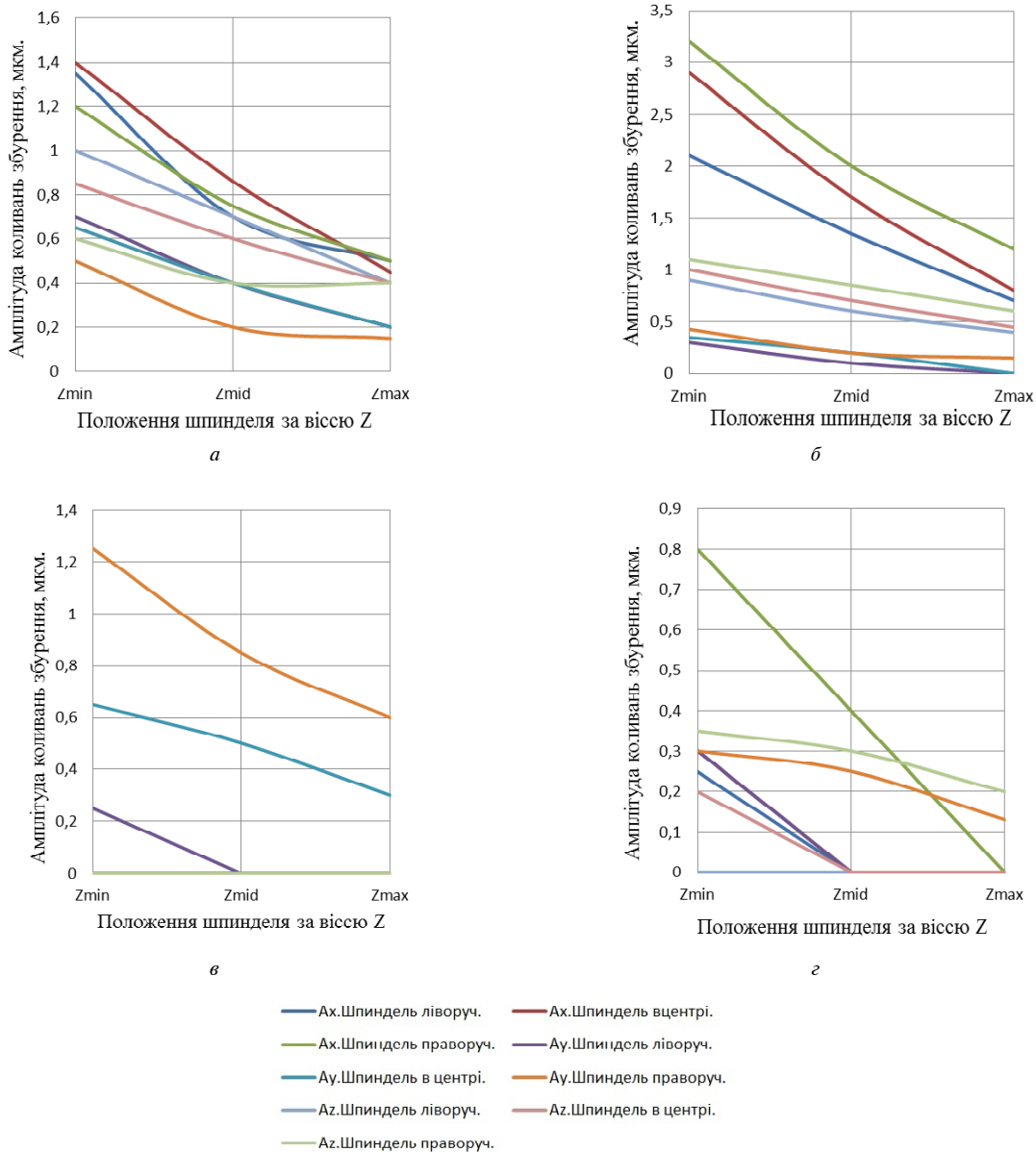


Рис. 3. Залежність АКЗ за трьома осями від положення шпиндельного вузла для різних ЧВК верстата (*а* – $f_5 = 125,8$ Гц; *б* – $f_6 = 139,9$ Гц; *в* – $f_7 = 162,14$ Гц; *г* – $f_8 = 175,38$ Гц)

Висновки і пропозиції

Серед восьми ЧВК, що аналізуються за найбільшою АКЗ, основними приймаємо частоти $f_1 = 37,359$ Гц, $f_2 = 44,74$ Гц, $f_3 = 77,616$ Гц, $f_5 = 125,88$ Гц, $f_6 = 162,16$ Гц

Для частот f_1 , f_5 , f_6 чітко прослідковується значна залежність АКЗ від положення ШВ за віссю Z.

При роботі на частотах, що близькі до f_1 , пропонується застосовувати інструмент і інструментальне оснащення з якомога меншим вильотом і на максимально малій відстані від дзеркала столу, що можна також досягнути за рахунок вдалого проектування пристосувань. За можливість, обробку проводити ближче до лівого положення ШВ.

При роботі на частотах, що близькі до f_5 і f_6 , необхідно відсунути зону (площину) обробки якомога вище від дзеркала столу. При цьому, використання спеціальних пристосувань або «подушок», потребує додаткових досліджень можливості їхнього впливу як на ЧВК, так і на АКЗ елементів системи [3,4].

Враховуючи низький вплив на АКЗ на ЧВК $f_2 = 44,74$ Гц положення ШВ за осями Y і Z, зниження Au можливе на етапі конструкторсько-технологічного проектування обладнання, або за рахунок зміни схеми встановлення на опори [1]. Для ЧВК $f_3 = 77,616$ Гц пропонується обробку проводити ближче до лівого положення ШВ.

Вплив різних варіантів встановлення верстата на опори і оцінка впливу жорсткості опор на ЧВК і АКЗ верстата потребує додаткового дослідження.

Дослідження впливу положення рухомих вузлів 5-координатного обробного центру на АКЗ є необхідним елементом динамічного аналізу, оскільки

при переміщенні шпиндельного вузла вздовж лінійних осей може відбуватися суттєва зміна АКЗ переднього кінця шпинделя для окремих ЧВК, а також дає можливість отримати більш повну картину щодо визначення основних ЧВК з найбільшими АКЗ.

Список літератури

1. Бойко І. А. Динамічний аналіз 5-координатного обробного центру / І. А. Бойко, В. В. Солоха, Л. Й. Івченко // Теоретические и прикладные проблемы создания авиационных двигателей и энергетических установок: тезисы докладов междунар. научн.-технич. конф. – Запорожье : АО «Мотор Сич», 2014. – С. 78–80.
2. Бойко І. А. Динамічний аналіз поворотного стола 5-координатного обробного центру / І. А. Бойко, В. В. Солоха, Л. Й. Івченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 1(73). – С. 134–143.
3. Shil-Geun Kim. Analysis of Dynamic Characteristics and Evaluation of Dynamic Stiffness of a 5-Axis Multi-tasking machine tool by using FEM and Exiter test / Shil-Geun Kim, Sung-Hyun Jang // International conference on Smart Manufacturing Application. – 2008. – P. 565–569.
4. Patwari A. Dynamic Modal Analysis of Vertical Machining Centre Components / A. Patwari, W. Faris // Advances in Acoustics and Vibration. – 2009. – P. 1–10.

Поступила в редакцію 21.01.2015

Бойко И.А., Солоха В.В., Ивченко Л.И. Оценка влияния положения подвижных узлов 5-координатного обрабатывающего центра на амплитуду колебаний возбуждения переднего конца шпинделя

Определено влияние положения подвижных узлов 5-координатного обрабатывающего центра на амплитуду колебаний возмущения переднего конца шпинделя для первых восьми частот собственных колебаний станка. Проанализированы меры по уменьшению влияния положения подвижных узлов на качество и точность обработки.

Ключевые слова: частота собственных колебаний, амплитуда колебаний возбуждения, шпиндельный узел.

Boyko I., Solokha V., Ivschenko L. Estimation the influence of the 5-axis machining centers movable components position on the perturbation vibration amplitude of the spindle forward end

The influence of the 5 coordinate processing center movable components position on the perturbation vibration amplitude of the spindle forward end for the first eight frequency of the machine natural vibrations is defined. Analyzed measures to reduce the impact position of mobile nodes on the quality and accuracy of processing.

Key words: frequency of natural vibrations, perturbation vibration amplitude, spindle.