

**СКОРКІН А.О., КОНДРАТЮК О.Л., СТАРЧЕНКО О.П., КАМЧАТНАЯ-СТЕПАНОВА Е.В.**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА РІВЕНЬ ВІБРАЦІЇ ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ**

Одним зі шляхів підвищення ефективності механообробки є застосування систем моніторингу динамічних параметрів. Вимір і аналіз динамічних параметрів у процесі обробки деталей було дотепер по технічним і економічним причинам непростим завданням, розв'язуваною для окремих випадків застосування. Істотний ріст розвитку мікропроцесорної техніки й програмного забезпечення в останні роки дозволив забезпечити розробку систем моніторингу динамічних параметрів і адаптивного керування, спрямованих на оптимізацію технологічних процесів високопродуктивної обробки й модернізацію металообробного встаткування. Фрезерна обробка пов'язана із циклічними навантаженнями в обробній системі верстата, які збільшилися за останні роки багаторазово. Збільшення кутової швидкості обертання шпинделя обробних центрів до 20 – 30 тисяч обертів у хвилину, збільшення подачі на зуб і глибини фрезерування суттєво збільшує динамічну складову сил різання. Вимір і аналіз вібраційних процесів у верстаті при обробці дозволяє вивчити динамічні явища, що виникають в обробній системі, а безперервний моніторинг сили різання і її періодичної складової (тобто вібрації) дозволить замкнути обробну систему каналом зворотному інформаційному зв'язку з метою наступного керування режимами обробки, мінімізуючи супутні коливання й вібрації. Проведено експериментальні дослідження впливу технологічних режимів фрезерування на рівень вібрації шпиндельного вузла обробного центру, які показали необхідність при реалізації технологій ВПО узгодження режимів різання з рівнем можливої вібрації шпинделя, ріжучого інструменту і деталі. Розроблена кінцево-елементна модель і проведено чисельне моделювання процесу формування форми і амплітуди періодичних збуджуючих сил різання. Дослідження коливань сил взаємодії фрези із заготовкою на динамометричному столі при підвищенні швидкості обертання шпинделя показали, що на високих частотах обертання шпинделя на ряді режимів фрезерування виникають області нестійкого різання, обумовлені динамічними характеристиками обробної системи. Це призводить до нерівномірної роботи різальних крайок фрези і погіршення якості обробки.

**Ключові слова:** фрезерування, коливання, обробний центр, динамічні коливання, якість обробки, продуктивність обробки.

### **СКОРКИН А.О., КОНДРАТЮК О.Л., СТАРЧЕНКО Е.П., КАМЧАТНА-СТЕПАНОВА К.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА УРОВЕНЬ ВИБРАЦИЙ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ЦЕНТРА**

Одним из путей повышения эффективности механообработки является применение систем мониторинга динамических параметров. Измерение и анализ динамических параметров в процессе обработки деталей было до сих пор по техническим и экономическим причинам непростых задач, решаемой для отдельных случаев применения. Существенный рост развития микропроцессорной техники и программного обеспечения в последние годы позволил обеспечить разработку систем мониторинга динамических параметров и адаптивного управления, направленных на оптимизацию технологических процессов высокопроизводительной обработки и модернизацию металлообрабатывающего оборудования. Фрезерная обработка связана с циклическими нагрузками в обрабатывающей системе станка, которые увеличились за последние годы во много раз. Увеличение угловой скорости вращения шпинделя обрабатывающих центров в 20 - 30 000 оборотов в минуту, увеличение подачи на зуб и глубины фрезерования существенно увеличивает динамическую составляющую сил резания. Измерение и анализ вибрации в станке при обработке позволяет изучить динамические явления, возникающие в обрабатывающей системе, а непрерывный мониторинг силы резания и ее периодической составляющей (т.е. вибрации) позволит замкнуть обрабатывающую систему каналом обратной информационной связи с целью последующего управления режимами обработки, минимизируя сопутствующие колебания и вибрации. Проведены экспериментальные исследования влияния технологических режимов фрезерования на уровень вибрации шпиндельного узла обрабатывающего центра, которые показали необходимость при реализации технологий ВПО согласования режимов резания с уровнем возможной вибрации шпинделя, режущего инструмента и детали. Разработана конечно-элементная модель и проведено численное моделирование процесса формирования формы и амплитуды периодических возбуждающих сил резания. Исследование колебаний сил взаимодействия фрезы с заготовкой на динамометрическом столе при повышении скорости вращения шпинделя показали, что на высоких частотах вращения шпинделя на ряде режимов фрезерования возникают области неустойчивого резки, обусловленные динамическими характеристиками обрабатывающей системы. Это приводит к неравномерной работе режущих кромок фрезы и ухудшение качества обработки.

**Ключевые слова:** фрезерования, колебания, обрабатывающий центр, динамические колебания, качество обработки, производительность обработки.

### **SKORKIN A.O, KONDRATYUK O. L, STARCHENKO E.P., KAMCHATNAYA-STEPANOVA E.V. STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES OF MILLING ON THE LEVEL OF VIBRATIONS OF THE SPINDLE ASSEMBLY PROCESSING CENTER**

One of the ways to increase the efficiency of machining is the use of dynamic parameter monitoring systems. Measurement and analysis of dynamic parameters during the processing of parts has so far been for technical and economic reasons difficult tasks solved for individual applications. Significant growth in the development of microprocessor technology and software in recent years has allowed the development of monitoring systems for dynamic parameters and adaptive control aimed at optimizing technological processes of high-performance processing and modernizing metalworking equipment.

Milling processing is associated with cyclic loads in the processing system of the machine, which have increased significantly in recent years. An increase in the angular speed of rotation of the spindle of the machining centers is 20-30,000 rpm, an increase in the feed per tooth and the depth of milling significantly increases the dynamic component of the cutting forces. Measurement and analysis of vibration in the machine during processing allows you to study the dynamic phenomena that occur in the processing system, and continuous monitoring of the cutting force and its periodic component (i.e. vibration) will allow you to close the processing system with a feedback channel for the subsequent control of the modes processing, minimizing the accompanying vibrations and vibrations.

Experimental studies of the influence of technological modes of milling on the vibration level of the spinning unit of the processing center were carried out, which showed the need for the implementation of HPE technologies to coordinate cutting modes with the level of possible vibration of the spindle, cutting tool and part. A finite element model is developed and a numerical simulation of the formation of the shape and amplitude of the periodic exciting cutting forces is carried out.

The study of fluctuations in the forces of interaction between the cutter and the workpiece on a dynamometer table with an increase in the spindle rotation speed showed that at high frequencies of spindle rotation in a number of milling modes, areas of unstable cutting arise due to the

dynamic characteristics of the processing system. This leads to uneven operation of the cutting edges of the cutter and the deterioration of the quality of processing.

**Key words:** milling, vibrations, machining center, dynamic vibrations, machining quality, machining productivity.

**1. Вступ.** Сучасні обробні центри (ОЦ), володіючи широкими технологічними можливостями й значним потенціалом подальшого розвитку, є в цей час найбільш високопродуктивними й самими затребуваними типами багатофункціональних верстатів. На таких верстатах зняття припуску здійснюється інструментом, що поєднує одночасне обертання з лінійним переміщенням інструмента або заготовки. При цьому деталь закріплена на столі верстата або в спеціальному пристосуванні.

ОЦ получили широке поширення за рахунок можливості виконання на одному верстаті декількох видів операцій обробки: розточування, свердління, фрезерування, а також необхідних вимірів. Виконання різних операцій на одному обробному центрі суттєво економічніше, ніж послідовна обробка на декількох спеціалізованих верстатах. Поряд з економією часу ОЦ дозволяє скоротити інвестиційні витрати й витрати, пов'язані з кадровим забезпеченням і виробничою площею.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

При виборі способів підвищення якості й продуктивності обробки деталей важливим критерієм є їхня економічна ефективність, що забезпечує зниження собівартості готових виробів, що особливо актуально в умовах низької серійності виготовлення [2, 4, 6].

Різноманітність інструментальних систем дозволяє розширити технологічні можливості ОЦ, але також приводить до необхідності обліку динамічних характеристик елементів інструментальної системи й самого верстата [3, 5, 7].

Найбільш важливим елементом ОЦ є шпindel, саме він створює головний рух різання й забезпечує зняття стружки інструментом. ОЦ переважно оснащуються електромеханічними приводами головного руху. Електрична частина (електропривод) складається з електродвигуна постійного або змінного току й спеціальних перетворюючих і керуючих пристроїв, а механічна частина – з окремих передач (зубчасті, ремінні й ін.) [75].

До сучасних шпindelів пред'являється велика кількість технічних вимог. Так при обробці міцних і грузлих матеріалів шпindel повинен мати високий крутний момент на низькій частоті обертання, а при обробці м'яких матеріалів забезпечувати високу частоту обертання із заданим крутним моментом. Забезпечення високої частоти обертання досягається шляхом використання як опор шпинделя спеціальних керамічних і металокерамічних підшипників з меншим тепловиділенням. Однак такий тип опор дуже чутливий до динамічних навантажень, під впливом яких підшипники мають прискорене зношування, що приводить до втрати точності й передчасному виходу з ладу дорогого вузла верстата.

**3. Мета дослідження.** Підвищення ефективності фрезерної обробки за рахунок використання систем моніторингу динамічних характеристик.

**4. Вклад основного матеріалу.** Будь-яке механообробне встаткування має вузли що переміщуються або обертові вузли, які створюють механічні коливання й вібрації, що є причиною зниження якості деталей, що випускаються, підвищеного зношування інструмента, передчасного виходу з ладу обробних верстатів. Вібрація в значній мірі визначає показники точності верстатів і характеризує стан вузлів, деталей і їх складових. На верстат, шпindel, інструмент і заготовку деталі при обробці діє складний комплекс мінливих у часі силових, інерційних і кінематичних збурювань.

Під параметрами вібрації, вимірюваної на шпинделі обробного центру, розуміються тимчасові складові (осцилограми) коливань по трьом взаємно перпендикулярним напрямкам, тобто первинні сигнали вібропришвиднення, одержувані датчиками вібрації (п'єзоакселерометрами), а також результати їх обробки при аналізі [1, 7].

Підвищення частоти обертання шпинделя (до 10000 - 20000 об/хв і більш) приводить до виникнення нових негативних явищ при обробці, пов'язаних з динамічною нестабільністю процесу різання – вібраціями системи ВПЗ. При чорновій обробці масивних заготовок вібрації обумовлені коливаннями шпindelної групи верстата, що включає властивості шпинделя і інструменту із системою його кріплення. Такі вібрації мають амплітуду порядку товщини стружки й приводять до появи «дроблення» на обробленій поверхні (Рис1). Вібрації знижують якість обробки й ведуть до передчасного руйнування інструмента й підшипників шпинделя. При виникненні вібрацій оператор верстата або технолог зменшують глибину/ширину фрезерування або подачу інструмента, що приводить до зниження продуктивності обробки не дозволяє повною мірою реалізувати потужність привода шпинделя.



Рис. 1 – Дроблення на обробленій поверхні в результаті вібрацій інструмента

Обсяг матеріалу, що віддаляється,  $[cm^3/хв]$  визначається вираженням:

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times V_f}{10000}, \quad (1)$$

де  $a_p$  - глибина фрезерування;  $a_e$  - ширина фрезерування;  $V_f$  - подача стола;

Підвищення значень перших трьох параметрів фрезерування ( $a_p \times a_e \times V_f$ ) приводить до росту зусиль у

При високошвидкісній обробці (частота обертання шпинделя – оборотна частота:  $f_1 = n_1/60 = 330$ – $500$  Гц) виникають резонанси й просторові коливання механічної структури й вузлів верстата, які значно впливають на динамічні характеристики верстата і якість обробки [6, 8].

Фрезерування, як технологічний процес, характеризується переривчастим силовим впливом фрези на заготовку й викликає періодичні коливання сил різання  $P(t)$  із зубцовою частотою  $f_z = n_1 z / 60 = z \cdot f_1$ , де  $n_1$  – кутова швидкість обертання фрези (об/хв);  $z$  – число ріжучих крайок фрези. Такі періодичні впливи приводять до змушених коливань верстата, шпинделя, інструмента й заготовки. Коливання фрези й заготовки впливають на силу різання, що виникає між ріжучими крайками фрези й заготовкою.

При проведенні експериментів застосовувалася фреза діаметром  $d = 25$  мм, із двома зубами  $z = 2$ . Частота обертання шпинделя  $n_1 = 60$  Гц під час 16 експериментів змінювалася в діапазоні  $n_1 = 12738$  -  $27388$  об/хв; подача на зуб  $S_z$ :  $0,1$  -  $0,4$  мм/зуб, із кроком  $0,1$  мм/зуб; ширина фрезерування  $b$ :  $5$  -  $15$  мм, із кроком  $2,5$  мм; глибина фрезерування  $h$ :  $6$  -  $10$  мм, із кроком  $1$  мм.

На рисунку 2 наведені осцилограми 3-х проєкцій  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  сил фрезерування, отримані в програмі «Dynoware» при подачі по осі X. На рисунку 3 наведені спектри коливань сил фрезерування при тих же вимірах. В «ідеальному» випадку фрезерування крайки, що коли ріжуть, завантажені рівномірно, амплітуда складової спектра на зубцовій частоті  $f_z$  значно перевищує амплітуди інших гармонік (Рисунок 2. б).

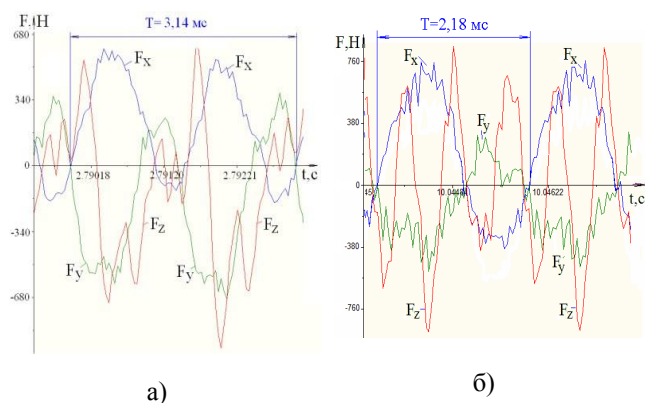
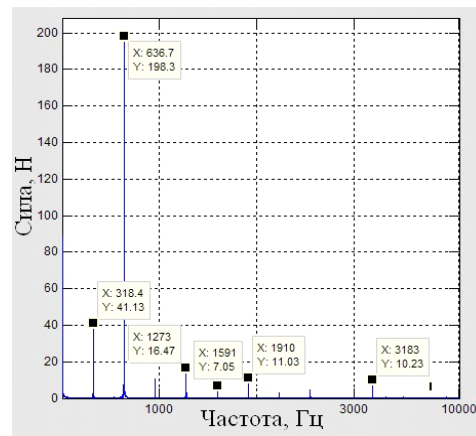
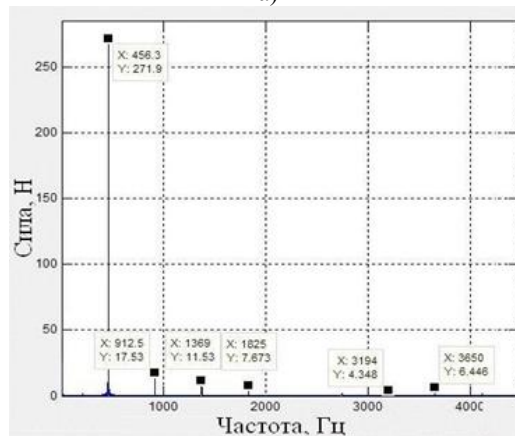


Рис 2 - Осцилограми проєкції сили фрезерування  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$

взаємодії «фреза – заготовка». Підвищення частоти обертання шпинделя ( відповідне до росту швидкості різання) розширює частотний діапазон впливу сил різання на компоненти системи ВПЗ. У результаті суттєво розширюються діапазони виникнення вібрацій інструмента, закріпленого в шпинделі [14]



а)



б)

Рис. 3 - Спектри вібрацій сил фрезерування по осі подачі X

Виникаючі періодичні імпульси сил впливають на пружно - інерційну систему верстата, викликаючи в ній стаціонарні й перехідні коливальні процеси [2, 4 5]. Результуючі вібрації залежать також від власних форм коливань і динамічних характеристик ОЦ [2].

Розроблювальна динамічна модель дозволить із обліком виявлених кінцево-елементним моделюванням закономірностей змін форми силових імпульсів при різних дефектах створювати часовий ряд сигналів для їхнього наступного використання як збуджуючих впливів диференціальних рівнянь коливань, як твердого тіла ( $Q_x$ ,  $Q_y$ ,  $Q_z$ ,  $Q_a$ ,  $Q_b$ ,  $Q_y$ ).

Кінцево-елементне (КЕ) моделювання проведене в програмному середовищі «Abaqus». Нижче представлений приклад КЕ моделювання процесу фрезерування. Розглядалася заготовка, що має розміри  $10 \times 10 \times 50$  мм, яка обробляється кінцевою фрезою діаметром 32 мм із трьома змінними твердосплавними пластинами. Заготовка з алюмінієвого ливарного сплаву, містить у собі 69 305

тетраїдних елементів зі згущенням у зоні різання, мінімальна довжина сторони яких становить 0,1 мм.

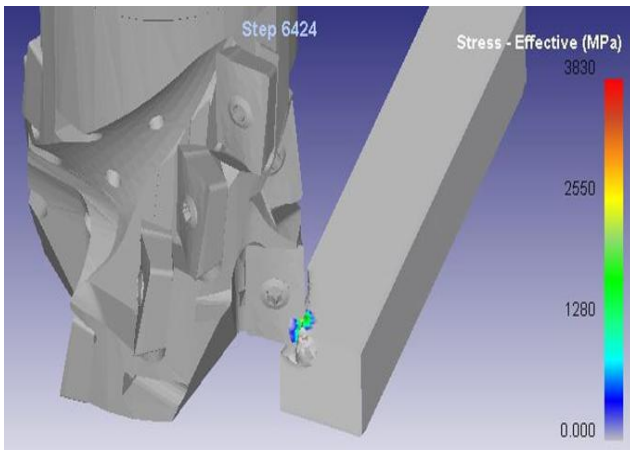
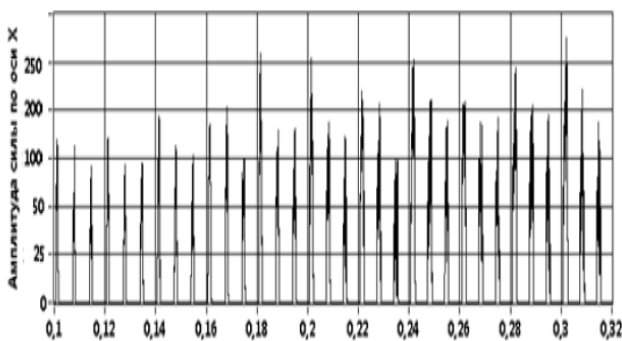
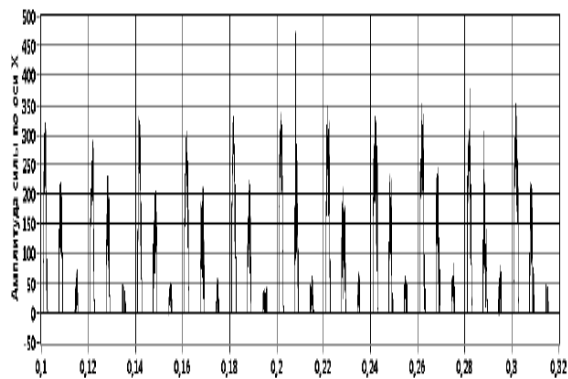


Рис. 4 - Моделювання процесу фрезерування

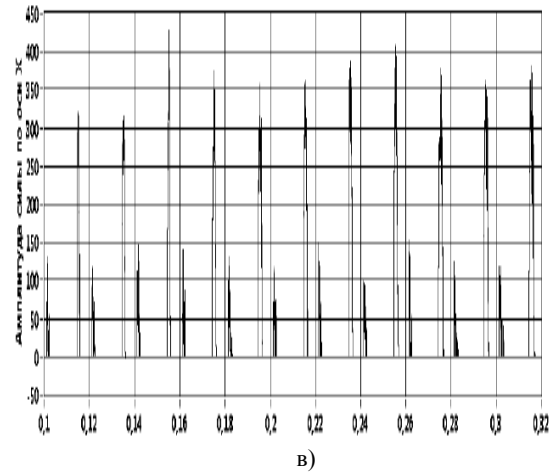
За результатами моделювання фрезерування отримані залежності сили різання в проєкціях координат верстата. На рисунку 3 представлена тривимірна візуальна схема КЕ моделювання сил виникаючих при обробці заготовки за допомогою кінцевої фрези зі змінними пластинами. Тимчасові характеристики сили різання по координаті, спрямованої уздовж подачі інструмента (вісь X) для випадку відсутності зношування (4, а), і при дефектах змінних пластин (Рисунок 4, б, в).



а)



б)



в)

Рис. 4 - Тимчасові сигнали сил різання по осі X подачі заготовки при: а) відсутності дефекту, б) дефекті викрашування, в) поломці ріжучої крайки

Визначимо вираження тангенціальної й радіальної сил різання, що діють на  $j$  зуб:

$$dF_{t,j}(\varphi_j, z) = [K_{tc} \times h(\varphi_j(z)) + K_{te}] \times dz; \quad (2)$$

$$dF_{r,j}(\varphi_j, z) = [K_{rc} \times h(\varphi_j(z)) + K_{re}] \times dz,$$

де  $K_{tc}$ ,  $K_{te}$  – постійні коефіцієнти тангенціальної сили різання;  $K_{rc}$ ,  $K_{re}$  – постійні коефіцієнти нормальної сили різання;  $dz$  – дискретний крок по осі інструмента.

Поточна товщина шару, що зрізується, зубом  $j$  визначається по формулі:

$$h(\varphi_j(z)) = f_t \times \sin \varphi_j(z) \quad (3)$$

де  $f_t$  – це подача на зуб;  $\varphi_j(z)$  – поточний кут ріжучої крайки  $j$ , щодо осі інструмента ( $j = 1, \dots, n$ ),  $n$  – число ріжучих крайок.

Розрахунки поточного кута ріжучої крайки  $j$  виконується по формулі:

$$\varphi_j(z) = \varphi_{(j-1)} + j \times \varphi_p - \psi \quad (4)$$

де  $\varphi_p$  – центральний кут між ріжучими крайками інструмента, що визначається як:  $\varphi_p = 2\pi/n$ .

При фрезеруванні інструментом, що мають кут нахилу гвинтової лінії ріжучої крайки  $\beta$ , крапка на її поверхні буде відставати від крапки на попередньому кроці по осі інструмента, тобто мати запізнювання (Рис. 5).

Кут запізнювання  $\psi$  при кроці  $dz$  по осі інструмента діаметром  $d$  визначається з умови:

$$\tan(\beta) = \frac{d \times \psi}{2 \times dz}, \text{ звідси } \psi = \frac{2 \times \tan(\beta)}{d} \times dz \quad (5)$$

Проекції сил різання на осі  $x$  і  $y$ , визначаються по формулах:

$$dF_{x,j}(\varphi_j, z) = -dF_{t,j} \cos \varphi_j(z) - dF_{r,j} \sin \varphi_j(z); \quad (6)$$

$$dF_{y,j}(\varphi_j, z) = dF_{t,j} \sin \varphi_j(z) - dF_{r,j} \cos \varphi_j(z).$$

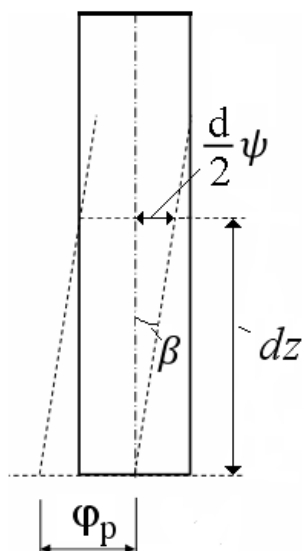


Рис. 5- Схема визначення кута запізнювання

Представлена аналітична методика використана при розробці програми динамічного моделювання сил різання при фрезеруванні в програмному середовищі Matlab. Програма робить динамічні розрахунки сил різання при різних дефектах ріжучих крайок фрези й дозволяє проводити спектральний аналіз сил різання з метою виявлення закономірностей зміни спектральних складових.

Вхідними параметрами для програми є кут нахилу гвинтової лінії, осьова глибина різання  $a$ , кількість ріжучих крайок, подача, частота обертання шпинделя, постійні коефіцієнти сили різання. У програмі проводиться розрахунок сил на кожному кроці повороту фрези  $\Delta\varphi$  і осьовій відстані від вершини інструмента  $\Delta a$ . Вихідними параметрами програми є сили різання з урахуванням коефіцієнтів зношування інструмента і їх спектральний аналіз.

Отримані результати аналітичного розрахунку сил фрезерування з використанням програми динамічного моделювання при моделюванні різособистих дефектів ріжучих крайок кінцевої фрези показали гарну збіжність із результатами кінцево-елементного моделювання сил фрезерування при зниженні на 1-2 порядку часу розрахунку. Розроблена програма динамічного моделювання сил фрезерування при різних дефектах дозволить її використовувати в дослідженні динаміки шпинделя верстата й обліку впливу форм і власних частот коливань останнього на режими обробки й рівень вібрації системи «шпиндель – інструмент» обробки, що впливає на якість, ресурс верстата й стійкість інструмента.

Програма динамічного моделювання дозволить проводити дослідження вібродіагностичних ознак дефектів інструмента з урахуванням проходження корисного діагностичного сигналу через динамічну систему шпинделя, що дозволить вчасно розпізнавати дефекти й проводити заміну інструмента до його поломки.

**Висновки.** На підставі отриманих даних у результаті аналітичного розрахунку і КЕ - моделювання фрезерування, виявлене, що додатково введений коефіцієнт зношування в аналітичну модель дозволяє вірогідно відбивати фізико-механічні процеси, що відбуваються при фрезеруванні. Для багаторазового збільшення продуктивності розрахунку рекомендується використовувати при дослідженні динаміки системи «шпиндель-інструмент» запропоновану аналітичну модель і програму динамічного моделювання сил при фрезеруванні.

#### Список литературы:

- Altintas Y. A General Mechanics and Dynamics Model for Helical End Mills / Y. Altintas, P. Lee // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1998. - P. 684-692.
- Cempel C. Determination of vibration symptom limit value in diagnostics of machinery / C. Cempel // Maintenance management international. - № 5. - 1985. - P. 297-204.
- Jayaram S. Analytical stability analysis of variable spindle speed machining / S. Jayaram, S.G. Kapoor, R.E. Devor // ASME J. Eng. Indus. - 2000. - vol. 122. - pp. 391-397.
- Richard Y. Chiou Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning / Y. Chiou Richard, Y. Liang Steven // International Journal of Machine Tools & Manufacture. - 2000. - № 40. - P. 114-118.
- Sastry S. Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process / S. Sastry, S.G. Kapoor, R.E. Devor // ASME J.130. Eng. Indus. - 2001. - vol. - 123. pp. 753-756. Болсуновский С.А., Вермель В.Д. Методика и техническое оснащение оценки вибрационных характеристик системы «станок – приспособление – инструмент– деталь» в процессе скоростного фрезерования / С.А. Болсуновский, В.Д. Вермель // Научно-технический отчет ЦАГИ 2008 год: Сб. статей: Центральный Аэрогидродинамический Институт. Жуковский. - 2009. - 100 с. Ведмидь П.А. Программирование обработки в NX CAM / П.А. Ведмидь, А.В. Сулинов // М.: ДМК Пресс. - 2014. - 304 с..
- Нежебовський В. В. Технологічне забезпечення якості обробки зубчастих коліс приводів шахтних конвеєрів на операціях зубошліфування : автореф. дис. ... канд. техн. наук за спеціальністю 05.02.08 "Технологія машинобудування". – Одеса : ОНПУ, 2011.-21с.

#### References (transliterated)

- Altintas Y. A General Mechanics and Dynamics Model for Helical End Mills / Y. Altintas, P. Lee // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1998. - P. 684-692.
- Cempel C. Determination of vibration symptom limit value in diagnostics of machinery / C. Cempel // Maintenance management international. - № 5. - 1985. - P. 297-204.
- Jayaram S. Analytical stability analysis of variable spindle speed machining / S. Jayaram, S.G. Kapoor, R.E. Devor // ASME J. Eng. Indus. - 2000. - vol. 122. - pp. 391-397.
- Richard Y. Chiou Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning / Y. Chiou Richard, Y. Liang Steven // International Journal of Machine Tools & Manufacture. - 2000. - № 40. - P. 114-118.
- Sastry S. Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process / S. Sastry, S.G. Kapoor, R.E. Devor // ASME J.130. Eng. Indus. - 2001. - vol. - 123. pp. 753-756.
- Bolsunovskiy S.A., Vermel V.D. Metodika i tehni-cheskoe osnaschenie otsenki vibratsionnykh harakteristik siste-my «stanok – prispособlenie – instrument– detal» v protses-se skorostnogo

frezerovaniya / S.A. Bolsunovskiy, V.D. Ver-mel // Nauchno-tehnicheskiy otchet TsAGI 2008 god: Sb. statey: Tsentralnyiy Aerogidrodinamicheskiy Institut. Zhukovskiy. - 2009. - 100 s.

7. Vedmid P.A. Programirovanie obrabotki v NX CAM / P.A. Vedmid, A.V. Sulinov // M.: DMK Press. - 2014. - 304 s..
8. Nezhebovskiy V. V. Tehnologichne zabezpechennya yakosti obrobki zubchastih kolls privodiv shahtnih konveeriv na operatsiyah zuboshlifuvannya : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk za spetsial-

nIstyu 05.02.08 "Tehnologiya mashinobuduvannya". – Odesa : ON-PU, 2011. – 21 s.

Поступила (received) 05.06.2020

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Скоркін Антон Олегович (Скоркин Антон Олегович, Skorkin Anton Olegovich)** – канд. техн. наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), м.Харків, E-mail: Andromeda862@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3032-8341>;

**Кондратюк Олег Леонідович (Кондратюк Олег Леонидович, Kondratiuk Oleh Leonidovich)** – канд. техн. наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), м. Харків, E-mail: kondr20071@i.ua, ORCID: <http://orcid.org/> ORCID:0000-0002-3263-0483;

**Старченко Олена Павлівна (Старченко Елена Павловна, Starchenko Olena Pavlovna)** – заступник директора з навчальної роботи, Харківський радіотехнічний коледж, м. Харків, E-mail: Estarchenko79@gmail.com, <http://orcid.org/> ORCID: 0000-0002-7444-6668;

**Камчатна-Степанова Катерина Валеріївна (Камчатная-Степанова Екатерина Валерьевна, Kamchatna-Stepanova Kateryna Valerevna)** – інженер 1 категорії науково-дослідної частини Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; тел.: +38-067-733-4000; E-mail: katerina.ks@i.ua, ORCID: 0000-0001-7825-1238.