**Тришин П.Р.**

доктор філософії, доцент

Козлова О.Б.

к.т.н., доцент

**Національний
університет «Запорізька
політехніка»****Tryshyn P.**

Ph.D., Associate Professor

Kozlova O.

Ph.D., Associate Professor

**National University
“Zaporizhzhia Polytechnic”****УДК 621.941.08****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-3**

РІЗЕЦЬ-ОСЦИЛЯТОР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКОЛИВАНЬ ПРИ ТОЧІННІ, ЯКИЙ ВИКЛЮЧАЄ РЕГЕНЕРАТИВНИЙ ЕФЕКТ

Для дослідження вібрацій під час точіння використовуються динамометри, які є важливими інструментами для вимірювання сили різання – одного з основних параметрів, що характеризує стан процесу різання. Сила різання демонструє високу чутливість до вібрацій і є важливим індикатором для оцінки поведінки системи в порівнянні з іншими методами, такими як акустична емісія. Однак датчики сили мають деякі обмеження: вони часто є громіздкими і мають обмежений робочий діапазон. Динамометри працюють на принципі статичної рівноваги між силою різання та силою пружності самого пристрою, що дозволяє точно вимірювати сили в процесі різання. Однак це також означає, що сили пружності, тертя та інерції, що виникають в самому динамометрі, можуть впливати на точність вимірювань. Метою роботи було проведення теоретичного аналізу і пропонування конструкції різця-осцилятора з одним ступенем свободи. Напрямок результуючого переміщення різальної кромки цього осцилятора співпадає з напрямком швидкості різання (вісь Z), що дозволяє вивчити умови збудження, розвитку та пригнічення автоколивань в умовах, де відсутній регенеративний ефект і координатний зв'язок. Різець-осцилятор дозволяє більш детально досліджувати механізми збудження коливань у процесі різання та їх взаємодію з іншими параметрами. Для проведення експериментів було розроблено спеціальну конструкцію пристрою для кріплення різця-осцилятора на верстаті, який дозволяє прикріпити додаткову масу та змінювати довжину вільоту. Це дало змогу регулювати жорсткість системи, інерційність та власну частоту коливання, що є важливим для точного налаштування процесу точіння. Крім того, було створено експериментально-вимірювальний стенд, який дозволяє записувати осцилограми коливального руху різальної кромки різця-осцилятора. Це дало можливість вивчити різні типи коливань, такі як вільні, вільні супроводжуючі, вимушені та автоколивання, що виникають при зміні умов різання – від безперервних до переривчастих і нестационарних.

Ключові слова: точіння, автоколивання, різець-осцилятор, ступінь свободи, осцилограма.

Вступ. Питання автоколивань (АК) при точінні вивчається вченими протягом багатьох десятиліть, оскільки вони суттєво впливають на якість обробленої поверхні, продуктивність процесу, а також скорочують термін служби інструменту та обладнання [1]. Науковці провели масштабні дослідження у сфері прогнозування, виявлення та пригнічення вібрацій [2, 3]. Значний внесок у

вивчення цього питання зробили роботи Tobias S., Tlustý J., Altintas Y. та інших дослідників [4, 5, 6].

Для дослідження вібрацій при механічній обробці застосовують аналітичні та експериментальні методи. Аналітичні методи [7] ґрунтуються на розв'язанні диференціальних рівнянь коливального руху осцилятора (деталі або інструменту), проте вони все одно потребують



експериментальної перевірки. Експериментальні методи базуються на використанні різних пристроїв, на основі осциляторів з датчиками, які дозволяють записувати закон коливального руху у вигляді осцилограм.

Якості осциляторів автоколивальної системи при точінні можуть виступати заготовка [8, 9] або інструмент [10, 11]. На відміну від заготовки-осцилятора, яка завжди має мінімум дві ступені свободи, для різця-осцилятора можливо конструктивно знизити кількість ступенів свободи до одного, щоб зменшити кількість джерел збудження АК.

До основних джерел збудження автоколивань при точінні відносять [12]: регенерацію хвилястої поверхні різання (регенеративний ефект) [13] та координатний зв'язок (mode coupling) [14]. Але до теперішнього часу досконало не дослідженні АК в умовах, при яких одночасно відсутня хвиля на поверхні різання та координатний зв'язок. Тому розробка конструкцій різців-осциляторів для дослідження цих умов є актуальною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій. Для дослідження вібрацій під час точіння використовуються динамометри [15]. Сила різання є одним з ключових параметрів, які характеризує стан процесу різання для різних видів обробки та має добру чутливість до вібрацій у порівнянні, наприклад, з акустичною емісією. Водночас датчики сили зазвичай є досить громіздкими, а їхній робочий діапазон має певні обмеження. Динамометри працюють за принципом статичної рівноваги між силою різання та силою пружності самого пристрою. Таким чином, сили пружності, тертя та інерції відображають не лише об'єкт дослідження, а й характеристики пружної системи самого динамометра.

Вимірювальні пристрої, що базуються на контролі акустичної емісії, також широко застосовуються для дослідження вібрацій під час токарної обробки [16, 17]. Однак ефективність таких пристроїв залежить від багатьох факторів, зокрема від місця встановлення датчика, режиму роботи та інших умов. Вони також дуже чутливі до шуму навколишнього середовища, що ускладнює виділення корисного сигналу.

Застосування різців-осциляторів, як вимірювальних пристроїв, забезпечує ефективний підхід для дослідження динаміки процесу різання. Більшість таких пристроїв являють собою системи, що склалися з пружних елементів із кінцевими деформаціями, які реагують на зовнішні сили. Перевагою таких пристроїв є їхня низька жорсткість, що дозволяє вивчати умови виникнення, розвитку та пригнічення АК. Для реєстрації відхилення різця-осцилятора застосовують датчики переміщення [8] або акселерометри [18, 19].

В дослідженнях АК [18, 19, 20] представлена конструкція класичного різця з

трьома ступенями свободи, який є осцилятором в коливальній системі. У роботі [21] наведена конструкція різця-осцилятора з двома ступенями свободи, яка призначена для вивчення демпфувальних ефектів у процесі внутрішнього точіння. У роботах [10, 11, 22] представлена конструкція різця-осцилятора з однією ступенню свободи для дослідження регенеративних АК. Так як регенеративні АК вважаються найбільш небезпечними, тому дослідники ігнорують дослідження в умовах коли вони відсутні.

Більшість дослідників не приділяють достатньої уваги конструкції різців-осциляторів, а саме кількості ступенів свободи. Від кількості ступенів свободи залежить вид траєкторії руху різальної кромки при колюваннях, кількість джерел, які беруть участь у збудженні АК. Так, наприклад, якщо різець має лише одну ступінь свободи, механізм координатного зв'язку буде виключений з джерел збудження АК [10]. Крім цього, якщо також штучно виключити можливість різця-осцилятора колюватися у напрямку зміни товщини різку, тобто виключити можливість утворення хвилі на поверхні різання, тоді буде виключений вплив на збудження АК регенеративного ефекту. Умови відсутності як координатного зв'язку так і регенеративного ефекту забезпечуються коли різець-осцилятор конструктивно має один ступінь свободи в напрямку вісі Z , в напрямку швидкості різання. У цьому випадку, коли різець-осцилятор рухається вгору, його швидкість буде додаватися до швидкості різання і реальна швидкість різання буде збільшуватися. А при русі різця-осцилятора вниз навпаки – реальна швидкість різання буде зменшуватися. При точінні різцем-осцилятором з одним ступенем свободи в напрямку вісі Z буде завжди спостерігатися колювання реальної швидкості різання, що може збуджувати АК. Тому, колювання реальної швидкості різання здійснюватимуться з частотою близькою до власної частоти колювань різця-осцилятора, тобто процес точіння відбудуватиметься в умовах близьких до резонансних.

Метою даної роботи була розробка конструкції різця-осцилятора з одним ступенем свободи, в якому напрямок результуючого переміщення (НРП) різальної кромки збігається з напрямком швидкості різання (віссю Z) для вивчення збудження АК в умовах відсутності регенеративного ефекту.

Методика досліджень. Для дослідження вібрацій при токарній обробці найзручнішою схемою є поздовжнє точіння в умовах ортогонального різання (рис. 1). Схема досліджень при поперечному точінні призводить до зменшення як швидкості різання, так і довжини поверхні різання на кожному наступному оберті. Це неприпустимо, оскільки швидкість різання є визначальним чинником, що впливає на збудження АК [23].

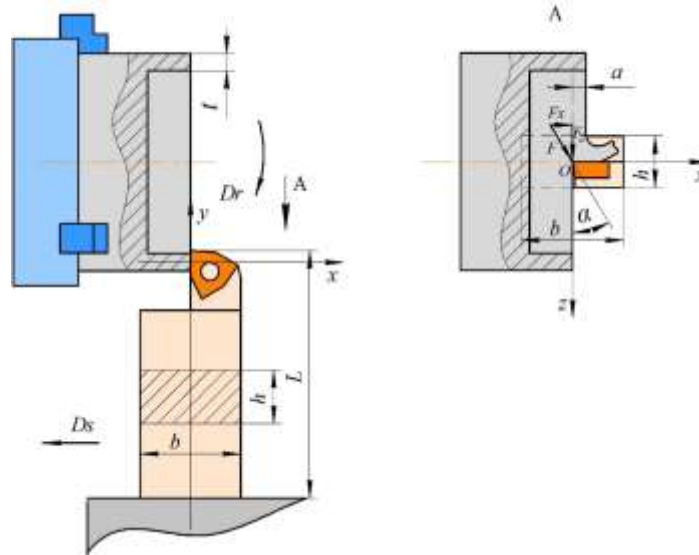
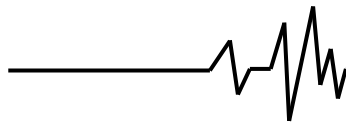


Рис. 1. Схема поздовжнього точіння в умовах ортогонального різання

Визначення форми та розмірів різця-осцилятора для дослідження АК при точінні. При поздовжньому точінні в умовах ортогонального різання різальна кромка звичайного прохідного упорного різця має три ступеня свободи під дією сили F . Сила F спрямована під кутом $\alpha \approx 30^\circ$ до вісі Z . Різальна

кромка при різанні буде відчувати відхилення v по вертикальній овесі Z від сили F_z , відхилення u по горизонтальній овесі X від сили F_x , поворот на кут ψ від дії моменту $M = F \cdot r$ (рис. 2, а). При одночасних коливальних рухах в трьох напрямках різальна кромка описує в просторі складну траєкторію.

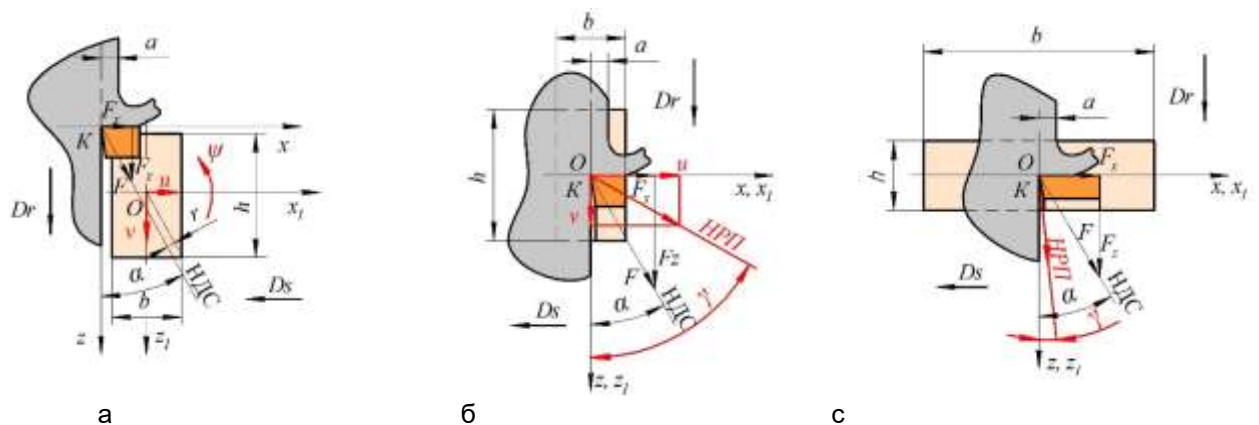


Рис. 2. Схеми конструкцій різців-осциляторів: а – з трьома ступенями свободи, б – з двома ступенями свободи, в – з одним ступенем свободи вздовж овесі Z

Але якщо різальну кромку K розмістити в центрі (точка O) поперечного перерізу державки різця, то напрям дії сили (ПДС) різання F проходить через точку O , це усунить поворот від моменту M і її рух матиме два ступені свободи (рис. 2, б). У загальному випадку різець є консольно закріпленим в різцетримачі прямокутним стрижнем (державкою) з розмірами перерізу $h \times b$ та довжиною L . У цьому випадку стрижень, маючи два ступені свободи, під дією сили різання здійснює «косий» вигин.

Відомо, що при «косому» вигині стрижня прямокутного перерізу НРП не збігається з НДС різання (рис. 2, б).

Вигини стрижня при «косому» вигині у напрямку осей X і Z розраховують згідно формул:

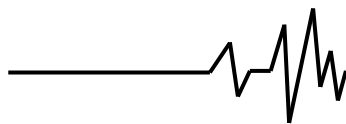
$$u = \frac{F_x L^3}{3EI_z} \quad (1)$$

$$v = \frac{F_z L^3}{3EI_x} \quad (2)$$

де E – модуль пружності матеріалу стрижня (державки).

I_x та I_z – моменти інерції перерізу стрижня по осях X та Z .

$$I_x = \frac{bh^3}{12} \quad (3)$$



$$I_z = \frac{b^3 h}{12} \quad (4)$$

де b – товщина державки;
 h – висота державки.

Сумарний вигин стрижня при «косому» вигині дорівнює:

$$f = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

НРП центру перерізу (точки O) визначається величиною кута γ до вертикальної осі Z :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{u}{v} = \frac{F_x I_x}{F_z I_z} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{I_x}{I_z} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad (6)$$

$$\gamma = \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 \right) \quad (7)$$

Використовуючи рівняння (7), було визначено як співвідношення розмірів сторін прямокутного перерізу державки різця h/b впливає на НРП центру перерізу (точки O), в якому розташована різальна кромка. У таблиці 1 наведено результати розрахунку кута γ для різних відношень висоти до ширини державки різця.

Таблиця 1

Результати розрахунків кута γ

Параметр	Значення					
h/b	1	0,5	0,33	0,25	0,2	0,1
$(h/b)^2$	1	0,25	0,11	0,063	0,04	0,01
γ , град	30°	8,2°	3,6°	2,1°	1,3°	0,33°

З таблиці 1 видно, що із зменшенням співвідношення $h/b < 1$ кут γ зменшується та наближається до значення $\gamma = 0^\circ$. Це означає, що, наприклад, якщо державка різця-осцилятора матиме співвідношення розмірів $h/b < 0,33$, то при дії сили різання F під кутом $\alpha = 30^\circ$, різальна кромка переміщатиметься в напрямку зміни реальної швидкості різання (вісі Z), відхиляючись від вісі Z менше ніж на $3,6^\circ$ (рис. 2, в).

Опис конструкції різця-осцилятора та пристрою для його кріплення на верстаті.

Конструкція різця-осцилятора представлена на рис. 3. Він складається з голівки та державки. На голівці закріплена різальна пластинка і є місце для кріплення додаткової маси. Різальна пластинка встановлюється таким чином, щоб її різальна кромка лежала на поздовжній осі Y , що проходить через центр симетрії поперечного перерізу різця-осцилятора. Ця умова унеможливує поворот державки різця під дією сили різання F . Державка є стрижнем прямокутного перерізу з розмірами ($h \times b = 8 \text{ мм} \times 30 \text{ мм}$), тобто $h/b = 8/30 = 0,27$. Таким чином, при дії сили різання F під кутом $\alpha = 30^\circ$ різальна кромка має НРП, що практично збігається з віссю Z ($\gamma = 2,3^\circ$). Таке практично незначне відхилення дозволяє вважати, що різець-осцилятор здійснює коливальний рух у напрямку реальної швидкості різання і має лише один ступінь свободи.

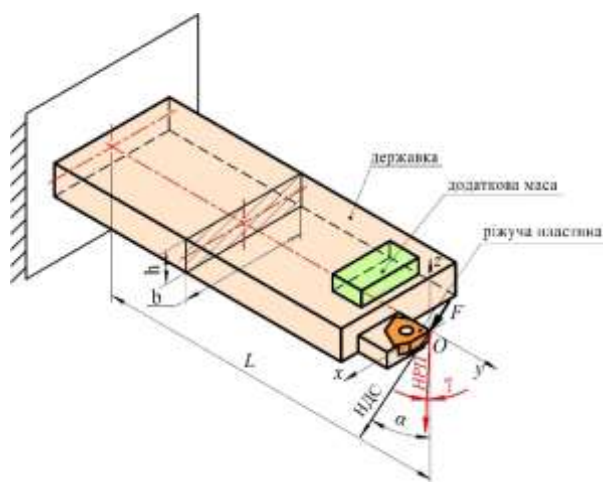


Рис. 3. Конструкція різця-осцилятора з одним ступенем свободи в напрямку вісі Z

Пристрій (рис. 4) для кріплення різця-осцилятора 2 на токарному верстаті має корпус 1, який встановлюється у різцетримачі. Різець-осцилятор 2, розташований між двома напрямними 3. Кришка 4 затискає державку різця-осцилятора між напрямними 3 за допомогою гвинтів 6. Для регулювання вильоту від 80 мм до 120 мм різця-осцилятора 2 напрямні 3 можуть переміщатися по осі Y перед затисканням, таким чином можливо змінювати жорсткість. Для зміни інерційності різця-осцилятора можливо прикріплення додаткової маси m_d до головки від 0 г до 300 г. Зміна жорсткості і маси різця-осцилятора дозволяє змінювати власну частоту коливальних f_n у широкому діапазоні. На голівці різця-осцилятора 2 встановлена різальна пластинка 5. На кришці 4 пристрою встановлений індуктивний датчик переміщень 7, за допомогою якого визначають вертикальні коливання різця-осцилятора в процесі різання.

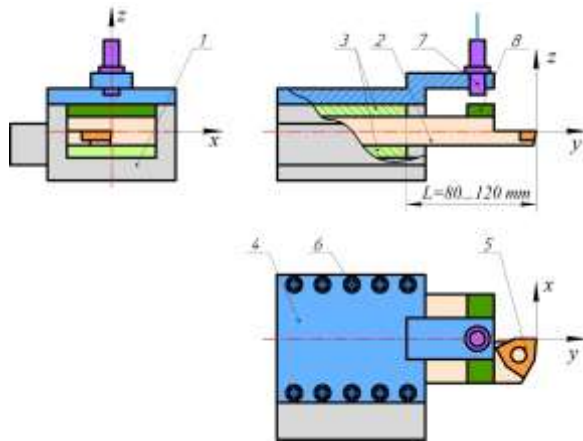
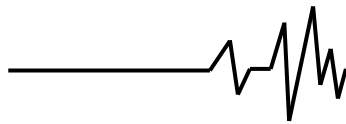


Рис. 4. Пристрій для встановлення різця-осцилятора на токарному верстаті

3.3 Опис експериментально-вимірювального стенду. На рис. 5 зображено процес дослідження АК при точінні в умовах, які виключають регенеративний ефект. Експериментально-вимірювальний стенд включає пристрій, в якому закріплений різець-осцилятор. Даний пристрій встановлюється в різцетримач токарного верстата моделі Zenitech WL 320. Для дослідження використовували жорсткі заготовки (відношення довжини до діаметру $L/D=1...1,5$).



Рис. 5. Дослідження АК різцем-осцилятором з однією степеню свободи в напрямку вісі Z

Для реєстрації в реальному часі коливань по вісі Z використовують датчики переміщень мод. Schneider Electric XS4-P12AB110 з точністю збору даних 0,02 мс. Сигнал з датчику надходить до аналогово-цифрового перетворювача мод. LCard E14-140, що дозволяє перетворювати аналоговий сигнал на цифрову форму. Збереження даних на персональному комп'ютері у вигляді осцилограм здійснюється за допомогою програми LGraf2. Постобробка записаних осцилограм (рис. 6) здійснюється за допомогою програми PowerGraph Demo та NX.

Експериментально-вимірювальний стенд дозволяє оцінювати вплив різних умов поздовжнього точіння на наступні характеристики закону руху різальної кромки різця-осцилятора (рис. 6):

- 1) Статичне відхилення різця-осцилятора у процесі різання B_x .
- 2) Амплітуда коливань різця-осцилятора A_x – відхилення від B_x .
- 3) Частота (період) коливань f_{AK} (T) різця-осцилятора.
- 4) Коефіцієнт демпфування ξ при врізанні та холостому ході.
- 5) Фазовий зсув ϵ хвиль на поверхнях різання на сусідніх обертах деталі.
- 6) Число хвиль N на поверхні різання.
- 7) Довжина хвиль λ на поверхні різання.

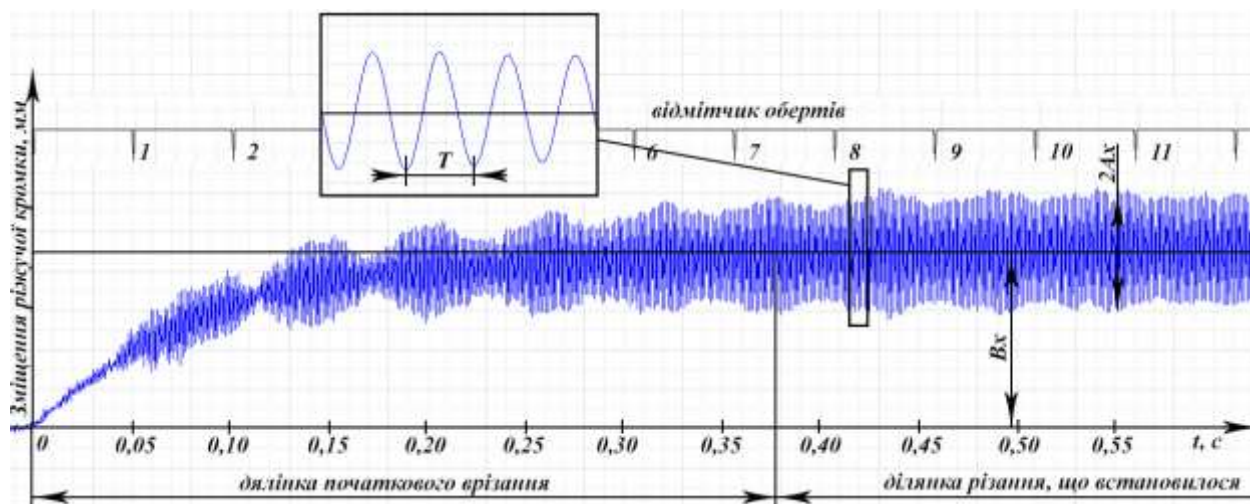
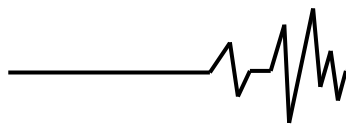


Рис. 9 Приклад осцилограми коливань різця-осцилятора при безперервному поздовжньому точінні сталі 45 ($v = 200$ м/хв, $S = 0,2$ мм/об, $t = 1$ мм)

Висновки. У ході роботи проведено теоретичний аналіз та запропоновано конструкцію різця-осцилятора з одним ступенем свободи, напрямком результуючого переміщення різальної кромки якого співпадає з напрямком швидкості різання (вісь Z). Різець-осцилятор дозволяє дослідити умови збудження, розвитку та згасання АК в умовах відсутності регенеративного ефекту та координатного зв'язку.

Розроблено конструкцію пристрою для кріплення різця-осцилятора на верстаті з можливістю прикріплення додаткової маси та зміни довжини вільоту, що дає змогу регулювати жорсткість, інерційність, власну частоту коливання.

Представлено конструкцію експериментально-вимірювального стенду, який дозволяє записувати закон коливального руху різальної кромки різця-осцилятора у вигляді осцилограм. Які дозволяють вивчати різні типи коливань (вільні, вільні супроводжуючі, вимушені та автоколивання), які збуджуються при зміні умов різання, від безперервних до переривчастих і нестационарних.

Список використаних джерел

1. Sun H., Jin H., Zhuo Y., Ding Y., Guo Z., & Han Z. Investigation on a chatter detection method based on meta learning for machining multiple types of workpieces. *Journal of Manufacturing Processes*. 2024. Vol 131. P. 1815-

1832.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.09.091>.

2. Matthew D. E., Cao H., & Shi J. Advancing chatter detection: Harnessing the strength of wavelet synchrosqueezing transform and Hilbert-Huang transform techniques. *Journal of Manufacturing Processes*. 2024. Vol. 127. P. 613-630.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.07.092>.

3. Sun L., Huang X., Zhao J., Jiang Z., & Jiang F. Intelligent chatter detection in high-speed milling using successive variational mode decomposition and a multi-channel feature fusion network. *Computers in Industry*. 2025. Vol. 167. P. 104266.

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2025.104266>.

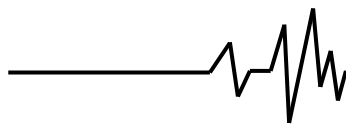
4. Tobias S. A., Fishwick W.A. The Chatter of Lathe Tools Under Orthogonal Cutting Conditions. *Trans. of ASME*. 1958. Vol. 80. P. 1079–1088.

5. Tlustý, M. Self-oscillations in metal-cutting machines: translated from Czech. 1956. 395 p.

6. Altintas Y., Stepan G., Budak E., Schmitz T., Kilic J. Z. Chatter Stability of Machining Operations. *Manuf. Sci. Eng.* 2020. Vol. 142(11). P. 110801. <https://doi.org/10.1115/1.4047391>.

7. Castorena-Minor H. D., Saldivar B., & Bueno C. Critical depth of cut in turning processes: Time and frequency domain approaches. *IFAC-PapersOnLine*. 2024. Vol. 58(27). P. 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.10.315>.

8. Yutaka N., Tsubasa K., Hiroki T. Experimental Study on Application of Tuned Mass Dampers for Chatter in Turning of a Thin-Walled



Cylinder. *Appl. Sci.* 2021. Vol. 11(24). P. 12070. <https://doi.org/10.3390/app112412070>.

9. Stepan G., Beri, B., Miklos A., Wohlfart R., Bachrathy D., Porempovics G., Toth A., Takacs D. On stability of emulated turning processes in HIL environment. *CIRP Annals*. 2019. Vol. 68 (1), P. 405-408. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.035>

10. Vnukov Y., Tryshyn P., Kozlova O., Dyadya S. Cutter-Oscillator with Single-Degree-of-Freedom for the Study of Cutting Vibrations. *Strojnícky časopis-Journal of Mechanical Engineering*. 2024. Vol. 74(1). P. 169-180. <https://doi.org/10.2478/scjme-2024-0017>.

11. Taylor C. M., Turner S., & Sims N. D. Chatter, process damping, and chip segmentation in turning: A signal processing approach. *Journal of Sound and Vibration*. 2010. Vol. 329(23). P. 4922-4935.

<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2010.05.025>.

12. Tlustý G., Manufacturing Equipment and Processes. NJ: Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2000. 928 p.

13. Han G., Ma H., Liu Y., Liu Z., & Song Q. Model-free finite frequency H^∞ control for active chatter suppression in turning. *Journal of Sound and Vibration*. 2024. Vol. 577. P. 118342. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2024.118342>.

14. Wu J., Tang X., Peng F., Yan R., & Xin S. A novel mode coupling mechanism for predicting low-frequency chatter in robotic milling by providing a vibration feedback perspective. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2024. Vol. 216. P. 111424. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2024.111424>.

15. Emami M., Karimipour A. Theoretical and experimental study of the chatter vibration in wet and MQL machining conditions in turning process. *Precision Engineering*. 2021. Vol. 72. P. 41-58.

<https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2021.04.006>.

16. Shrivastava Y., Singh B. A comparative study of EMD and EEMD approaches for identifying chatter frequency in CNC turning. *European Journal of Mechanics*. 2019. Vol. 73. P. 381-393 <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2018.10.004>.

17. Pedro J. Papandrea, Edielson P. Frigieri, Paulo Roberto Maia, Lucas G. Oliveira, Anderson P. Surface roughness diagnosis in hard turning using acoustic signals and support vector machine: A PCA-based approach. *Paiva Applied*

Acoustics. 2020. Vol. 159. P. 107102. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107102>.

18. Nam S., Hayasaka T., Jung H., Shamoto E. Proposal of novel chatter stability indices of spindle speed variation based on its chatter growth characteristics. *Precision Engineering*. 2020. Vol. 62. P. 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.11.018>.

19. Fallah M., Moetakef-Imani B. Adaptive inverse control of chatter vibrations in internal turning operations. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 129. P. 91-111. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.04.007>.

20. Brand Z., Cole. M. O., Razoronov. N. An active tool holder and robust LPV control design for practical vibration suppression in internal turning. *Control Engineering Practice*. 2025. Vol. 156, P. 106215. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2024.106215>.

21. Yuvaraju J. Srinivas B.K. Nanda B.A.G. Nonlinear dynamics of friction-induced regenerative chatter in internal turning with process damping forces *Journal of Sound and Vibration*. 2022. Vol. 544. P. 17386. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117386>.

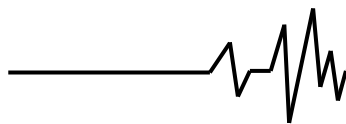
22. Ma H., Wu J., Xiong Z. Active chatter control in turning processes with input constraint. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020. Vol. 108(11-12). P. 3737–3751. doi:10.1007/s00170-020-05475-8.

23. Vnukov Y., Tryshyn P., Kozlova O., Dyadya S. Experimental research on regenerative self-oscillations during turning. In *Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes*. Cham: Springer Nature Switzerland. 2025. P. 358-372. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_32.

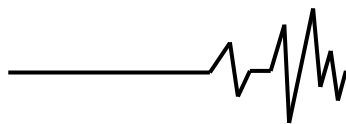
References

1. Sun, H., Jin, H., Zhuo, Y., Ding, Y., Guo, Z., Han, Z. (2024). Investigation on a chatter detection method based on meta learning for machining multiple types of workpieces. *Journal of Manufacturing Processes*, 131. 1815-1832. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.09.091>.

2. Matthew, D. E., Cao, H., Shi, J. (2024). Advancing chatter detection: Harnessing the strength of wavelet synchrosqueezing transform and Hilbert-Huang transform techniques. *Journal of Manufacturing Processes*. 127. 613-630. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.07.092>.



3. Sun, L., Huang, X., Zhao, J., Jiang, Z., Jiang, F. (2025). Intelligent chatter detection in high-speed milling using successive variational mode decomposition and a multi-channel feature fusion network. *Computers in Industry*, 167. 104266. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2025.104266>.
4. Tobias, S. A., Fishwick, W.A. 1958. The Chatter of Lathe Tools Under Orthogonal Cutting Conditions. *Trans. of ASME*, 80. 1079–1088.
5. Tlustý, M. (1956). Self-oscillations in metal-cutting machines: translated from Czech. Moscow: Mashgiz, 395 p.
6. Altintas, Y., Stepan, G., Budak, E., Schmitz, T., Kilic, J. Z. (2020). Chatter Stability of Machining Operations. *Manuf. Sci. Eng.*, 142(11). 110801. <https://doi.org/10.1115/1.4047391>.
7. Castorena-Minor, H. D., Saldivar, B., Bueno, C. (2024). Critical depth of cut in turning processes: Time and frequency domain approaches. *IFAC-PapersOnLine*, 58(27). 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.10.315>.
8. Yutaka, N., Tsubasa, K., Hiroki, T. (2021). Experimental Study on Application of Tuned Mass Dampers for Chatter in Turning of a Thin-Walled Cylinder. *Appl. Sci.*, 11(24). 12070. <https://doi.org/10.3390/app112412070>.
9. Stepan, G., Beri, B., Miklos, A., Wohlfart, R., Bachrathy, D., Porempovics, G., Toth, A., Takacs, D. (2019). On stability of emulated turning processes in HIL environment. *CIRP Annals*, 68 (1), 405-408. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.035>.
10. Vnukov, Y., Tryshyn, P., Kozlova, O., Dyadya, S. (2024). Cutter-Oscillator with Single-Degree-of-Freedom for the Study of Cutting Vibrations. *Strojnícky časopis-Journal of Mechanical Engineering*, 74(1). 169-180. <https://doi.org/10.2478/scjme-2024-0017>.
11. Taylor, C. M., Turner, S., Sims, N. D. (2010). Chatter, process damping, and chip segmentation in turning: A signal processing approach. *Journal of Sound and Vibration*, 329(23). 4922-4935. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2010.05.025>.
12. Tlustý, G. (2000). *Manufacturing Equipment and Processes*. NJ: Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2000. 928 p.
13. Han, G., Ma, H., Liu, Y., Liu, Z., Song, Q. (2024). Model-free finite frequency H^∞ control for active chatter suppression in turning. *Journal of Sound and Vibration*, 577. 118342. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2024.118342>.
14. Wu, J., Tang, X., Peng, F., Yan, R., Xin, S. (2024). A novel mode coupling mechanism for predicting low-frequency chatter in robotic milling by providing a vibration feedback perspective. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 216. 111424. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2024.111424>.
15. Emami, M., Karimipour, A. (2021). Theoretical and experimental study of the chatter vibration in wet and MQL machining conditions in turning process *Precision Engineering*, 72. 41-58. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2021.04.006>.
16. Shrivastava, Y., Singh, B. (2019). A comparative study of EMD and EEMD approaches for identifying chatter frequency in CNC turning. *European Journal of Mechanics*, 73. 381-393. <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2018.10.004>.
17. Pedro, J. Papandrea, Edielson, P. Frigieri, Paulo Roberto Maia, Lucas, G. Oliveira, Anderson, P. (2020). Surface roughness diagnosis in hard turning using acoustic signals and support vector machine: A PCA-based approach. *Paiva Applied Acoustics*, 159. 107102. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107102>.
18. Nam, S., Hayasaka, T., Jung, H., Shamoto, E. (2020). Proposal of novel chatter stability indices of spindle speed variation based on its chatter growth characteristics. *Precision Engineering*, 62. 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2019.11.018>.
19. Fallah, M., Moetakef-Imani, B. (2019). Adaptive inverse control of chatter vibrations in internal turning operations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 129. 91-111. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.04.007>.
20. Brand, Z., Cole, M. O., Razoronov, N. (2025). An active tool holder and robust LPV control design for practical vibration suppression in internal turning. *Control Engineering Practice*, 156, 106215. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2024.106215>.
21. Yuvaraju, J. Srinivas, B.K. Nanda, B.A.G. (2022). Nonlinear dynamics of friction-induced regenerative chatter in internal turning with process damping forces *Journal of Sound and Vibration*, 544. 17386. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117386>.
22. Ma, H., Wu, J., Xiong, Z. (2020). Active chatter control in turning processes with input constraint. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108(11-12), 3737–3751. doi:10.1007/s00170-020-05475-8.



23. Vnukov, Y., Tryshyn, P., Kozlova, O., Dyadya, S. (2025). Experimental research on regenerative self-oscillations during turning. In Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes. Cham: Springer Nature Switzerland, P. 358-372. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_32.

CUTTER-OSCILLATOR FOR THE STUDY OF SELF- OSCILLATIONS IN TURNING THAT EXCLUDES THE REGENERATIVE EFFECT

To study vibrations during turning, dynamometers are used, which are important tools for measuring cutting force - one of the main parameters characterizing the state of the cutting process. Cutting force demonstrates high sensitivity to vibrations and is an important indicator for assessing system behavior compared to other methods, such as acoustic emission. However, force sensors have some limitations: they are often bulky and have a limited operating range. Dynamometers operate on the principle of static equilibrium between cutting force and the elastic force of the device itself, which allows for accurate measurement of forces during the cutting process. However, this also means that elastic, frictional and inertial forces arising in the dynamometer itself can affect the accuracy of measurements. The aim of the work was to

conduct a theoretical analysis and propose a design for a cutter-oscillator with one degree of freedom. The direction of the resulting movement of the cutting edge of this oscillator coincides with the direction of the cutting speed (Z axis), which allows us to study the conditions of excitation, development and suppression of self-oscillations in conditions where there is no regenerative effect and coordinate connection. The cutter-oscillator allows us to study in more detail the mechanisms of excitation of oscillations in the cutting process and their interaction with other parameters. For the experiments, a special design of a device for mounting the cutter-oscillator on a machine tool was developed, which allows us to attach an additional mass and change the length of the flight. This made it possible to adjust the rigidity of the system, inertia and natural frequency of oscillation, which is important for fine-tuning the turning process. In addition, an experimental and measuring stand was created that allows us to record oscillograms of the oscillatory motion of the cutting edge of the cutter-oscillator. This made it possible to study different types of oscillations, such as free, free accompanying, forced and self-oscillations, which arise when cutting conditions change - from continuous to intermittent and non-stationary.

Keywords: turning, self-oscillations, cutter-oscillator, degree of freedom, oscillogram.

Відомості про авторів

Тришин Павло Романович – д-р філ., доцент кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» (69000, вул. Жуковського, 64 м. Запоріжжя, Україна, e-mail: trishin@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3301-5124

Козлова Олена Борисівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» (69000, вул. Жуковського, 64 м. Запоріжжя, Україна, e-mail: kozlova@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3478-5913.

Tryshyn Pavlo – Ph. D., Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia (69000, 64 Zhukovsky St., Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: trishin@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3301-5124

Kozlova Olena – Ph. D., Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", (69000, 64 Zhukovsky St., Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: kozlova@zp.edu.ua), ORCID 0000-0002-3478-5913.