



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект Дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей з алюмінію та чавуну при зустрічному фрезеруванні за допомогою базових фрагментів осцилограми

(вказати тему дипломного проекту (роботи))

Студент Блід Костянтин Георгійович

Спеціальність «131 Прикладна механіка», група М-113м

Обсяг проекту повний

Кількість аркушів креслень

Кількість сторінок пояснювальної записки 73 стор.

а) короткий зміст проекту та прийнятих рішень

Розглянуті закономірності коливань тонкостінних деталей з алюмінію та чавуну

б) висновок про відповідність проекту завданню

Робота відповідає завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту, рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Проаналізовані літературні джерела . Визначенні методики досліджень. Проведений аналіз досліджень. Розглянуті питання охорони праці.

г) негативні особливості виконання проекту

не виявлені

д) позитивні особливості Обгунтований взаємозв'язок між показниками БФО коливань ТЕД профілем обробленої поверхні

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту

Пояснювальна записка оформлена у відповідності до нормативних документів

є) відгук про роботу загалом Загалом робота виконана в повному
обсязі, відповідає завданню.

ж) інші зауваження Немає посилань на тези конференції

з) оцінка проекту в цілому робота заслуговує оцінки "відмінно"

Рецензію склав доц. коф. ТМБ Кононов В.В.

(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові) *(підпис)*

«06» _____ 12 _____ 2018 р.

[14:18:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №732 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:18:55] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №747 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:19:07] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №742 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:19:40] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №752 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:19:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №757 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:20:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №762 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:20:22] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №767 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:20:37] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №772 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:22:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №737 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:27:32] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №782 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:27:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №787 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:28:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №777 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:28:23] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №792 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:28:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №797 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:32:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №802 [4] (200054 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[14:32:13] Тип проверки: *Стандартная*

[14:32:13] **Уникальность текста 76%** © (Проигнорировано подстановок: 0%)

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Блід К.Г., провів
зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.



05.12.2018р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут,
 факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Другий (магістерський)
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
(код і назва)
 Напрямок підготовки _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ТМБ

 доц. Дядя С. І.
 “06” 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Блід Костянтин Георгійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей з алюмінію та чавуну при зустрічному фрезеруванні за допомогою базових фрагментів осцилограми

керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент Дядя Сергій Іванович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” листопада 2018 року № 366

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 30. 11. 2018

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідити за 14 параметрами визначених за БФО, що характеризують коливальний рух алюмінію та чавуну при зустрічному фрезеруванні

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Зміст записки містить: огляд літературних джерел, методичне забезпечення проведення досліджень, аналіз експериментальних досліджень, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Теоретичний огляд проблеми	к.т.н., доцент Дядя Сергій Іванович	01.09.18	01.12.18
Методика досліджень	к.т.н., доцент Дядя Сергій Іванович	01.09.18	01.12.18
Результати досліджень	к.т.н., доцент Дядя Сергій Іванович	01.09.18	01.12.18
Охорона праці	к.т.н., доцент Шмирко Віра Іванівна	10.10.18	06.12.18
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Пухальська Гульнара Вікторівна		

7. Дата видачі завдання _____ 01.09.2018 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	05.10.18	
2.	Методичне забезпечення проведення досліджень	19.10.18	
3.	Аналіз експериментальних досліджень	15.11.18	
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	23.11.18	
5.	Нормоконтроль	05.12.18	
6.	Рецензія	06.12.18	
7.	Захист дипломного проекту	10.12.18	

Студент

(підпис)

К. Г. Блід

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

С. І. Дядя

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: стор. 73, табл.5, рис. 41, джерел 22, додаток. 2

Об'єкт дослідження – процес зустрічного фрезерування зразків з різних матеріалів в умовах дії автоколивань.

Метод дослідження – експериментально-аналітичний.

Мета роботи – дослідження закономірності коливань тонкостінних деталей з різних матеріалів при зустрічному фрезеруванні з автоколиваннями за допомогою БФО.

В ході виконання роботи був проведений огляд літературних джерел авторів, які досліджували проблеми, що виникають при обробці деталей в умовах виникнення автоколивань, причини виникнення автоколивань, самоорганізацію коливального руху при автоколиваннях. За розробленою методикою та за допомогою експериментального оснащення були отримані осцилограми коливань зразків при зустрічному кінцевому фрезеруванні. Для аналізу отриманих осцилограм була застосована методика з використанням 14 параметрів, що характеризують коливальний рух деталі. Визначено взаємозв'язок між профілем обробленої поверхні та деякими з цих параметрів. Виконано порівняння результатів вимірювання 14 параметрів для зразків з чавуну та алюмінію. Вони мають відмінності, які пов'язані з особливостями властивостей оброблюваних матеріалів.

ЗРАЗОК, АВТОКОЛИВАННЯ, СТЕНД, ДАТЧИК, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, ВЕРСТАТ, ХВИЛЯСТІСТЬ, ПРОФІЛЬ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	9
1.1 Автоколивальний процес при обробці деталей на металорізальних верстатах	9
1.2 Аналіз осцилограм, що описують коливання деталі при різанні.....	13
1.3 Висновки	16
2 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	18
2.1 Стенд для проведення досліджень вібрацій тонкостінного елемента деталі при кінцевому фрезеруванні	19
2.2 Електроконтактний пристрій, що визначає умови контакту інструмента з оброблюваною деталлю.....	21
2.3 Методика аналізу осцилограм	22
2.4 Пристрій для здійснення запису профілю обробленої поверхні.....	25
2.5 Умови проведення досліджень	26
2.6 Висновки	27
3 АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
3.1 Дослідження коливань при зустрічному фрезеруванні за БФО.....	28
3.2 Визначення взаємозв'язку між показниками БФО коливань ТЕД та профілем обробленої поверхні	38
3.3 Висновки	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	44
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	44
4.2 Заходи з забезпечення техніки безпеки	46
4.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	50

4.4 Заходи з пожежної безпеки	52
4.5 Захист населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини.....	54
4.6 Підвищення безпеки в галузі машинобудування за рахунок роботизації.....	60
4.7 Висновки	61
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64
ДОДАТОК А.....	67
Таблиця А1 – Параметри коливань деталі з алюмінію	67
Таблиця А2 – Параметри коливань деталі з чавуну	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТЕД	- тонкостінний елемент деталі
БФО	- базовий фрагмент осцилограми
ПС	- пружна система
ПЗ	- програмне забезпечення
ПК	- персональний комп'ютер
ЧПК	- числове програмне керування
АЦП	- аналогово-цифровий перетворювач
ППР	- положення пружної рівноваги
ВДТ	- відеодисплейні терміналами
ЕОМ	- електронно-обчислювальні машинам
КПО	- коефіцієнт природної освітленості
СДОР	- сильнодіючі отруйні речовини
ЦЗ	- цивільний захист
ЗІЗ	- засоби індивідуального захисту

ВСТУП

У більшості випадків в авіадвигунобудуванні та інших галузях промисловості використовують тонкостінні елементи деталей (ТЕД), які часто отримують шляхом кінцевого фрезерування на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Особливістю фрезерування ТЕД є поява під час обробки коливань (вібрацій), що погіршують її якість і точність, а також призводять до прискореного зносу інструменту і шпиндельного вузла. Крім цього доведено, що основною причиною збудження автоколивань є обробка по вібраційному сліду, залишеному на поверхні різання від попереднього проходу інструмента.

Для більш глибокого вивчення розвитку коливального руху деталі при кінцевому фрезеруванні деталі автором [1] пропонується розділити осцилограму на окремі базові фрагменти (БФО) і виконувати їх аналіз за 14 параметрами. Кожен параметр має кількісну характеристику у відповідності з розмірністю координатних осей (мм або с), в яких побудовані БФО. При цьому слід зазначити, що в літературних джерелах не наведено яким чином за цими 14 ознаками можна оцінювати вплив коливань на формування обробленої поверхні, що є актуальним.

Тому метою роботи є дослідження коливального руху зразків з різних матеріалів при зустрічному фрезеруванні з автоколиваннями за допомогою БФО.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз літературних джерел щодо дослідження формування якості обробленої поверхні при фрезеруванні.
2. Розробити методику проведення дослідження процесу різання при фрезеруванні.
3. Розробити методику дослідження осцилограм коливань деталі.
4. Дослідити взаємозв'язок між параметрами обробленої поверхні та 14 параметрами, що описують базові фрагменти осцилограм.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Автоколивальний процес при обробці деталей на металорізальних верстатах

Розкриття фізичних причин появи вібрацій в технологічній системі при різанні металів привернуло пильну увагу дослідників з самого початку розвитку науки про різання [2].

Слід зазначити, що хоча до теперішнього часу немає єдиної думки з питання виникнення і розвитку автоколивань при різанні, більшість наукових шкіл і вчених схильні вважати причинами обурення автоколивань елементів технологічної системи не одне, а кілька фізичних явищ, які можуть діяти одночасно або окремо один від одного а інколи домінує.

Автор [3] зазначив що автоколивальний процес – це такий процес, при якому змінна сила, що підтримує коливальний рух, створюється і управляється самим рухом і при припиненні цього руху зникає.

Процес в цілому є автоколивальним, якщо:

1. Відсутня зовнішня сила, яка не залежить від коливального процесу, що виникає при зрізанні хвиль, могла б розглядатися як зовнішня лише в тому випадку, коли попередній прохід проводився в одних умовах (наприклад, без застосування люнета), а розглянутий в інших (з люнетом). У таких випадках частоти коливань при першому і другому проходах було б істотно різні. Тут можна було б говорити про дію зовнішньої сили, що обурює на автоколивальну систему і розглядати всю складну сукупність явищ, що виникають в таких випадках .

В даному випадку хвилі на оброблювальній поверхні при попередніх обертах або проходах, виникають в умовах однієї і тієї ж системи, причому зберігається спадкоємність між умовами протікання процесу на попередньому і на наступному оберті (проході).

2. Періодична сила при першому оберті (проході) виникає в умовах обробки чистої поверхні, при чому частота коливань визначається властивостями системи.

Надалі цей рух, в якійсь мірі, відтворюється на всьому протязі процесу, при чому частота вібрацій пов'язана з частотою коливань, що виникли спочатку.

3. Амплітуда встановлених коливань залежить від властивостей системи та від режиму різання, тобто від тих же факторів, які визначають амплітуду коливань при точінні чистової поверхні.

4. Нарешті, в процесі не беруть участь будь-які зовнішні фактори, що володіють коливальними властивостями, що виникають в результаті дії деяких постійних, неперіодичних чинників, пов'язаних з процесом різання і з властивостями коливальної системи.

Причини виникнення автоколивань поділяються: на первинні та вторинні.

До первинних причин виникнення автоколивань відносять:

- «Падаючу» залежність коефіцієнта тертя по передній поверхні інструменту від швидкості переміщення по ній стружки [4]. В англійській літературі автоколивань, що виникають з цієї причини, часто називають «frictional chatter» [5]. Однак дослідженнями [6] було показано, що нелінійна залежність сили тертя стружки від швидкості різання не може бути причиною виникнення вібрацій при різанні, так як залежність сили різання від швидкості вельми інерційна.

- Відставання зміни сили різання від зміни товщини зрізаного шару [2].

- Наявністю координатного зв'язку переміщень інструменту з взаємно перпендикулярним осям координат, яка призводить до коливного руху інструменту по замкнутій еліпсоподібній траєкторії [7, 8, 9, 10].

- Зміна кінематичних кутів інструменту при коливаннях [11, 4, 7].

Деякі з дослідників розглядають одну з перерахованих вище причин як єдину причину виникнення вібрацій. Інші ж виділяють одну з причин як основну, а інші як другорядні.

Вторинні причини виникнення автоколивань пов'язані з їх повторним порушенням періодично змінною товщиною стружки, викликані хвилястістю, що залишилася на поверхні різання при попередньому проході інструменту. Коливання, викликані цією причиною, називають регенеративними автоколиваннями (в англійській літературі - «regenerative chatter» [12, 13]).

На автоколювання при різанні в деякій мірі впливає власна нестійкість процесу різання, періодичні зриви наростів, сколювання елементів стружки, схоплювання і налипання по задніх поверхнях інструменту та інші явища, що супроводжують процес різання. Всі ці явища, хоча і порушують загальну стійкість процесу різання, відбуваються з частотою, істотно відрізняються від частоти автоколювань. Частота сталих автоколювань завжди близька до власної частоти домінуючою коливальні системи або кілька разів її перевищує внаслідок навантаження системи при різанні і підвищує її шорсткість (а отже, і частоти). Тому зазначені фізичні явища, що супроводжують процес різання, не можуть служити фізичними причинами порушення і підтримки автоколювань.

Автоколювання, що виникають в процесі різання так само, як і вимушені колювання, що спеціально вводяться в зону різання, призводять до полегшення пластичної деформації, зменшення коефіцієнта тертя по передній і задній поверхні інструменту, поліпшенню відводу стружки, помітного зниження сили різання, як результат цього, до зменшення зношення інструменту і підвищення його стійкості.

З іншого боку, циклічне навантаження інструменту при збільшенні інтенсивності автоколювань, починаючи з певної межі, викликає втомлюючі руйнування ділянок матеріалу інструменту, що знаходиться в контакті з виробом і сходять стружкою. Тому після досягнення деякого рівня автоколювань стійкість інструменту починає різко знижуватися. Слід також враховувати, що при збільшенні амплітуд автоколювань істотно збільшується довжина шляху, пройдена інструментом по виробу, а отже, і знос інструменту по задніх і передніх поверхнях також збільшується.

Такий характер залежності стійкості інструменту від амплітуди автоколювань, очевидно, справедливий для всіх оброблюваних і інструментальних матеріалів, так як матеріал будь-якого лезового інструменту, як правило, міцніше матеріалу заготовки. Положення точки екстремуму, відповідне оптимуму стійкості, залежить від умов різання і характеристик оброблюваного та інструментального матеріалів.

Таким чином, при обробці корозійностійких, жаро-, високоміцних, титанових та інших сучасних конструкційних сталей і сплавів лезовий інструментом, оснащеним твердим сплавом, зона оптимальних за критерієм стійкості амплітуд автоколивань знаходиться в діапазоні від 8 до 18 мкм. При роботі швидкорізальними інструментами ця зона незначно зміщується в бік збільшення амплітуд.

При дослідженні залежності стійкості інструменту від амплітуди автоколивань зазвичай не вдається зберегти постійної частоти автоколивань. Однак частота є найважливішою характеристикою процесу коливань, тому дуже важливо знати, який вплив вона робить на стійкість інструменту спільно з амплітудою.

Поряд зі стійкістю інструмента і продуктивністю обробки автоколювання в сильному ступені впливають на якість обробленої поверхні. Зі збільшенням амплітуд автоколивань пропорційно погіршуються параметри шорсткості, зростає висота хвилястості W_z обробленої поверхні. Не тільки в операціях точіння і розточування, а й у всіх інших типових процесах механічної обробки (різних видах фрезерування, свердління, розгортання.). Хвилястість обробленої поверхні повністю визначається величиною амплітуд і биттям вібрацій.

На дві характеристики поверхні, амплітуда і частота впливають по-різному: підвищення амплітуди призводить до збільшення W_z і R_a , а збільшення частоти коливань - до зменшення хвилястості і шорсткості поверхні. Останнє ще більшою мірою спостерігається для процесу точіння. Отже, циклічний характер взаємодії задньої поверхні інструменту з поверхнею різання при вібраціях, істотно підвищуючи зміцнення поверхневого шару, одночасно призводить до зростання залишкових напружень стиску, які збільшуються з підвищенням амплітуди і частоти.

В роботі [14] колювання, що виникають при фрезеруванні, були систематизовані за п'ятьма швидкісними зонами. Кожна зона має свій власний механізм формування обробленої поверхні. В якості критерію визначення зони було обрано визначальне співвідношення, що визначається відношенням між часом різання (t_{p13}), часом холостого ходу ($t_{x.x.}$) та періодом власних коливань елемента

($T_{ВКЕ}$). Експериментально встановлено, що незалежно від властивостей оброблюваного матеріалу завжди існує третя швидкісна зона, в якій діють автоколивання, котрі в значній мірі впливають на стійкість інструмента та якість обробленої поверхні.

Швидкісні зони коливань та величини визначального співвідношення, що характеризують коливальний процес приведені на рис.1.1.

Швидкісна зона коливань	I	II	III	IV	V
Визначальне співвідношення	$\frac{t_{різ}}{T_{ВКЕ}} \geq 25$	$25 > \frac{t_{різ}}{T_{ВКЕ}} \geq 7$	$7 > \frac{t_{різ}}{T_{ВКЕ}} \geq 1$	$\frac{t_{різ}}{T_{ВКЕ}} < 1$ $\frac{t_{х.х.}}{T_{ВКЕ}} \geq 1$	$\frac{t_{х.х.}}{T_{ВКЕ}} < 1$

Рисунок 1.1 – Визначальні співвідношення для визначення швидкісної зони коливань при обробці ТЕД

1.2 Аналіз осцилограм, що описують коливання деталі при різанні

В роботі [15] розглянуті осцилограми коливання ТЕД при зустрічному кінцевому фрезеруванні і встановлено зв'язок між характером відхилення ТЕД і формуванням профілю обробленої поверхні. Одним з важливих результатів цих досліджень був експериментально встановлений факт того, що при фрезеруванні ТЕД, в контакт з деталлю завжди знаходиться не більше одного зуба. Іншими словами при остаточному (фінішному) фрезеруванні за час, між врізання двох сусідніх зубів (період зубцевої частоти - T_Z), пружна система ТЕД під час різання – $t_{різ}$ відхиляється під дією сили різання $P_{від}$, а під час холостого ходу - $t_{х.х.}$ (до підходу наступного зуба) здійснює вільні затухаючі коливання. Цей процес, при врізання наступного зуба знову повторюється. На рис. 1.2 показана осцилограма коливання ТЕД, на якій видно, періодичну повторюваність частоти T_Z . Ділянки осцилограми коливань ТЕД, що періодично повторюються отримали назву базовий фрагмент

осцилограми (БФО), які показані на рис. 1.3. БФО є графічним зображенням закону руху ТЕД при фрезеруванні під дією всіх видів сил, за певний період часу, що дорівнює періоду зубцевої частоти - T_z . Поділ осцилограми на базові фрагменти дозволяє кількісно оцінювати коливальні процеси, що виникають під час фрезерування ТЕД.

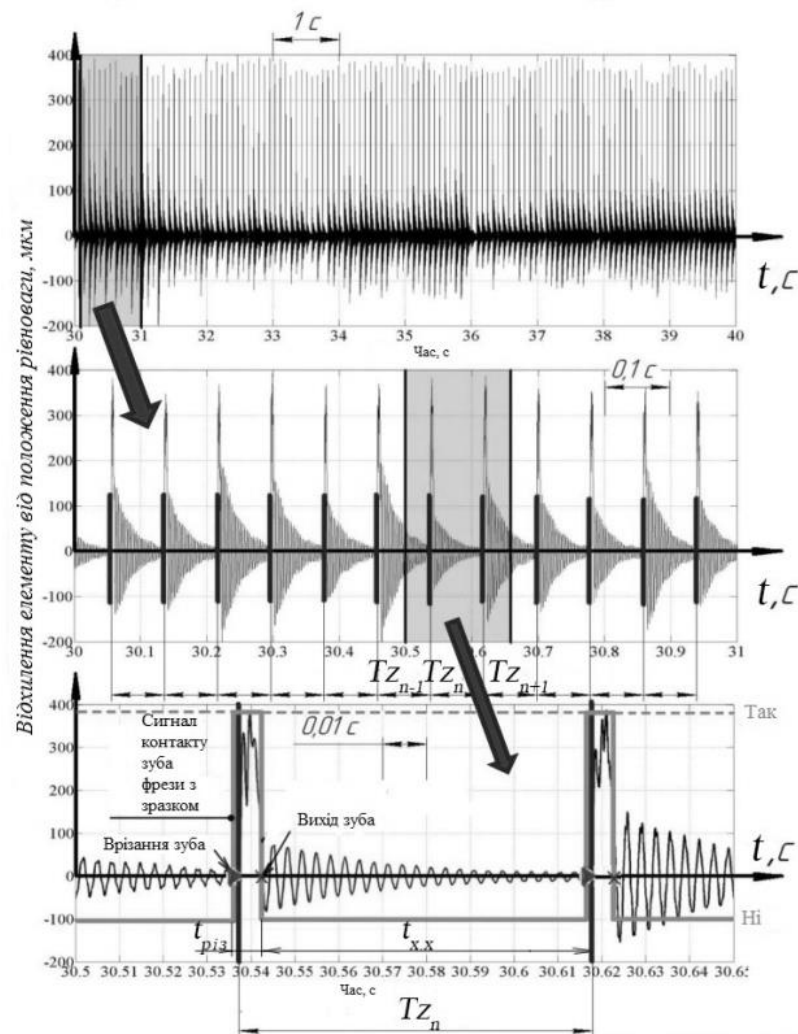


Рисунок 1.2 – Осцилограма коливального руху ТЕД

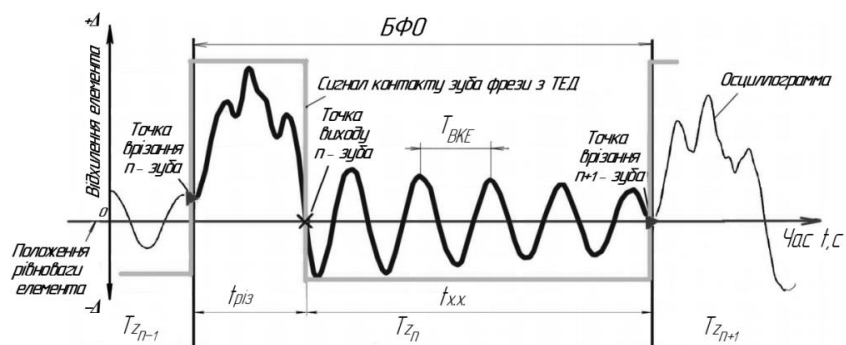


Рисунок 1.3 - Базовий фрагмент осцилограми (БФО) коливання ТЕД при фрезеруванні:

$t_{різ}$ - час різання, с; $t_{х.х}$ - час холостого ходу, с; T_Z - період зубцевої частоти, с; $T_{ВКЕ}$ - період власних коливань ТЕД, с

Ю. А. Розенберг при описі умов формування профілю обробленої поверхні після циліндричного фрезерування використовує поняття зони профілювання, як частини поверхні різання, що залишається на деталі після обробки. Таким чином, процеси, що відбуваються на поверхні різання під час обробки, безпосередньо беруть участь у формуванні профілю. На рис. 1.4 показані умови формування профілю при зустрічному фрезеруванні однозубою фрезою.

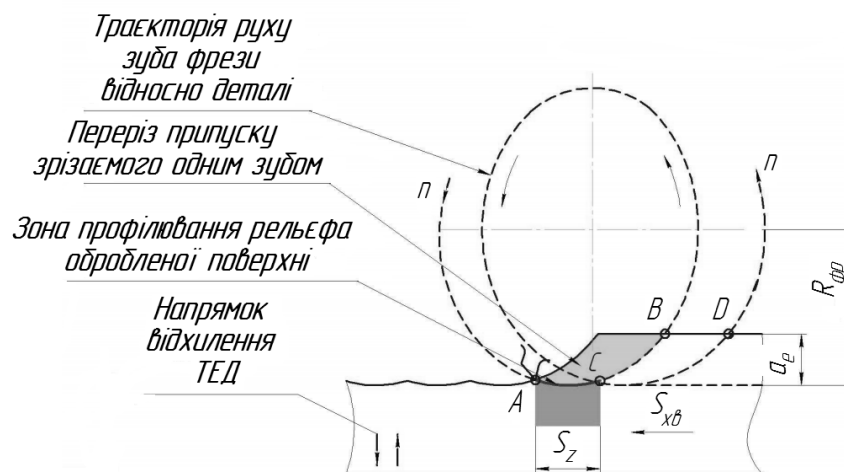


Рисунок 1.4– Формування профілю обробленої поверхні при зустрічному фрезеруванні ТЕД однозубою фрезою

Траєкторією відносного руху зуба фрези є подовжена циклоїда з кроком для однозубої фрези рівним подачі на зуб S_z .

Рух зуба від точки В (під час холостого ходу) відбувається по повітрю, не торкаючись деталі і в точці С він знову врізається в припуск. У точці D зуб виходить з припуску і знову робить холостий хід. На обробленій поверхні залишається частина поверхні різання DB, отриманої в результаті попереднього проходу зуба.

Таким чином, частина поверхні різання, що залишилася від попереднього проходу зуба, формує рельєф обробленої поверхні і називається ділянкою профілювання. На рис. 1.5 показані БФО відхилення ТЕД від положення пружної рівноваги (ППР) під час одного циклу роботи зуба фрези.

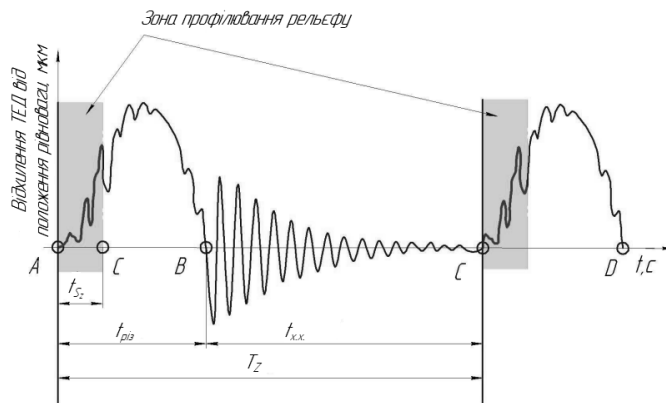


Рисунок 1.5 - Розташування зони профілювання на БФО коливань ТЕД при зустрічному фрезеруванні

Зіставивши схему формування профілю (рис. 1.4) з БФО (рис. 1.5), стає зрозумілою зв'язок умов коливання ТЕД в період профілювання з формуванням геометрії обробленої поверхні. Іншими словами, на БФО при зустрічному фрезеруванні на поверхні різання є ділянка АС (рис.1.5), умови коливань в якій і визначають якість обробленої поверхні. За Ю. О. Розенбергом ділянка АС називається зоною профілювання, а ділянка СВ – зоною нечутливості, коли пружні деформації ТС під дією сил різання не впливатимуть на величину похибки обробки.

Слід зазначити, що серед проведених досліджень недостатньо робіт, де було б показано використання 14 параметрів, які характеризують коливальних рух деталі при фрезеруванні.

1.3 Висновки

З огляду літературних джерел встановлено:

1. Встановлено, що за певних умов при фрезеруванні виникають автоколивання.
2. Автоколивання поділяють на первинні та вторинні.
3. Коливання, що виникають при циліндричному кінцевому фрезеруванні поділено на п'ять швидкісних зон.
4. Коливальних рух деталі під час фрезерування можна досліджувати за допомогою БФО, що виділяють на осцилограмі.
5. Для кількісної оцінки коливального руху деталі при фрезеруванні використовують 14 параметрів, що визначають за БФО.
6. Серед проведених досліджень недостатньо робіт, де було б показано використання 14 параметрів, які характеризують коливальних рух деталі при фрезеруванні.

2 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Схема кінцевого фрезерування ТЕД показана на рис. 2.1. Особливістю при фрезеруванні ТЕД є поява коливань під час обробки. При цьому на тонкостінний елемент діє система сил:

- $P_{\text{від}}$ – сила відтискання, що є зовнішньою змушуючою силою, яка відхиляє деталь від положення її рівноваги. Величина сили відтискання залежить від умов різання (режимів обробки, геометрії інструменту, властивостей оброблюваного матеріалу). Після відхилення деталі від положення рівноваги в ній виникають внутрішні сили.

- $P_{\text{пр}}$ – відновлююча сила пружності, яка прагне повернути деталь в положення рівноваги. Значною мірою на її величину впливає жорсткість та величина відхилення від положення рівноваги ТЕД.

- $P_{\text{тер}}$ – сила внутрішнього тертя (демпфування), залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу та швидкості відхилення ТЕД.

- $P_{\text{ін}}$ – сила інерції, яка залежить від маси та прискорення руху ТЕД.

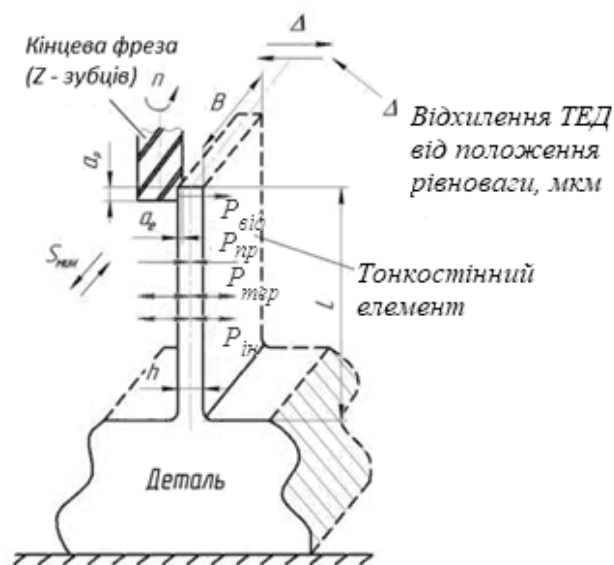


Рисунок 2.1 – Схема сил, які діють на ТЕД при кінцевому фрезеруванні

Окремо кожну силу визначити практично неможливо через постійну їх зміну як за величиною, так і за напрямком дії. Також досить складно описати закон коливань ТЕД. Проте закон коливань тонкостінного елемента можливо визначити експериментально, використовуючи сучасні датчики переміщень, які дозволяють отримувати сигнал, здійснювати його оцифрування за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) та з використанням програмного забезпечення (ПЗ) зберігати великі об'єми інформації.

2.1 Стенд для проведення досліджень вібрацій тонкостінного елемента деталі при кінцевому фрезеруванні

Для проведення експериментальних досліджень коливань використовувався стенд [16], який призначений для вивчення механічних коливань при кінцевому фрезеруванні тонкостінних елементів деталей. Принципова схема стенду приведена на рис. 2.2.

При експериментах зразок - 3, кріпиться на прямокутній пластині - 1, яка у свою чергу жорстко кріпиться до масивної основи вимірювального стенду - 9, прижимом - 7. Під час фрезерування, внаслідок дії змушуючої сили віджимання - $P_{від}$ з боку фрези, відбувається переміщення зразка - 3, що фіксується датчиком переміщення - 2 (XS1 M12AP120 марки Osiprox), який закріплюється на стійці 8, жорстко пов'язаної з основою - 9, яку встановлюють на робочому столі фрезерного верстата - 11. Індуктивний датчик переміщення дозволяє фіксувати закон руху пружного елемента під час обробки. Сигнал датчика оцифровується за допомогою АЦП Е-140 фірми L-Card. Запис осцилограм коливань та їх зберігання здійснюється програмним забезпеченням, встановленим на персональний комп'ютер (ПК).

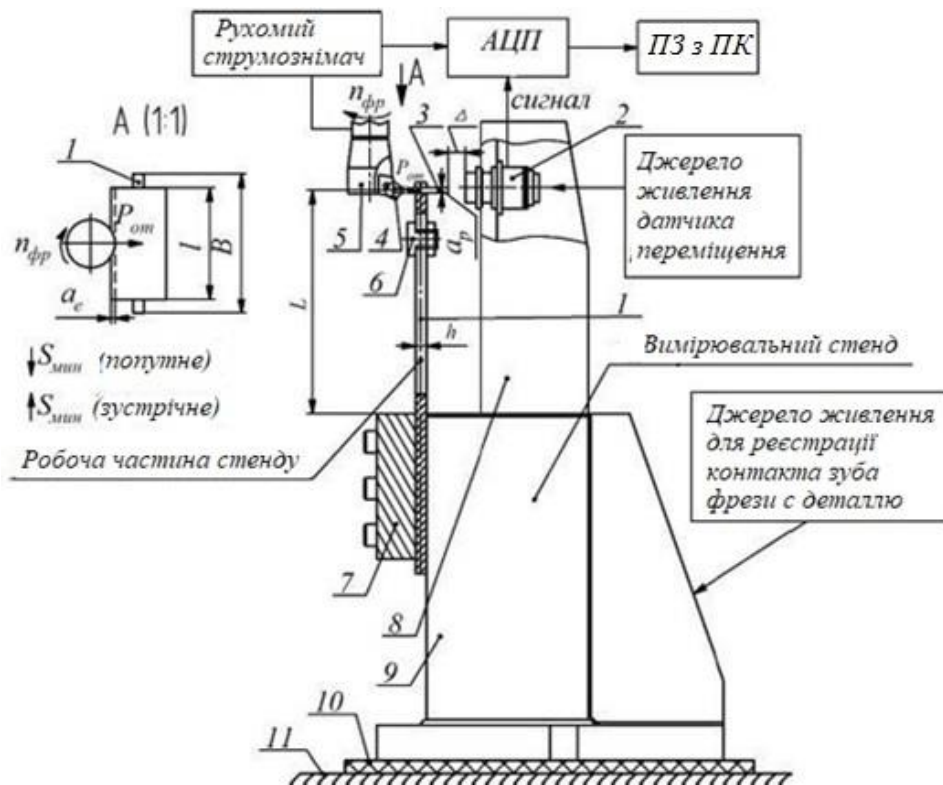


Рисунок 2.2 – Схема експериментального стану для дослідження коливань при кінцевому фрезеруванні ТВД:

1 - пружна система (ПС) ТВД; 2 - датчик переміщення; 3 - оброблюваний зразок; 4 - зона обробки фрезеруванням; 5 - кінцева фреза; 6 - додаткова маса; 7 - прижим; 8 - стійка; 9 - основа; 10 - діелектрична прокладка (ізолятор); 11-робочий стіл фрезерного верстата.

Особливістю експериментального стану є можливість окремого дослідження, як зони обробки за рахунок зміни оброблюваного матеріалу, так і пружної системи за рахунок зміни її жорсткості. Це дозволяє розглядати процеси силового впливу в зоні обробки в різних умовах різання, при однакових динамічних і статичних характеристиках ПС. І навпаки, при незмінних умовах різання досліджувати вплив зміни статичних і динамічних характеристик ПС.

2.2 Електроконтактний пристрій, що визначає умови контакту інструмента з оброблюваною деталлю

Експериментальний стенд оснащений пристроєм [17] (рис. 2.3), що дозволяє встановлювати умови контакту інструмента з оброблюваним зразком і відстежувати час різання та час холостого ходу.

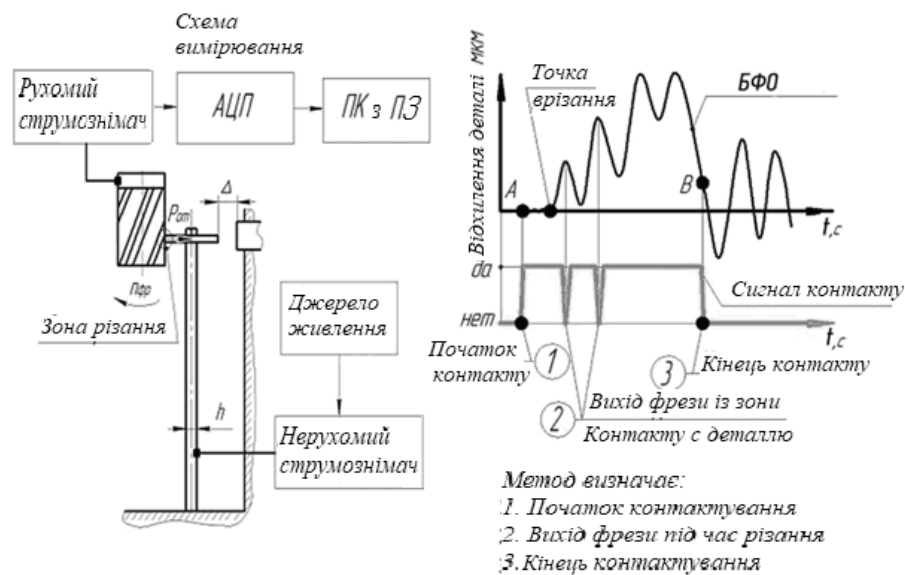


Рисунок 2.3 – Схема визначення умов контакту інструмента і деталі

Для цього стенд встановлюється на діелектричну прокладку – 10 (рис.2.2), яка розриває електричний зв'язок з верстатом. До стенду підводиться джерело живлення через рухомий струмознімач. В момент контакту зуба фрези – 5 з оброблюваним зразком – 3 відбувається замкнення окремого електричного ланцюга і сигнал передається на АЦП, що свідчить про наявність контакту інструмента з зразком. Після виходу зуба фрези з зони контакту ланцюг розривається і подача сигналу припиняється. Запис сигналу з струмознімача і сигналу переміщення зразка з датчика – 2 здійснюється одночасно, за рахунок цього поєднання осцилограми

відхилення ТЕД при обробці та сигналу контакту фрези з оброблюваним зразком відбувається з високою точністю.

На рис. 1.2. приведена осцилограма коливального руху ТЕД, яка була записана в процесі кінцевого фрезерування рисунку видно, що суміщення осцилограми коливань ТЕД та сигналу контакту інструмента зі зразком дозволяє досить точно визначати час різання одним зубом - $t_{\text{різ}}$, та час холостого ходу - $t_{\text{х.х.}}$, які сумарно складають час циклу $t_{\text{ц}}$ [18].

2.3 Методика аналізу осцилограм

Якщо розглядати осцилограму коливального руху ТЕД (рис 1.2) в різних часових масштабах, можна помітити, що вона складається з регулярно повторюваних ділянок. Для аналізу коливального процесу ТЕД при різанні осцилограму розбивають на базові фрагменти, які охоплюють інтервал від врізання попереднього зуба фрези до врізання наступного зуба. Таким чином, базовий фрагмент осцилограми (БФО) – це фрагмент, виділений з повної осцилограми, який є графічним зображенням закону руху ТЕД під час фрезерування під дією всіх видів сил за час циклу - $t_{\text{ц}}$. [1].

Для оцінки коливальних явищ за БФО використовується спеціально створена методика [18], яка дозволяє обробляти дані, що були отримані в процесі різання. На рис. 2.5 показана схема, яка містить 14 параметрів, що характеризують коливання ТЕД при зустрічному фрезеруванні. Кожен параметр має кількісну характеристику у відповідності з розмірністю координатних осей (мм або с), в яких побудовані БФО.

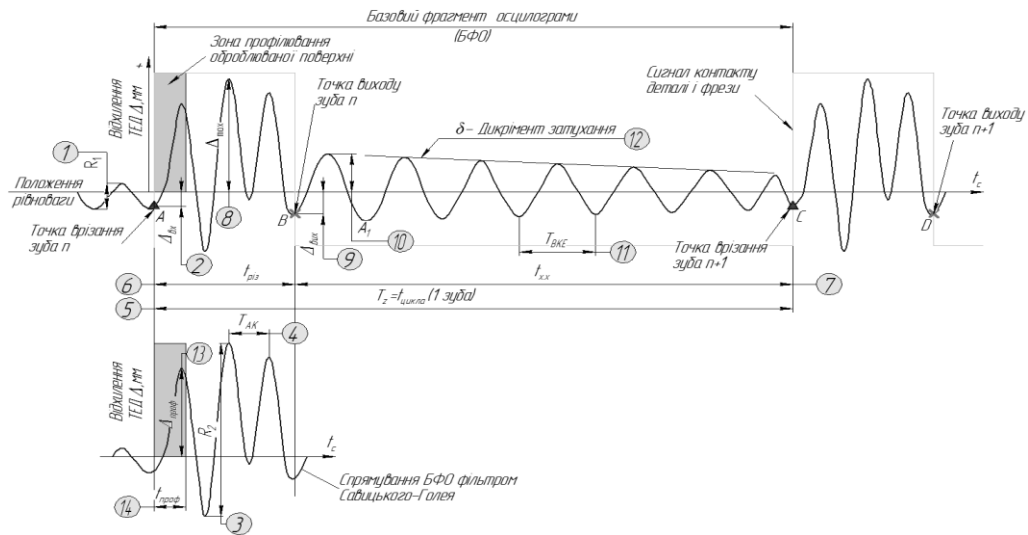


Рисунок 2.5 – 14 параметрів БФО при зустрічному фрезеруванні ТЕД

1. R_1 - розмах вільних згасаючих коливань ТЕД перед врізанням зуба фрези в припуск, мм.

Характеризує рівень збудження пружної системи ТЕД перед врізанням чергового зуба фрези. При високошвидкісному фрезеруванні показує діапазон відхилення деталі від положення рівноваги в момент врізання зуба фрези.

2. Δ_{ex} - точка А врізання зуба фрези в ТЕД, мм.

Визначає величину відхилення точки врізання фрези від положення рівноваги.

3. R_2 - розмах автоколивань ТЕД, мм.

Характеризує рівень регенеративних автоколивань, які визначають якість профілю обробленої поверхні і стійкість інструменту.

4. T_{AK} - період автоколивань в процесі зрізання припуску зубом фрези, с

(частота автоколивань - $f_{AK} = \frac{1}{T_{AK}}$, Гц)

Визначається шляхом вимірювання середнього значення періоду регенеративних автоколивань під час різання $t_{різ}$.

5. T_z - період зубцової частоти ($T_z = \frac{60}{n}$), с (зубцова частота $f_z = \frac{1}{T_z}$, Гц).

Час між двома врізаннями сусідніх зубів. Визначається шляхом вимірювання середнього значення періоду зубцової частоти - T_z , с.

6. $t_{рез}$ - час різання одним зубом фрези, с.

Час між входом і виходом зуба фрези із зрізаного припуску. Визначає час зрізання припуску одним зубом.

7. $t_{х.х}$ - час холостого ходу, с.

Час між точкою виходу із зрізаного припуску попереднього зуба і точкою врізання подальшого зуба. Визначається шляхом віднімання часу різання з періоду зубцевої частоти T_z ($t_{х.х} = T_z - t_{рез}$).

8. Δ_{max} - максимальне відхилення ТЕД в результаті впливу змушуючої сили, мм.

Визначає максимальне відхилення ТЕД від положення рівноваги в період різання одним зубом.

9. $\Delta_{вих}$ - точка В виходу зуба фрези із зони різання, мм.

Визначає величину відхилення точки виходу зуба фрези від положення рівноваги. Використовують при визначенні часу різання.

10. A_1 - амплітуда першої хвилі вільних згасаючих коливань ТЕД, мм.

Характеризує величину енергії збудження ТЕД після виходу зуба фрези із зони різання. Величину A_1 використовують при розрахунку логарифмічного декременту - δ .

11. $T_{ВКЕ}$ - період вільних коливань ТЕД, з (частота вільних згасаючих

коливань ТЕД $f_{ВКЕ} = \frac{1}{T_{ВКЕ}}$, Гц).

Визначається шляхом вимірювання середнього значення періоду власних коливань ТЕД – $T_{ВКЕ}$, с. $T_{ВКЕ}$ характеризує основну динамічну властивість пружної системи ТЕД, залежне від жорсткості, маси, демпфірування і розмірів ТЕД.

12. δ - логарифмічний декремент вільних згасаючих коливань ТЕД.

Характеризує інтенсивність дисипації коливальної енергії в пружній системі ТЕД.

13. $\Delta_{проф}$ - відхилення першої хвилі автоколивань від положення рівноваги при зустрічному фрезеруванні, або останньої хвилі автоколивань при попутному

фрезеруванні. Характеризує глибину лунки від автоколювань на поверхні різання, яка залишається після руху подачі і формує оброблену поверхню.

14. $t_{проф}$ - час профілювання. Характеризує ділянку часу різання, коли при автоколюваннях вирізається лунка на поверхні різання, що формує згодом оброблену поверхню.

2.4 Пристрій для здійснення запису профілю обробленої поверхні

Для запису профілю обробленої поверхні зразка застосовується спеціальний пристрій (рис. 2.6 та рис. 2.7), що складається з основи – 1, на якій закріплюється індикаторний годинник ИЧ-10 та індуктивний датчик переміщення. Основа пристрою нерухомо закріплена на вертикальній стійці фрезерного верстата. Оброблену поверхню зразка, що закріплений на столі, переміщують до торкання наконечника - 3 індикаторного годинника. При наступному повздовжньому переміщенні стола зі зразком відносно годинника нерівності його поверхні викликають осьове переміщення наконечника годинника, які через п'яту - 2 змінюють відстань до індуктивного датчика. Сигнал з датчика записується за допомогою програмного продукту L-Graf на персональний комп'ютер у вигляді профілограми.

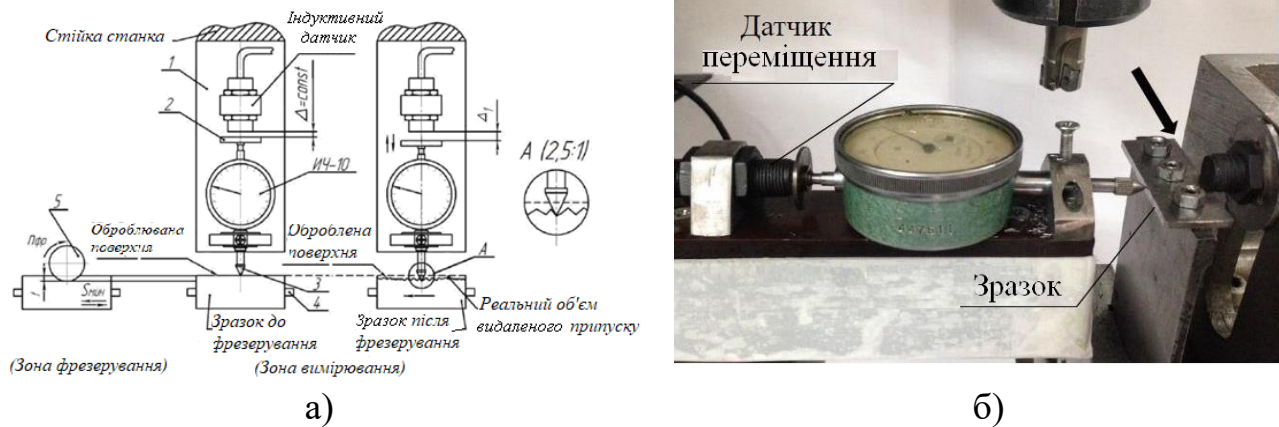


Рисунок 2.6. – Схема (а) та фото (б) пристрою для запису профілю обробленої поверхні

2.5 Умови проведення досліджень

Дослідження зустрічного фрезерування у третій швидкісній зоні виконувалося за таких умов.

1. Обладнання - вертикально-фрезерний верстат FWD-32J.
2. Інструмент - однозуба, прямозуба, спеціальна фреза $\varnothing 52$ мм з регульованим положенням зуба, матеріал ріжучої частини ВК8; частота власних коливань 833 Гц.
3. Зразок - чавун, алюміній.
4. Пружний елемент - виліт 80мм, ширина 60мм, товщина 6мм, частота власних коливань 390 Гц.
5. Режими різання:
 частота обертання шпинделя, $n_{\text{шп}} = 280$ об / хв;
 подача на зуб, $S_z = 0,1$ мм;
 осьова глибина, $a_p = 3,4$ мм;
 радіальна глибина, $a_c = 0,5$ мм
 напрямок подачі - зустрічний, різання вільне.

2.6 Висновки

1. Спроектовано спеціальний стенд, на якому можна досліджувати обробку деталей з різних матеріалів та різними динамічними характеристиками.
2. Для визначення умов контакту інструменту і деталі електроконтактний пристрій.
3. Для оцінки коливальних явищ за БФО використовують 14 параметрів.
4. Для запису профілю обробленої поверхні спроектовано спеціальний пристрій з датчиком переміщень.
5. Визначені умови фрезерування у третій швидкісній зоні з автоколиваннями

3 АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження коливань при зустрічному фрезеруванні за БФО

Під час фрезерування зразків записувалися осцилограми, які надалі для аналізу поділялися на БФО. За БФО визначали кількісні значення 14 параметрів і записували у таблиці А1 та А2 (Додаток А). На підставі даних табл. А1 побудовані графіки змін 14 параметрів БФО для алюмінію (рис.3.1 – 3.14).

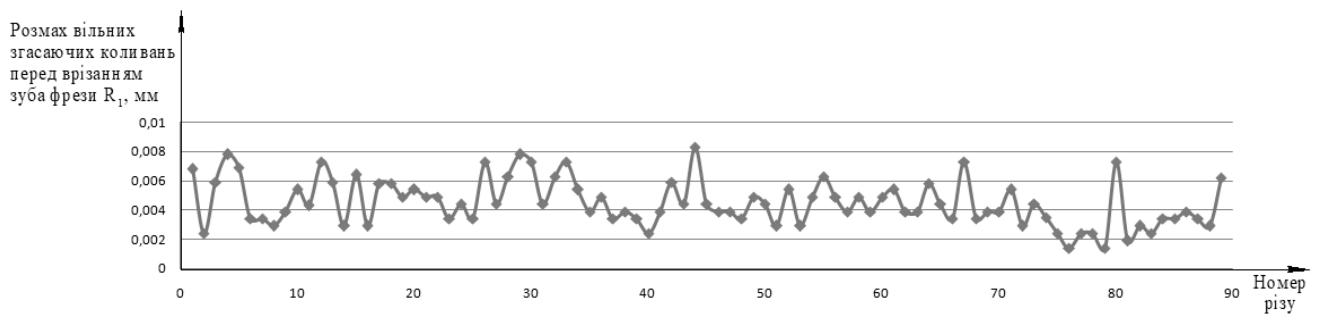


Рисунок 3.1 – Зміна розмаху вільних згасаючих коливань ТЕД перед врізанням зуба фрези при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

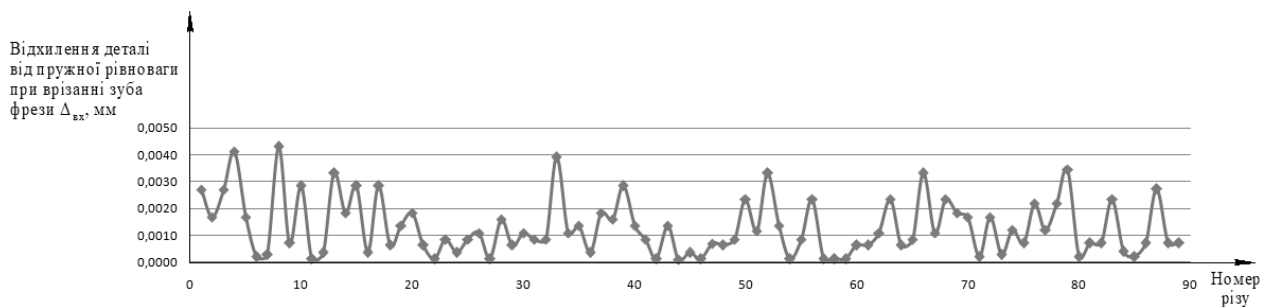


Рисунок 3.2 – Зміна відхилення деталі від ППР при врізання зуба фрези для кінцевого циліндричного фрезерування алюмінію

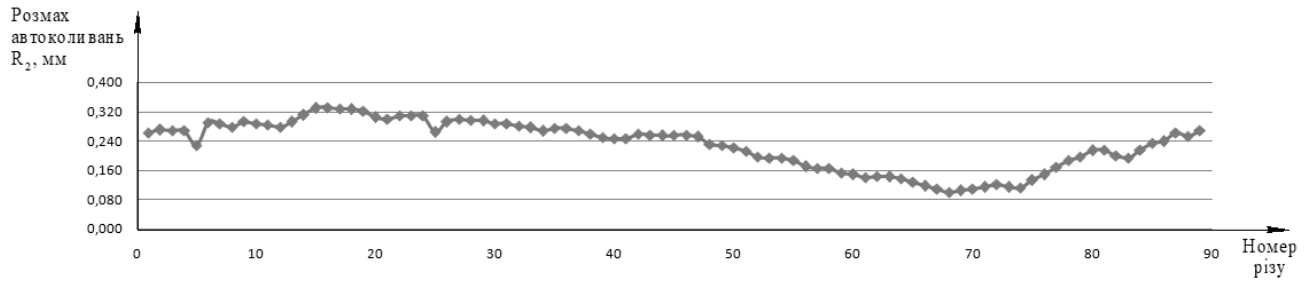


Рисунок 3.3 – Зміна розмаху автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

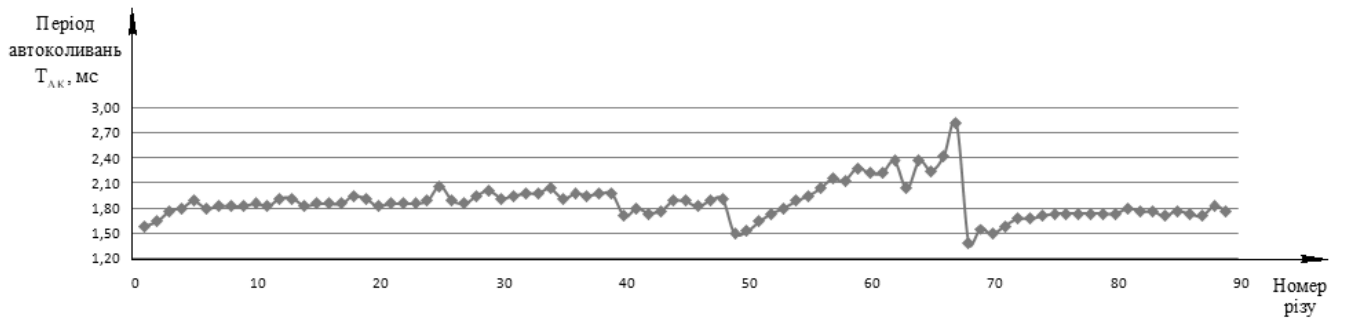


Рисунок 3.4 – Зміна періоду автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

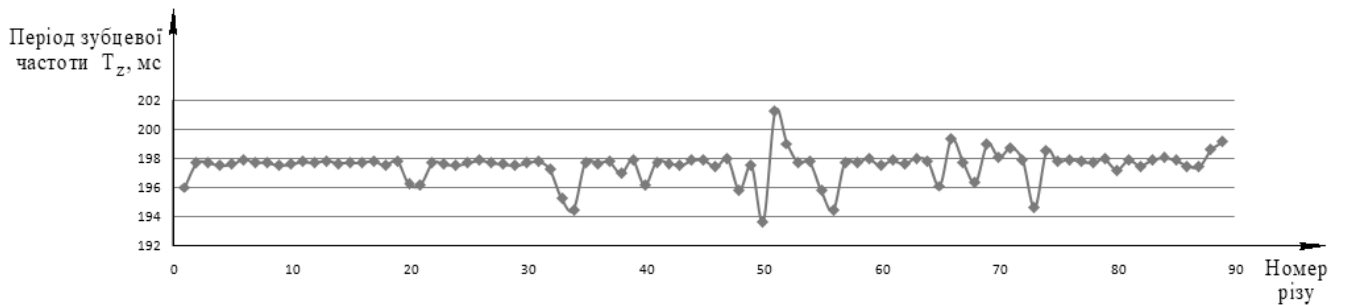


Рисунок 3.5 – Зміна періоду зубцевої частоти при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

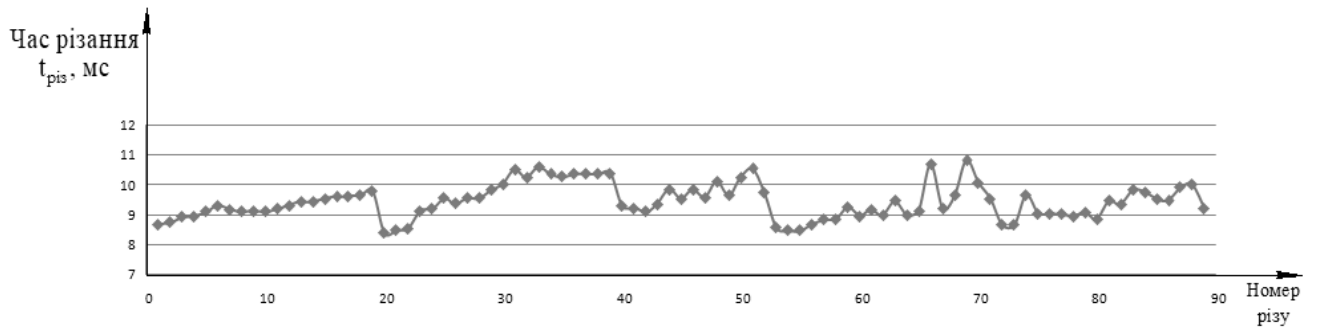


Рисунок 3.6 – Зміна часу різання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

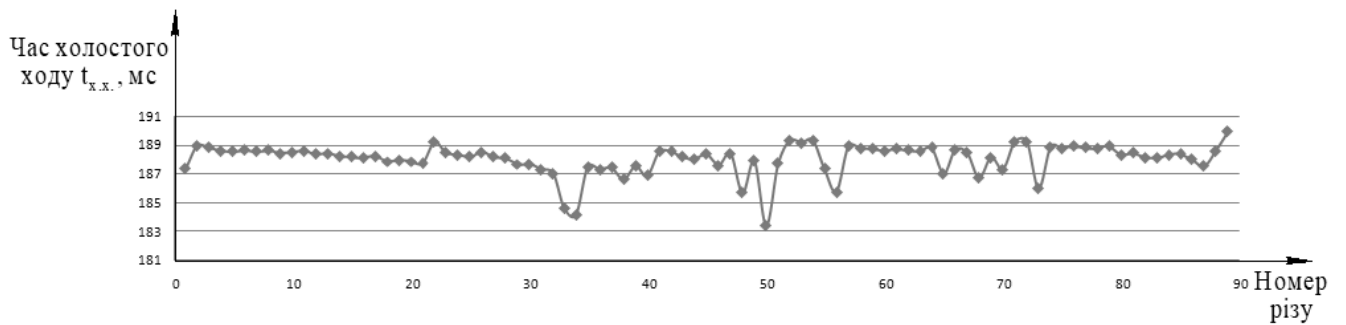


Рисунок 3.7 – Зміна часу холостого ходу при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

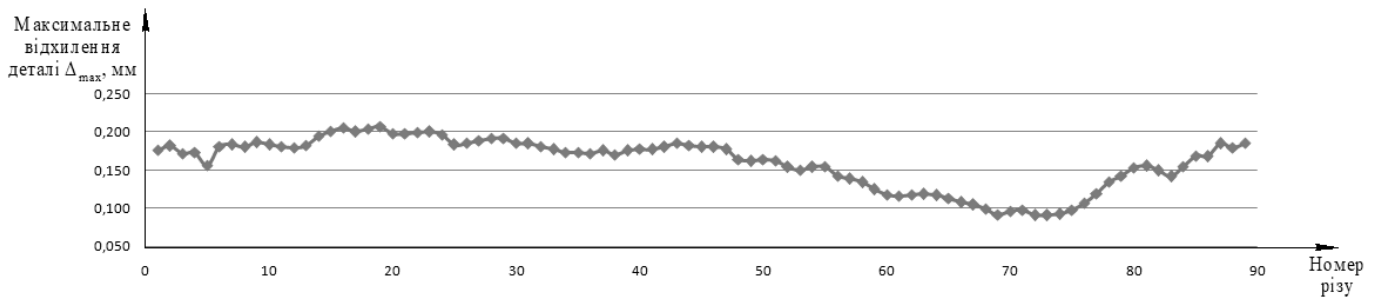


Рисунок 3.8 – Зміна максимального відхилення деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

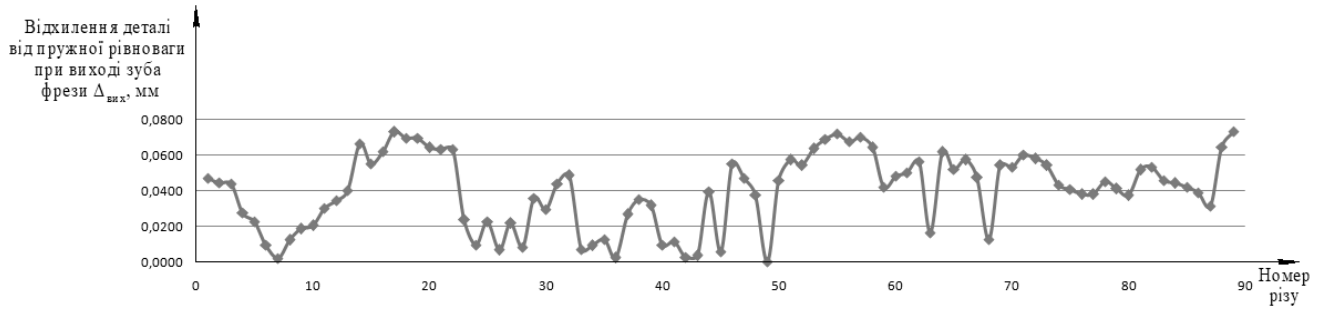


Рисунок 3.9 – Зміна відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези під час зустрічного кінцевого циліндричного фрезерування алюмінію

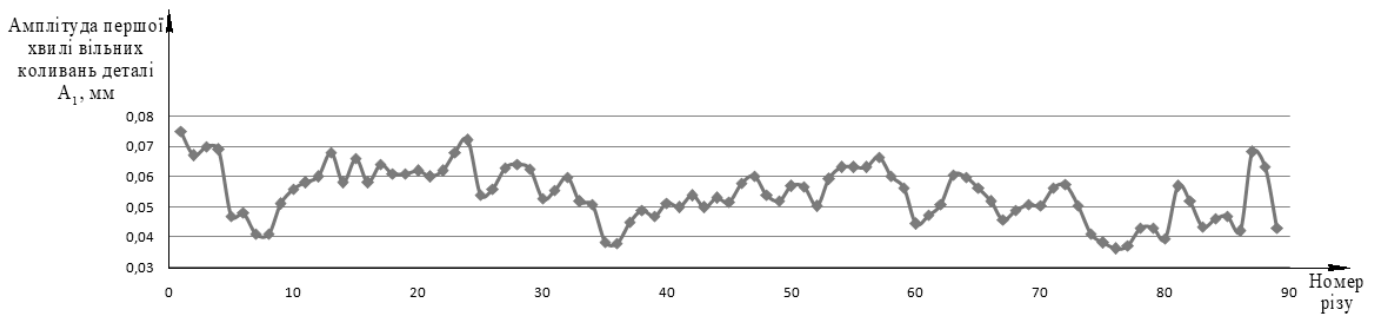


Рисунок 3.10 – Зміна амплітуди першої хвилі вільних коливань деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

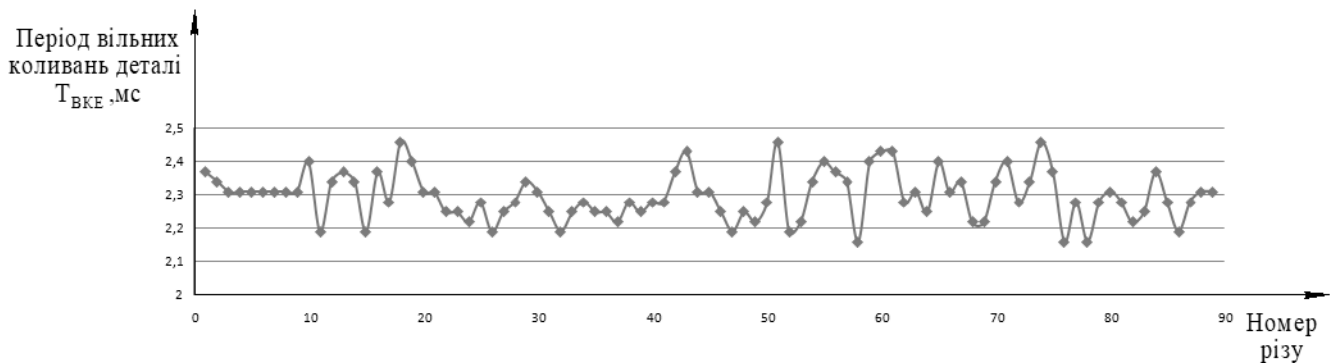


Рисунок 3.11 – Зміна періоду вільних коливань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

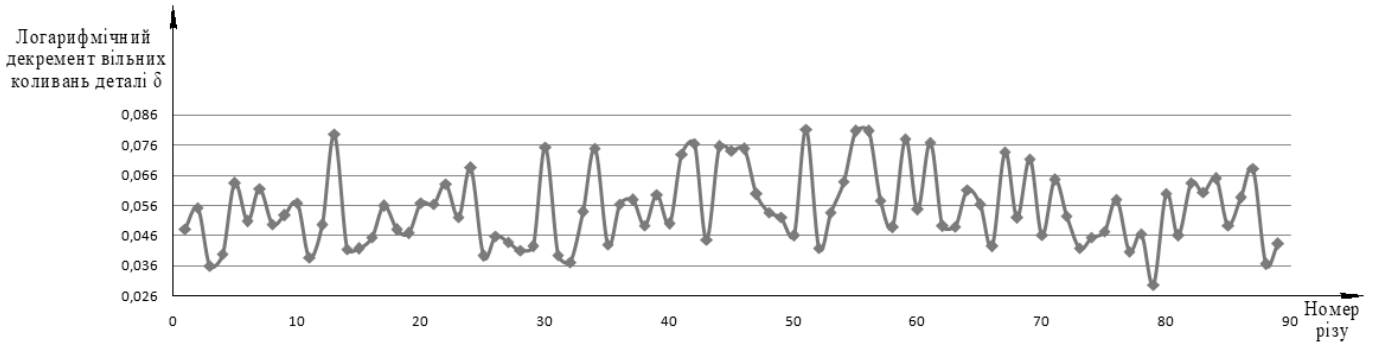


Рисунок 3.12 – Зміна логарифмічного декременту вільних згасаючих коливань ТЕД при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

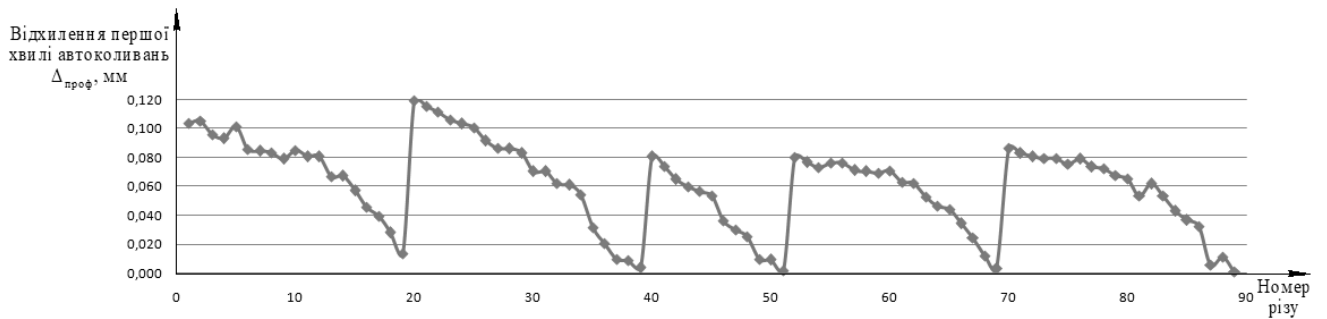


Рисунок 3.13 – Зміна відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ППР при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

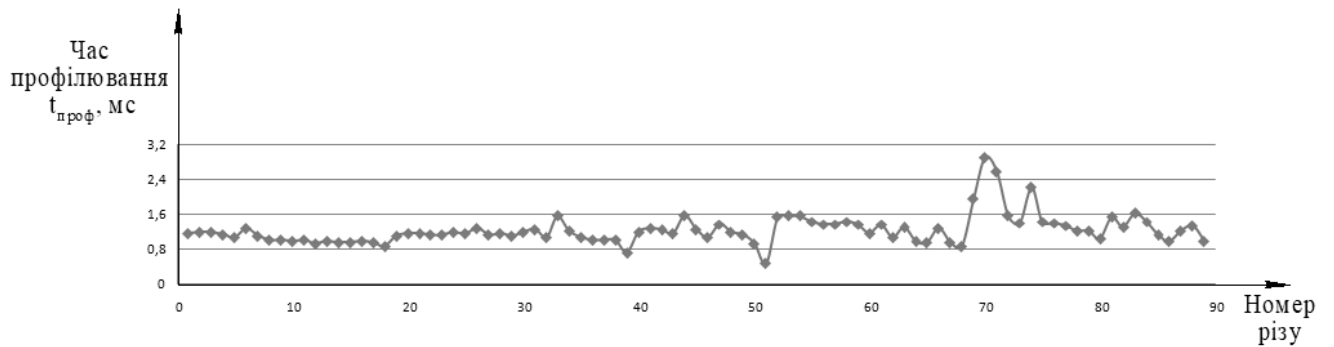


Рисунок 3.14 – Зміна часу профілювання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні алюмінію

На підставі даних табл. А2 побудовані графіки змін 14 параметрів БФО для чавуну (рис.3.15 – 3.28).

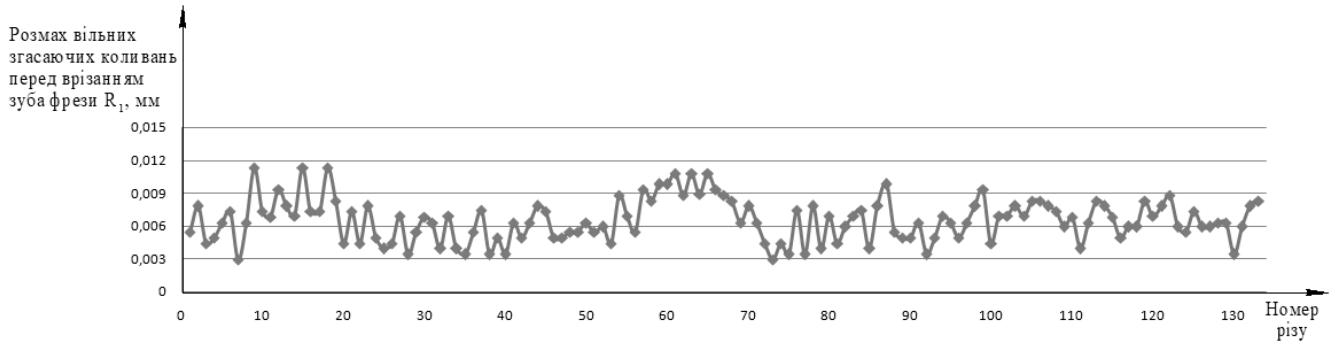


Рисунок 3.15 – Зміна розмаху вільних згасаючих коливань ТЕД перед врізанням зуба фрези при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

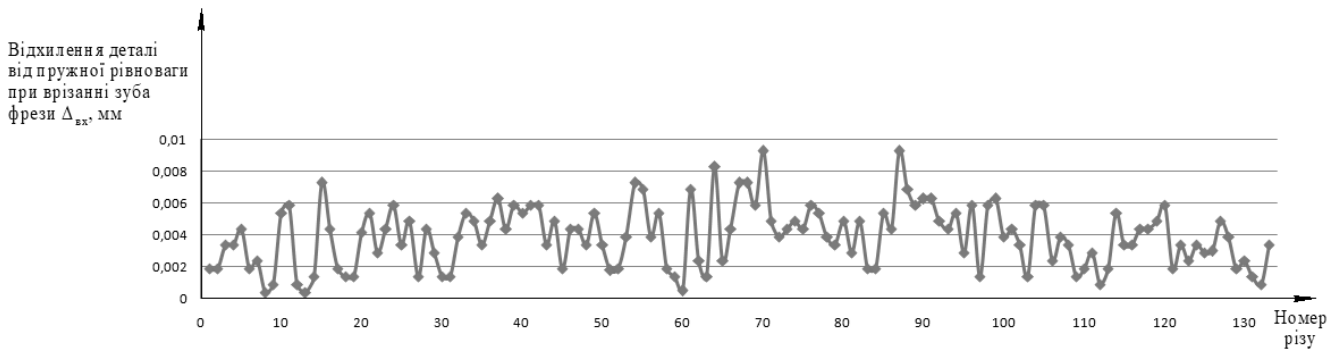


Рисунок 3.16 – Зміна відхилення деталі від ППР при врізанні зуба фрези для матеріалу чавуну

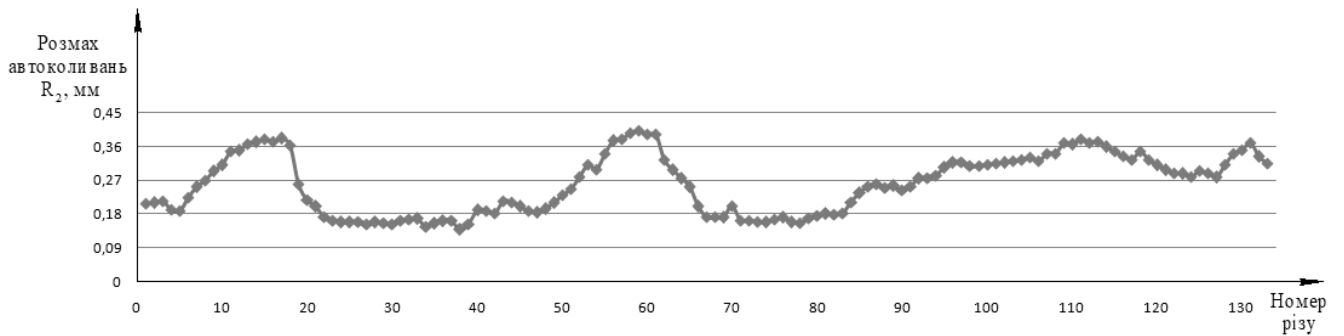


Рисунок 3.17 – Зміна розмаху автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

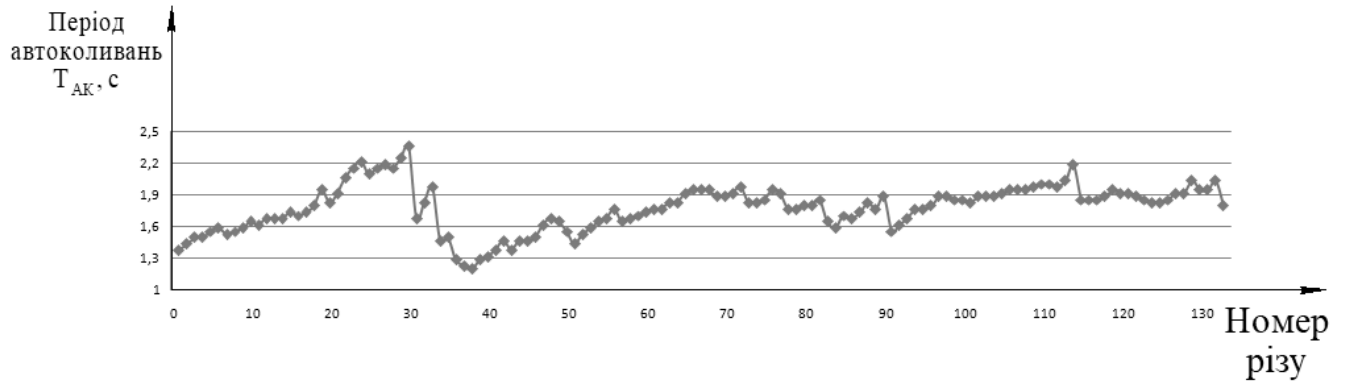


Рисунок 3.18 – Зміна періоду автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

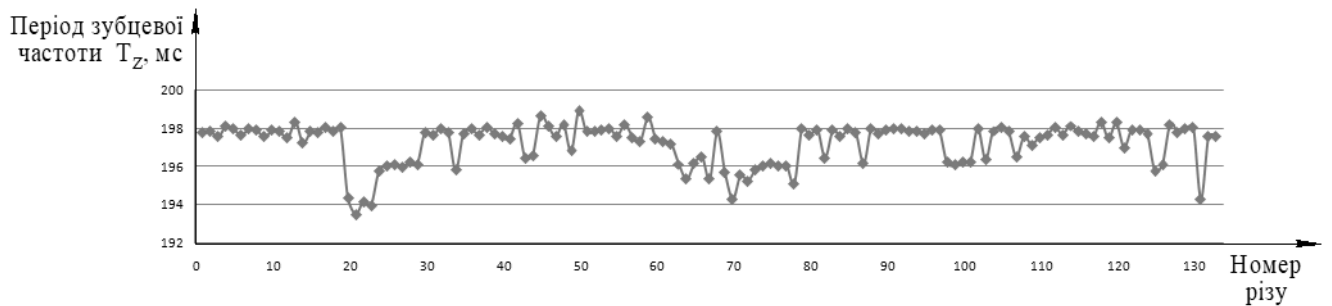


Рисунок 3.19 – Зміна періоду зубцевої частоти при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

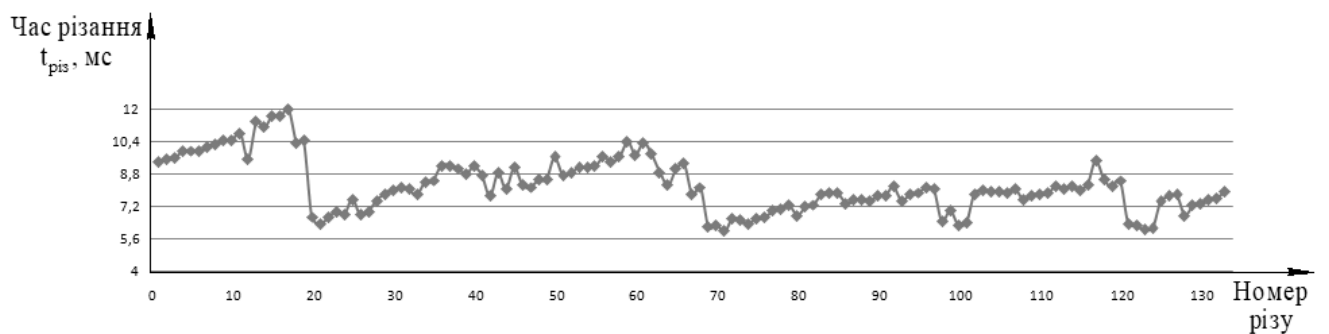


Рисунок 3.20 – Зміна часу різання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

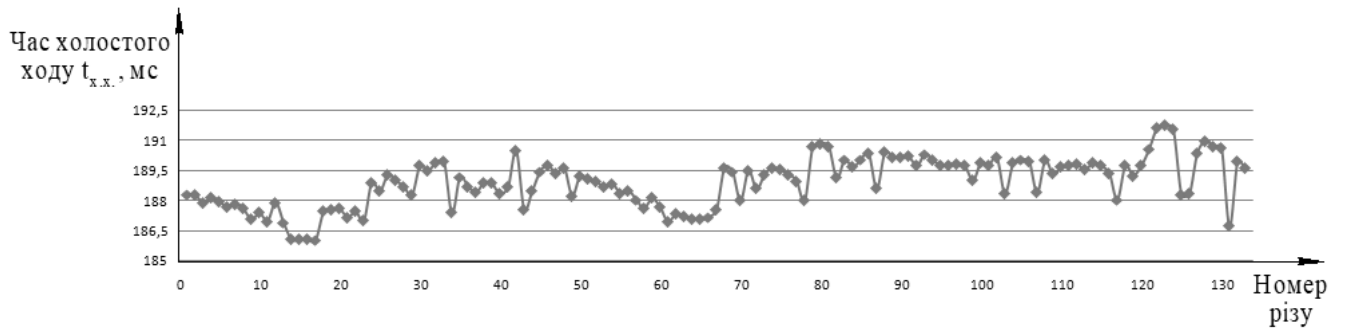


Рисунок 3.21 – Зміна часу холостого ходу при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

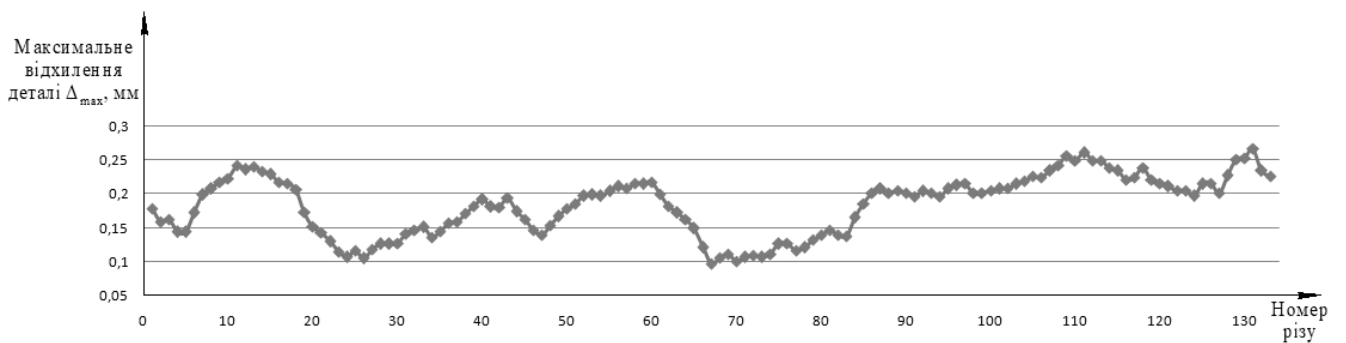


Рисунок 3.22 – Зміна максимального відхилення деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

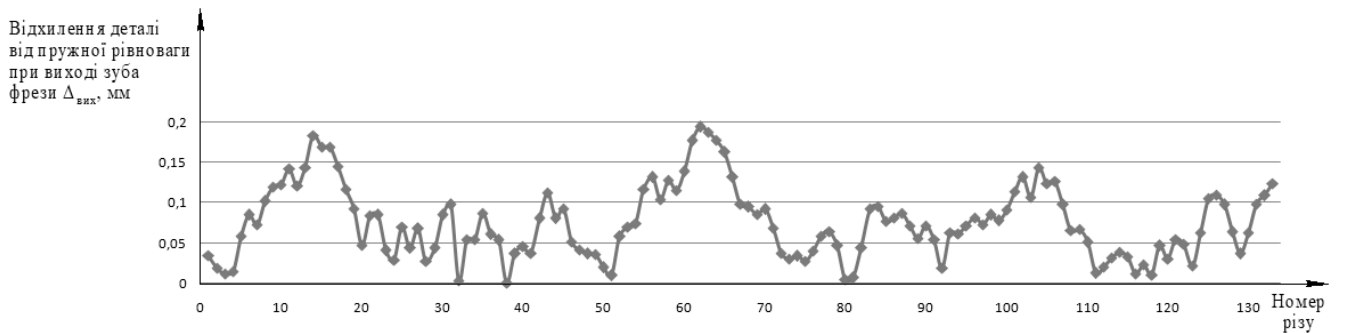


Рисунок 3.23 – Зміна відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези під час зустрічного кінцевого циліндричного фрезерування чавуну

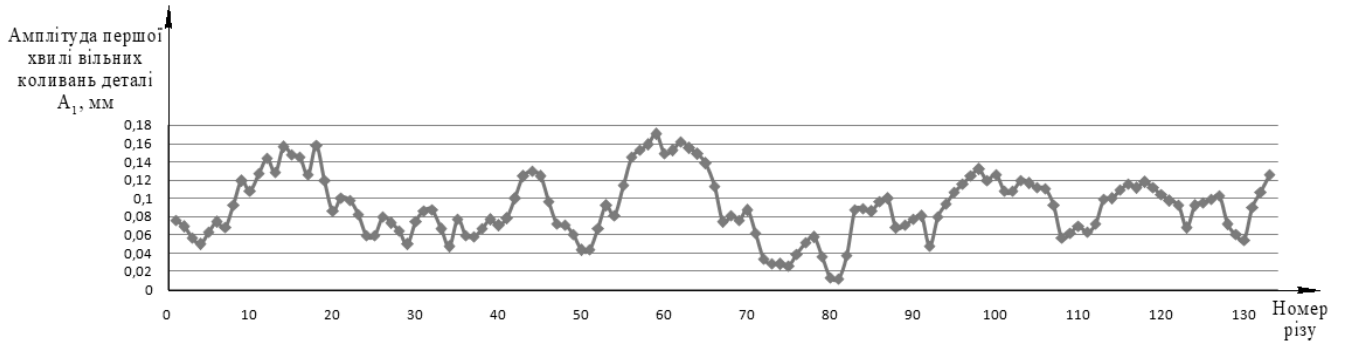


Рисунок 3.24 – Зміна амплітуди першої хвилі вільних коливань деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

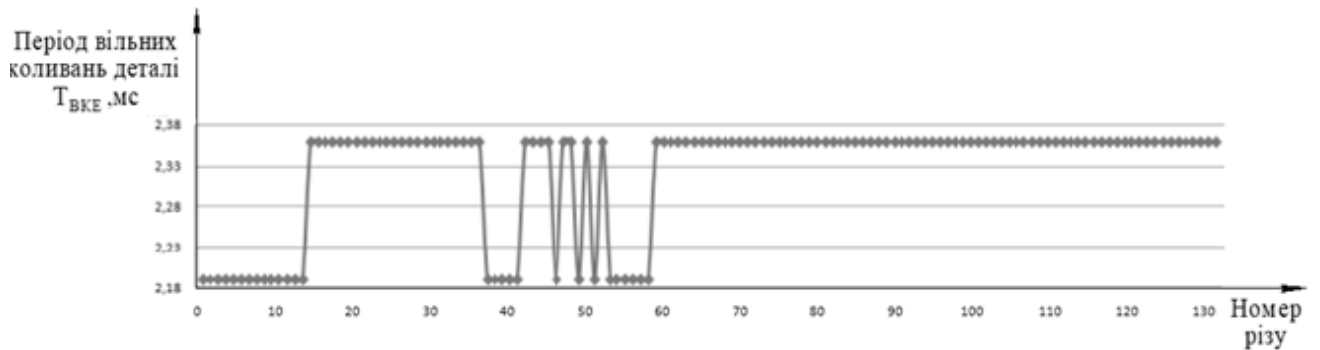


Рисунок 3.25 – Зміна періоду вільних коливань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

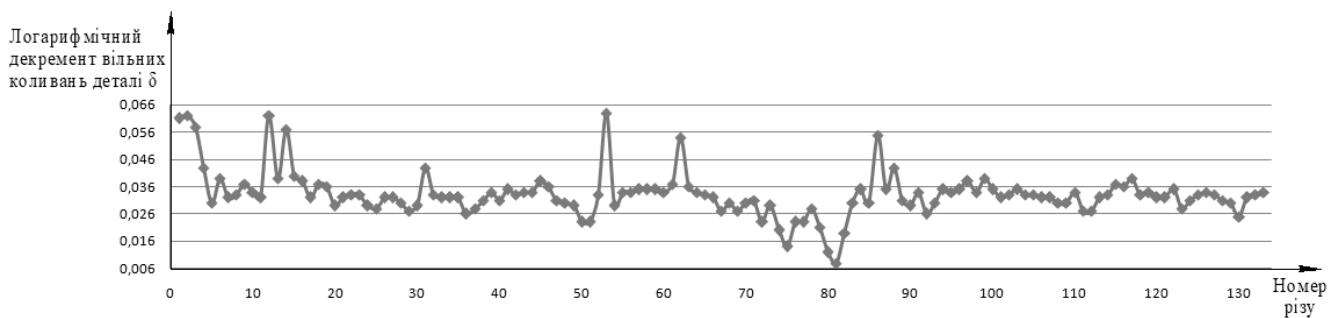


Рисунок 3.26 – Зміна логарифмічного вільних згасаючих коливань ТЕД при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

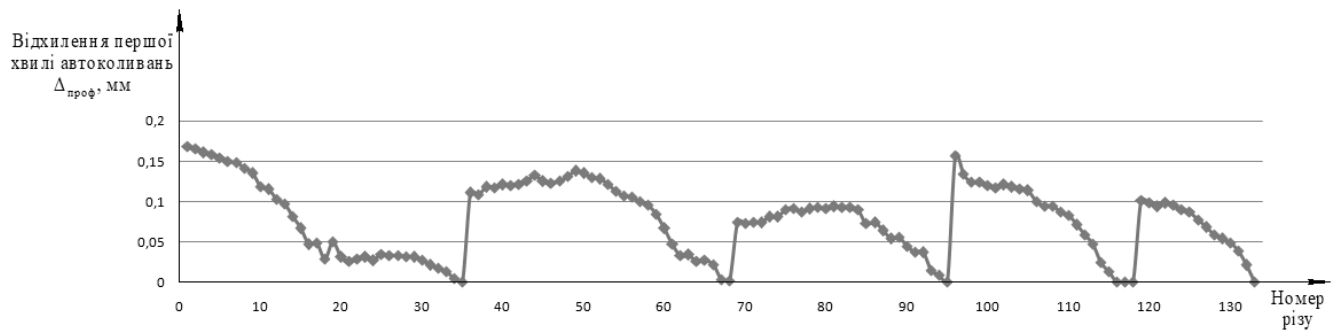


Рисунок 3.27 – Зміна відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ПУР при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

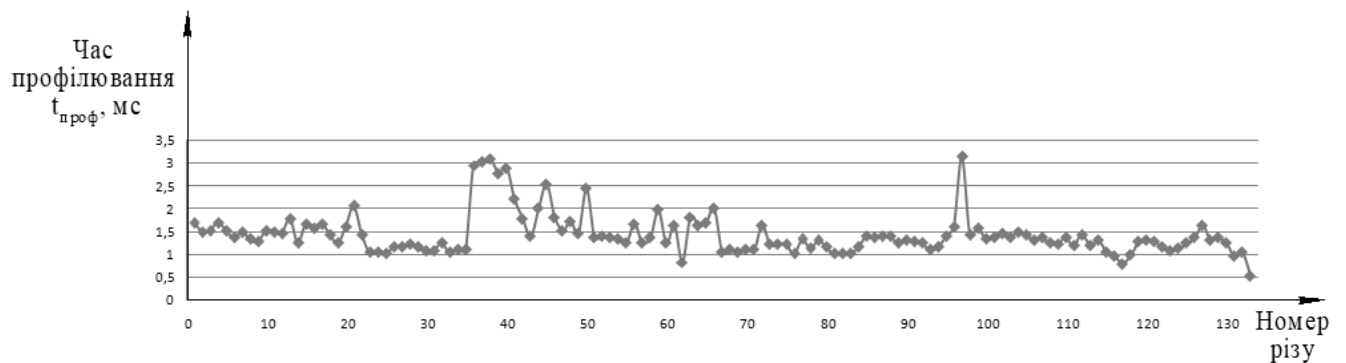


Рисунок 3.28 – Зміна часу профілювання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні чавуну

Зображення на графіках для двох матеріалів показують, що серед 14 параметрів, які описують коливальний рух деталі при фрезеруванні, періодично змінюються тільки час різання $t_{\text{різ}}$ та відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ПУР $\Delta_{\text{проф}}$

3.2 Визначення взаємозв'язку між показниками БФО коливань ТЕД та профілем обробленої поверхні

Після фрезерування були записані профілограми оброблених поверхонь (рис.3.29).

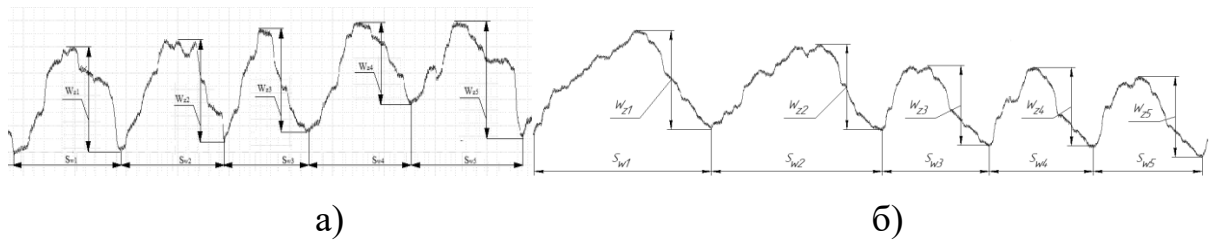


Рисунок 3.29 - Фрагменти профілограм обробленої поверхні з алюмінію (а) та чавуну (б) після зустрічного кінцевого фрезерування з автоколиваннями

За зовнішнім виглядом вони мають пилкоподібну форму з напрямком найбільш виступаючих точок хвилястості в сторону, протилежну руху деталі.

Для визначення кроку - S_w і висоти хвилястості - W_z обробленої поверхні були отримані формули, що переводять розмірності координатних осей, за якими записувалася профілограма в програмі PowerGraph, в розмірність кроку і висоти.

Крок хвилястості на профілограмі розраховувався за формулою:

$$S_w = t \cdot v, \quad (3.1)$$

де t - час запису сигналу між однойменними виступами на обробленій поверхні, с;

v - швидкість запису сигналу, яка визначається подачею стола верстата, мм/с.

Для отримання профілограм, наочної для виконання вимірювань та аналізу, була обрана швидкість руху стола 0,64 мм/с.

Висота хвилястості на профілограмі розраховувалася за формулою:

$$W_z = k \cdot V, \quad (3.2)$$

де k - тарирувальне значення для використаного при записі профілограми індуктивного проксиметра XS1M18AB120, мм / В;

V - найбільше відхилення записаного сигналу від положення пружної рівноваги, В.

Значення кроку і висоти хвилястості, що розраховувалися за формулами (3.1) і (3.2) для фрагментів профілограм, показаних на рис 3.29, записані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Крок і висота хвилястості поверхонь зразків з алюмінію та чавуну після зустрічного кінцевого фрезерування

Матеріал	Номер ділянки на профілограмі	1	2	3	4	5
Чавун	Крок хвилястості S_{wi} , мм	3,52	3,29	2,1	2,11	2,03
	Висота хвилястості W_{zi} , мм	0,2	0,19	0,17	0,16	0,16
Алюміній	Крок хвилястості S_{wi} , мм	1,98	1,94	1,6	1,92	2,05
	Висота хвилястості W_{zi} , мм	0,17	0,12	0,15	0,15	0,15

Для визначення впливу коливального руху деталі при фрезеруванні, що призводять до формування хвилястості на обробленій поверхні, розглядалася періодичність зміни відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ППР - $\Delta_{\text{проф}}$. Час різання хоч і має періодичність зміни, але відображає тільки зміну довжини поверхні різання, та на формування обробленої поверхні не впливає.

Можливість оцифрування сигналів, які надходять при фрезеруванні і при запису обробленої поверхні, дозволяє знаходити на осцилограмі фрагменти коливань деталі, а на профілограмі ділянки поверхні, що формуються ними. Це дає можливість оцінювати вплив відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ППР деталі на формування обробленої поверхні.

В табл. 3.2 представлені значення кроку хвилястості обробленої поверхні і кроку хвилястості, розрахованої за формулою по значенням, визначеним по БФО [19]:

$$S_w = n_{рез} \cdot S_z, \quad (3.3)$$

де $n_{рез}$ - кількість різів зубом фрези за період зміни відхилення першої хвилі автоколивань деталі від найбільшого значення до найменшого;

S_z - подача на зуб, мм.

Таблиця 3.2 – Порівняння кроку хвилястості обробленої поверхні з розрахованим кроком

Матеріал	Номер ділянки профілограми	1	2	3	4	5
Чавун	Крок хвилястості S_w на профілограмі, мм	3,22	3,19	2,1	2,1	2,09
	Кількість різів зубом фрези $n_{рез}$	35	33	22	23	20
	Подача на зуб S_z , мм	0,1				
	Крок хвилястості S_w , розрахований по кількості різів, мм	3,5	3,3	2,2	2,3	2,0
	Похибка, %	8,0	3,3	4,5	8,6	4,3
Алюміній	Крок хвилястості S_w на профілограмі, мм	1,98	1,94	1,65	1,92	2,05
	Кількість різів зубом фрези $n_{рез}$	19	20	16	18	20
	Подача на зуб S_z , мм	0,1				
	Крок хвилястості S_w , розрахований по кількості різів, мм	1,9	2,0	1,6	1,8	2,0
	Похибка, %	4,0	3,0	3,0	6,2	2,4

Порівняння кроків хвилястості, визначених по профілограмі і за відхиленнями першої хвилі автоколивань деталі, показує, що різниця між ними не перевищує 9%.

Висота хвилястості $W_{z_{io}}$, що визначається по БФО, розраховується за формулою

$$W_{z_{io}} = 0,0335 \cdot e^{9,6177 \cdot \Delta_{pi}} \quad (4.1)$$

де Δ_{pi} - найбільше відхилення першої хвилі автоколивань на осцилограмі в межах періоду, що формує крок хвилястості, мм.

У таблиці 3.3 наведені значення вимірної і розрахованої глибини хвилястості на обробленій поверхні

Таблиця 3.3 – Порівняння висоти хвилястості, вимірної на профілограмі і розрахованої за формулою

Матеріал	Номер ділянки на профілограмі	1	2	3	4	5
Чавун	Висота хвилястості на профілограмі W_{z_i} , мм	0,2	0,19	0,17	0,16	0,16
	Розрахована висота хвилястості $W_{z_{io}}$, мм	0,22	0,175	0,16	0,15	0,17
	Похибка, %	9,0	7,8	5,8	6,2	5,8
Алюміній	Висота хвилястості на профілограмі W_{z_i} , мм	0,078	0,103	0,077	0,079	0,082
	Розрахована висота хвилястості $W_{z_{io}}$, мм	0,072	0,105	0,072	0,073	0,079
	Похибка, %	7,6	1,9	6,4	7,5	3,6

Порівняння висоти розрахованої хвилястості та визначеної по профілограмі показує, що різниця між ними не перевищує 10%.

Виконаний аналіз параметрів, що характеризують коливання деталі при зустрічному циліндричному фрезеруванні, показує, що формотворчі западини різної глибини на обробленій поверхні формуються відхиленням деталі від ППР при врізанні інструменту. При цьому слід зазначити, що врізання інструменту в деталь характеризується значенням точки $\Delta_{вх}$. І хоч її величина незначна, бо деталь встигає заспокоїтися до наступного врізання зуба, при побудові моделі профілю обробленої поверхні її треба враховувати.

На рис.3.30 наведені моделі оброблених поверхонь для чавуну (а) та алюмінію (б), що побудовані за відхиленнями деталі від ППР на вході та на першій хвилі автоколивань, яка ідентична хвилястості на профілограмах (рис.3.2).

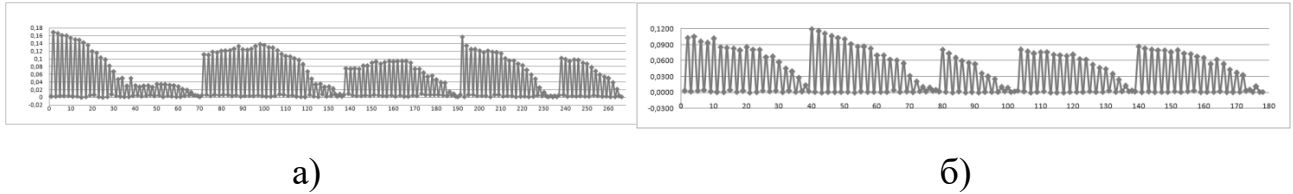


Рисунок 3.30 – Моделі оброблених поверхонь для зразків з чавуну (а) та алюмінію (б), що побудовані за відхиленнями деталі від ППР на першій хвилі автоколивань

Порівняння кроку та висоти хвилястості на обробленій поверхні алюмінію та чавуну показує на їх відмінність. Алюміній має менші значення цих показників, а чавун більші. Також ці відмінності відображаються на моделях, побудованих за значеннями відхилення першої хвилі автоколивань від ППР, визначених за БФО. На підставі цього можна сказати, що механічні властивості матеріалів впливають на характеристики коливального руху деталі при фрезеруванні, що потребує подальших досліджень.

3.3 Висновки

Результати досліджень показують:

1. З 14 досліджених параметрів тільки час різання та відхилення першої хвилі автоколивань мають періодичну зміну при фрезеруванні.
2. Час різання не впливає на формування обробленої поверхні, а характеризує тільки довжину поверхні різання.

3. На формування профілю обробленої поверхні впливає такий показник коливального руху при фрезеруванні, як відхилення першої хвилі автоколивань від ППР.

4. Крок та висота хвилястості на оброблених поверхнях з різних матеріалів мають різні значення, що пов'язано з їх механічними властивостями. А це потребує додаткових досліджень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Магістерська робота «Дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей з алюмінію та чавуну при зустрічному фрезеруванні за допомогою базових фрагментів осцилограми» досліди проводяться на універсальному фрезерному верстаті FWD32J, а також для здійснення запису експериментів під час процесу фрезерування тонкостінних елементів деталей, обробки, аналізу та обчислення отриманих даних використовуються персонально електронно-обчислювальні машини (ПК). Для усунення ризиків травматизму, нещасних випадків та створення безпечних умов роботи необхідно дотримуватися правил техніки безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні та за ПК. В даному розділі пояснювальної записки наведений аналіз потенційно небезпечних факторів, що характеризують умови роботи, заходи з забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, а також пожежної безпеки. Крім вище зазначених питань, розглянуто заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях, а саме: захист населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини [20].

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Металорізальні верстати являються складним обладнанням, робота за яким потребує уважності та дотримання правил експлуатації, від чого залежить безпека роботи, довговічність обладнання та точність проведення дослідів.

При роботі на металорізальних верстатах існують наступні потенційні небезпеки фізичного характеру:

– руйнування ріжучого інструменту внаслідок порушення режимів різання, технологічного процесу може призвести до отримання травм різного ступеню важкості робітником або оточуючих людей через загрозу вильоту зруйнованих частин інструменту або деталі з робочої зони;

– при контакті робітника з поверхнями обладнання, оброблюваної деталі або стружки без захисних рукавиць, які мають підвищену температуру існує ймовірність пошкодження шкіряного покриву;

– під час контакту робітника з гострими кромками, шорсткістю та задирками існує ймовірність механічних травм;

– ураження електричним струмом у зв'язку з невиконанням правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, відсутності захисного заземлення;

– існує ймовірність захвату одягу чи волосся робітника при контакті с рухомими частинами фрезерного верстата (шпиндель, стіл), що може призвести до отримання травм різної ступені тяжкості.

До потенційних небезпек санітарно-гігієнічного характеру відносяться:

– підвищений рівень шуму на робочому місці при роботі обладнання, призводить до розвитку втоми, роздратованості та зниженню уваги;

– запиленість повітря пилом та парами рідин, що виникають при випаровуванні мастил та змащувально-охолоджуючих рідин призводить до подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, що може викликати алергічні захворювання;

– підвищений рівень вібрації обладнання призводить до погіршення чутливості та може стати причиною розвитку віброхвороби, а також спостерігається порушення діяльності центральної нервової системи;

– недостатня освітленість робочого місця може призвести до погіршення зору і появи ризику отримання травми, а також до розвитку професійних захворювань.

До потенційних небезпек, що пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки насамперед можна віднести ймовірність виникнення загорання у зв'язку із-

за несправності електрообладнання, короткого замикання, недотримання або порушення правил безпеки обслуговуючим персоналом, може призвести до розповсюдження пожежі.

Робота за ПК пов'язана з впливом великої кількості психофізичних факторів, що впливають на людину:

– тривала робота в нерухомому положенні, призводить до перенапруження м'язів спини та ніг, що в свою чергу, викликає болі в спині, шийному відділі хребта та руках та може стати передумовою для виникнення захворювань опорно-рухового апарату.

– робота за моніторами має негативний вплив обумовлений електричними полями та електромагнітними випромінюваннями, що може призвести до зниження імунітету, бронхолегеневих та шкірних захворювань.

– монотонність праці, може привести до гальмування реакцій не тільки під час праці, але і після неї;

– тривала робота на ПК при незадовільному освітлені виробничих приміщень може привести до зорової втоми, зниженню здатності розрізняти об'єкти, роздратованості;

– існує ймовірність виникнення надзвичайної ситуації для робітників, майна, приміщень та оточуючого середовища і насамперед може порушити умови життєдіяльності людей та призвести до людських жертв.

4.2 Заходи з забезпечення техніки безпеки

Щоб уникнути механічних та електричних травм під час роботи за обладнанням передбачені заходи по проведенню навчання, перевірки знань з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій,

пожеж і стихійних лих згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Для забезпечення безпеки при проведенні дослідів використовується обладнання, що відповідає ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. «Оборудование производственное. Общие требования безопасности». Органи керування верстатом відповідають вимогам ГОСТ 12.2.064-81. ССБТ. «Органы управления производственным оборудованием. Общие эргономические требования». Робітники повинні дотримуватися правил безпеки при роботі згідно НПАОП 28.5-1.34-90 «Правила по безопасности труда при обработке металлов резанием». Відповідальність за дотримання справного стану і безпечну експлуатацію металорізального верстату покладається на керівника підрозділу, за яким закріплений верстат.

Для уникнення можливих травм при контакті з рухомими частинами обладнання потрібно передбачати захисні огорожі згідно ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные».

При проектуванні та експлуатації технологічного обладнання необхідно передбачати застосування пристроїв, які виключають імовірність контакту людини з небезпечною зоною, або знижують небезпеку контакту (засоби захисту робітників).

Для уникнення травм внаслідок руйнування інструменту необхідно працювати тільки з огороженим інструментом. При проведенні розрахунків на міцність огорож, необхідно враховувати ймовірність вильоту та удару об огорожу заготовок і ріжучого інструменту.

Перед початком роботи потрібно перевірити справність обладнання, гальмівних пристроїв на холостому ході, а також перевірити на справність та наявність дефектів ріжучий інструмент та засоби для закріплення деталей для уникнення ймовірності їх вильоту внаслідок недостатнього закріплення. Не допускати при роботі різних змін режимів різання для того, щоб уникнути можливості руйнування інструменту або порушення закріплення деталі.

Для захисту від можливих порізів, опіків та травм, пов'язаних з вильотом стружки необхідно надати робітнику засоби індивідуального захисту (спеціальний

одяг, спеціальне взуття, засоби захисту рук, очей) згідно НПАОП 0.00-4.01-08 «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту».

Засоби колективного захисту повинні бути передбачені згідно ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация».

Відстань від проходу до фронтальної частини фрезерного верстата повинна становити 1 м, до бокової та тильної сторони 0,5 м. Ширина проходів складає 1,4 м, зона робітника приймається рівною 0,8 м.

Розташування обладнання з точки зору безпеки та ергономіки повинно бути згідно ГОСТ ДСТУ 7234:2011 «Дизайн и эргономика. Оборудование производственное. Общие требования дизайна и эргономики».

Робітник повинен утримувати робоче місце в чистоті, не захаращувати його деталями, металевими відходами, сміттям. Під час роботи не вживати алкогольні напої, дотримуватися вимог санітарних норм та правил особистої гігієни.

Для здійснення безпечної, безаварійної та високопродуктивної роботи електроустановок необхідно правильно організовувати їх експлуатацію для уникнення можливості помилок зі сторони обслуговуючого персоналу.

Для усунення ймовірності ураження електричним струмом в лабораторії з електрообладнанням, що здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц, відповідно до вимог «ПУЕ-2014», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, передбачаються організаційні та технічні заходи. До організаційних відносять проведення навчання правилам електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». До технічних заходів відноситься захисне заземлення, що передбачається згідно ГОСТ 12.1.030-81 (2001)' ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Для вчасного запобігання, вияву та лікування захворювань необхідно регулярно та своєчасно проходити медогляди.

Найбільшою небезпекою та загрозою життю людини при роботі за ПК є ймовірність ураження електричним струмом. Використовувана техніка повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности». Для безпечної експлуатації обладнання застосовується захисне заземлення зі значенням опору заземлення $R_3 = 4$ Ом.

Робота за ПК повинна проводитись згідно НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійних захворювань та підтримки працездатності слід дотримуватись санітарних правил і норм роботи згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Працюючі з ВДТ і ЕОМ підлягають обов'язковим медичним оглядам: попереднім – при влаштуванні на роботу і періодичним – протягом трудової діяльності відповідно до наказу міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Періодичні медичні огляди мають проводитися раз на два роки комісією в складі: терапевта, невропатолога та офтальмолога, жінки обов'язково оглядаються лікарем акушером-гінекологом. До складу комісії, що проводить попередні та періодичні медичні огляди, при необхідності (за наявністю медичних показань) можуть залучатись до оглядів лікарів інших спеціальностей.

Основними критеріями оцінки придатності до роботи з ВДТ і ЕОМ мають бути показники стану органів зору: гострота зору, показники рефракції, акомодациї, стану бінокулярного апарату ока тощо. При цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

Жінки з часу встановлення вагітності та в період годування дитини грудьми до виконання всіх робіт, пов'язаних з використанням ВДТ та ЕОМ, не допускаються.

Приміщення для роботи з ВДТ та ЕОМ повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006.

Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5 %.

Як джерела світла в разі штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. У разі влаштування відбитого освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях допускається застосування металогалогенних ламп потужністю 250 Вт. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 до 90 град. з вертикаллю в повздовжній та поперечній площинах має становити не більше ніж 200 кд/кв. м, захисний кут світильників - не менше ніж 40 град.

Під час роботи з ПК потрібно робити перерви на відпочинок тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи, а у випадках, коли обставини не дозволяють застосовувати перерви тривалість безперервної роботи не повинна перевищувати 4 годин.

Для уникнення можливих травм, пов'язаних з захащенням приміщення комп'ютерною технікою, меблями необхідно облаштовувати приміщення згідно ДСанПіН 5.5.6.009-98 «Влаштування і обладнання кабінетів комп'ютерної техніки в навчальних закладах та режим праці учнів на персональних комп'ютерах».

4.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Загальні санітарно-гігієнічні показники повітря в приміщенні при роботі за верстатом повинні відповідати ГОСТ 12.1.005-88. «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Оптимальні значення

температури в холодну пору року при проведенні дослідницької роботи за фрезерним верстатом 18-20° С, в теплу пору року 21-23° С та мати відносну вологість 40-60%, швидкість руху повітря в робочій зоні приміщення повинна бути не більше 0,2 м/с.

Для запобігання запиленості та загазованості приміщення пилом і парами речовин, що утворюються при випаровуванні змащувально-охолоджуючих рідин та мастил необхідно передбачити вентиляційні системи, які повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Вентиляційні системи також повинні відповідати загальним вимогам ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования».

Рівень шуму кімнаті в лабораторії не повинен перевищувати 65 дБ згідно вимог ГОСТ 12.1.003-83«ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Нормується рівень шуму згідно ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

При організації робочого місця необхідно приймати всі необхідні заходи для зменшення шуму, який впливає на людину на робочих місцях до значень, котрі не перевищують допустимі. Це досягається за рахунок розробки, застосування засобів і методів колективного та індивідуального захисту, використання сучасної техніки з більш меншим виділенням шуму, а також це повинно враховуватись при проектуванні підприємств, будівель та споруд різного призначення.

Оцінку впливу рівня вібрацій необхідно проводити за ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину».

Необхідно дотримуватися санітарних норм при роботі з наявністю вібрацій згідно ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій». При роботі, яка супроводжується вібраціями необхідно робити перерву через кожні 10-15 хвилин роботи. Потрібно зменшувати вібрації за рахунок застосувань конструктивних і технологічних методів, застосовувати засоби віброізоляції та вібропоглинання, своєчасно проводити плановий та попереджувальний ремонт обладнання. Потрібно застосовувати заходи лікувально-профілактичного характеру: професійні та профілактичні огляди, вітамінізація,

лікувальні гімнастика та масаж рук. Для профілактичного лікування та відпочинку працюючих повинні бути організовані профілакторії та кабінети і кімнати, де проводять масаж рук у струмені теплого повітря або сухий обігрів та мікромасаж на спеціальному обладнанні.

При проведенні робіт за металорізальним обладнанням необхідно застосовувати систему комбінованого освітлення. Освітленість при роботі за фрезерним верстатом в зоні обробки повинна бути не менше 2 000 лк, що досягається за рахунок місцевого освітлення, яке передбачається конструкцією обладнання. Вимоги природного та штучного освітлення в приміщеннях повинні виконуватись згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»

Приміщення повинні мати природне та штучне освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк, якщо ці значення неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. Штучне освітлення – освітлення будинків, приміщень, споруд та створення зовнішнього освітлення за допомогою спеціальних електроосвітлювальних установок – світильників. Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення.

Правильно спроектоване та виконане освітлення забезпечує можливість нормальної діяльності, зберігає зір людини, стан його центральної нервової системи. В значній мірі від умов освітленості залежить безпека та продуктивність праці.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежі представляють собою велику загрозу життю та здоров'ю працівників та можуть призвести до величезних матеріальних збитків. Питання забезпечення пожежної безпеки будівель і споруд має велике значення та регламентується

спеціальними державними постановами і рішеннями. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту згідно НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Ці правила встановлюють загальні вимоги з пожежної безпеки до будівель, обладнання, майна.

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні дослідницької лабораторії, обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класу – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

Причинами пожежі можуть бути: несправність електрообладнання (коротке замикання, перевантаження); тривале перевантаження двигунів, приводів; порушення ізоляції, потрапляння іскор або стружки з високою температурою на легкозаймисті матеріали або спецодяг.

Оскільки приміщення дослідницької лабораторії, обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації

«Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Рекомендується для даної категорії приміщення і класу пожежі оснащувати приміщення порошковими вогнегасниками місткістю 5л в кількості 1 шт згідно «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників», затверджені наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстровані в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677. При чому гранична захищувана площа складає 900 м², що більш ніж достатньо для приміщення площею 36 м² в якому проводяться науково-дослідницькі роботи. В порошкових вогнегасниках джерелом гасіння є сухий порошок. Призначаються для гасіння твердих, рідких та газоподібних речовин, а також для матеріалів, які тліють. Рекомендуються для гасіння електроустановок з напругою до 1000 В. Зберігати потрібно у вертикальному стані в легкодоступному місці, захищеному від прямих сонячних променів і далеко від нагрівальних приладів.

4.5 Захист населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини.

Питання, яке необхідно розв'язати в даному підрозділі – це захист населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини.

Хімічне зараження є наслідком аварій на хімічно небезпечних об'єктах ХНО і транспортних засобах, що перевозять СДОР (сильнодіючі отруйні речовини).

Вирішальне значення при аваріях на ХНО має швидкість виконання заходів щодо захисту населення [21].

При загрозі чи виникненні аварії негайно, відповідно до діючих планів, здійснюється оповіщення працюючого персоналу і населення, що проживає поблизу. Населенню даються вказівки про порядок поведіння.

Про аварію керівник об'єкта або черговий диспетчер доповідає начальнику цивільного захисту міста, області.

Обслуговуючий персонал відповідно до діючих на об'єкті інструкцій вживає заходи захисту з ліквідації чи локалізації аварії. По мірі прибуття до цих робіт беруться підрозділи рятувальних служб і спеціалізовані невоєнізовані формування.

За сигналом оповіщення:

– населення вдягає засоби захисту органів дихання (табельні або найпростіші) і виходить із зони зараження в зазначений район;

– о. с. органів керування збирається на пунктах керування;

– о. с. підрозділів рятувальних служб прибуває до місця аварії;

Спеціалізовані невоєнізовані формування, формування медичної служби й охорони громадського порядку прибувають у призначені пункти збору.

У першочерговому порядку організується розвідка, що встановлює місце аварії, вид СДОР, ступінь зараження нею території і повітря, стан людей у зоні зараження, межі зон зараження, напрямок і швидкість вітру, напрямок поширення забруднення.

Розвідка ведеться розвідувальними підрозділами газорятувальної служби і спеціалізованих формувань.

Встановлюється оточення зон зараження й організується регулювання руху.

Після проведення розвідки й ухвалення рішення починається організоване ведення рятувальних робіт. До цього заходи щодо порятунку людей вживаються працюючим персоналом об'єкта і самим населенням у порядку само- і взаємодопомоги.

У зоні зараження намічаються ділянки й об'єкти, на які вводяться рятувальні і медичні формування. Уражені після надання їм допомоги доставляються на незаражену територію, а при необхідності – у лікувальні установи. Населення, яке опинилося в зоні зараження, евакуюється за її межі.

Роботи проводяться з дотриманням запобіжних заходів, використовуються ЗІЗ, передбачається страховка особового складу, що виконує роботи в незручних та ізольованих місцях.

На виході із зон зараження організовується санітарна обробка населення і о.с. формувань, дегазація транспорту та майна. Ці роботи проводяться на ПуСО, СОП і СЗТ. Заражений одяг збирається для наступної дегазації чи знищення.

З метою найшвидшої ліквідації наслідків аварії здійснюється дегазація території, споруджень, устаткування, техніки та інших об'єктів зовнішнього середовища. Повернення населення в зону зараження допускається після проведення контролю зараженості.

Харчова сировина, продукти харчування і фураж, що опинилися в зоні зараження, перевіряють на зараженість, після чого приймається рішення на їхню дегазацію, утилізацію чи знищення.

Запаси води і джерела водопостачання також перевіряються на зараженість.

При виникненні аварії з викидом СДОР на транспорті оповіщаються начальники ЦЗ району, міста й області, на території яких відбулася аварія, і за їх розпорядженням чи за розпорядженням голови надзвичайної комісії приводяться до готовності органи управління, формування розвідки, медичної служби, органи громадського порядку й інші. Організуються оточення місця аварії, рятувальні й інші невідкладні роботи.

Відмінна риса аварії ХНО з викидом СДОР — при високих концентраціях хімічних речовин ураження людей відбувається в короткий термін. Тому вирішальне значення в цих умовах має оперативність (швидкість) виконання заходів щодо захисту населення і персоналу. Основні заходи захисту:

- використання ЗІЗ і приміщень з режимом ізоляції;
- застосування антидотів (протиотрут) і засобів обробки шкірних покривів;
- дотримання режимів поведінки (захисту) на зараженій території;
- евакуація людей із зони зараження, що виникла при аварії;
- санітарна обробка людей, дегазація одягу, території, будівель, транспорту, техніки і майна.

Персонал і населення, що працюють і проживають поблизу ХНО, повинні знати властивості, ознаки і потенційну небезпеку СДОР, використовуваних на данному об'єкті, уміти діяти при виникненні аварії, робити першу медичну допомогу ураженим.

Робітники та службовці, почувши сигнал оповіщення, повинні негайно надягти ЗІЗ, насамперед ізолюючі та промислові протигази. Кожний на своєму робочому місці повинен зробити все можливе для зниження згубних наслідків аварії: забезпечити правильне відключення енергоджерел, зупинити агрегати, апарати, перекрити газові, парові і водяні комунікації згідно з умовами технологічного процесу і правилами техніки безпеки. Потім персонал укривається в підготовлених сховищах або виходить із зони зараження.

Працівники, що входять у невоєнізовані формування ЦЗ, за сигналом про аварію прибувають на пункт збору формування і беруть участь у локалізації й ліквідації осередку хімічного ураження.

Люди, що проживають поблизу ХНО, за сигналом оповіщення повинні вдягти дітей, надіти протигази, закрити вікна і квартирки, відключити електронагрівальні і побутові прилади, газ, погасити вогонь у печах (при опаленні за допомогою грубки), узяти необхідне з теплого одягу і харчування (триденний запас продуктів, що не псуються), попередити сусідів, швидко, але без паніки вийти з житлового масиву у вказаному напрямку чи в бік, перпендикулярний до напрямку вітру, бажано на високу, добре провітрювану ділянку місцевості, на відстань не менше 1,5 км від попереднього місця перебування, де і чекати подальших розпоряджень.

У випадку відсутності протигазів необхідно швидко вийти із зони зараження, затримавши на кілька секунд подих. Для захисту органів дихання можна використовувати підручні вироби з тканин, змочені у воді хутряні і ватяні частини одягу. При закриванні ними органів дихання знижується кількість газу, що вдихається (за рахунок його гідролізу або розчинності у воді), а отже, і сила ураження.

При змушеному перебуванні на зараженій місцевості необхідно суворо дотримуватись таких правил:

- рухатися швидко, але не бігти і не піднімати пилу;
- не тулитися до будинків і не торкатися навколишніх предметів;
- не наступати на краплі рідини чи порошкоподібні розсипи невідомих речовин, що зустрічаються на шляху;
- при виявленні крапель СДОР на шкірі, одязі, взутті, ЗІЗ зняти їх тампоном;
- не знімати ЗІЗ до розпорядження з паперу, ганчір'я чи носовою хусткою;
- по можливості надати необхідну допомогу постраждалим дітям, старим, нездатним рухатися самостійно.

Після виходу із зони зараження потрібно пройти санітарну обробку. Потерпілі, у тому числі і незначно (у яких з'явилися кашель, нудота і т. п.), повинні звернутися в медичні установи для визначення ступеня ураження і проведення профілактичних та лікувальних заходів.

Про усунення небезпеки хімічного ураження і про порядок подальших дій населення оповіщається штабами ЦЗ чи органами поліції. В усіх випадках вхід у житлові й інші приміщення, підвали і виробничі будівлі дозволяється тільки після контрольної перевірки місту СДОР у повітрі цих приміщень.

Як відзначалося раніше, на підприємствах зі СДОР найчастіше зустрічаються хлор і аміак.

Хлор – газ жовто-зеленого кольору з різким запахом, його щільність 3,214 г/л; температура кипіння – 34,05° С; при тиску 600 000 паскалів (Па), тобто 6 атм – зріджується при кімнатній температурі. Застосовують у виробництві хлоровмісних органічних і неорганічних сполук, для відбілювання целюлози і тканин, для санітарних потреб і знезаражування (хлорування) води. За видом ураження належить до СДОР переважно задушливої дії. Ознаки: різкий біль у грудях, задишка, блювання.

Перша допомога ураженому хлором:

- надягти на потерпілого промисловий протигаз марки «В» чи цивільний — ЦП-5 (ЦП-7);

- винести потерпілого на носилках на незаражену територію і зняти протигаз;
- звільнити від одягу, що стримує дихання;
- при відсутності дихання провести штучне, переважно методом «рот у рот»;
- забезпечити повний спокій, а в холодну пору року – і відігрівання потерпілого;
- для пом'якшення подразнення органів дихання дати подихати паром 0,5% розчину питної соди і, по можливості, киснем;
- промити шкіру і слизові оболонки 2% содовим розчином;
- забезпечити вживання потерпілим теплої води з содою, чаю чи кави;
- запобігти можливості самостійного пересування потерпілого, подальше транспортування його повинне проводитися тільки в лежачому стані.

Аміак – безбарвний газ з різким задушливим запахом; його щільність за нормальних умов 0,771 г/л; температура кипіння – 33,35° С, при тиску 900 000 Па (9 атм) зріджується при кімнатній температурі. Вибухонебезпечний, отруйний, добре розчиняється у воді; 10% водяний розчин аміаку називають нашатирним спиртом. Аміак застосовують у виробництві азотної і синильної кислот, соди, добрив; у рідкому вигляді використовують як робоче тіло в холодильних агрегатах. За видом ураження належить до СДОР задушливої і нейротропної дії; основна ознака ураження – утруднене дихання. Звичайні фільтруючі протигazi від аміаку не захищають!

Перша допомога ураженому аміаком:

- надягти на постраждалого промисловий протигаз марки К чи М, при дуже високих концентраціях аміаку – ізолюючий протигаз;
- винести із зони зараження, зняти протигаз і заражений одяг;
- при ослабленні чи зупинці дихання зробити штучне дихання переважно методом «рот у рот»;
- дати подихати водяними парами і попити теплового молока;
- при потраплянні аміаку в шлунок викликати штучне блювання;
- при потраплянні аміаку в очі промити їх водою;

- при великих опіках - ввести знеболюючі засоби і зробити перев'язки;
- забезпечити потерпілому повний спокій і тепло.

4.6 Підвищення безпеки в галузі машинобудування за рахунок роботизації

Науково-технічний прогрес, полегшуючи працю, підвищуючи його продуктивність і безпеку, не виключає повністю проблеми охорони праці і захисту навколишнього середовища.

Застосування в промисловості автоматів і роботів змінює зміст роботи людини, скорочує ручну некваліфіковану працю, покращує умови праці і дозволяє вивільняти і спрямовувати на більш престижні роботи значну кількість робітників. Автомати та роботи знижують травматизм на підприємствах. Але при їх роботі можливий вплив на працюючих фізично небезпечних виробничих факторів: рухливих пристроїв, автоматів і роботів, і пересувного (рухливого) матеріалу (виробів, заготовок, інструменту і т.п.). Основними причинами впливу на працюючих небезпечних виробничих факторів при використанні промислових роботів, роботизованих технологічних комплексів і ділянок можуть бути:

- непередбачені рухи виконавчих пристроїв робота під час навчання або при налагодженні, регулюванні, ремонті;
- аварія на обслуговуванні роботом ділянці (відмова робота або технологічного обладнання, спільно з яким він працює);
- помилкові (ненавмисні) дії оператора при налагодженні, ремонті або під час роботи робота в автоматичному режимі;
- вхід людини в робочий простір і робочу зону робота;
- порушення умов експлуатації робота і (або) роботизованого технологічного комплексу і, зокрема, використання робота не за призначенням і не відповідно з його технічними даними;

– порушення вимог ергономіки та безпеки праці при організації роботизованої ділянки, зокрема, неправильне розташування обладнання, транспортних засобів, тари, пультів управління, завантажувальних і розвантажувальних пристроїв, накопичувачів [22].

4.7 Висновки

В ході роботи був проведений аналіз потенційних небезпек, які можуть виникнути при проведенні дослідів у лабораторії при роботі за фрезерним верстатом і ПК. Аналіз показав, що дослідницька робота супроводжується великою кількістю факторів, які створюють небезпеку та можуть призвести до негативних наслідків у разі недотримання правил і вимог техніки безпеки. Були проведені заходи щодо забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, а також пожежної безпеки з урахуванням вимог нормативних документів та стандартів, які забезпечують безпечні та комфортні умови для виконання дослідницьких робіт та експериментів при роботі за використовуваним обладнанням.

Розглянуто заходи захисту населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі були виконані наступні завдання та отримані результати:

1. Виконано літературний огляд джерел з досліджень впливу автоколивального процесу при обробці деталей на металорізальних верстатах та аналізу осцилограм, що описують коливання деталі при різанні. Встановлено, що недостатньо дослідженим залишається питання, обробки деталей на металорізальних верстатах з автоколиваннями.

2. Проведено фрезерування зразків з алюмінію та чавуну. З записаних осцилограм коливань зразків для подальших досліджень визначено 14 параметрів, що характеризують коливальний рух деталі.

3. Досліджено вплив показників БФО на якість обробленої поверхні. А саме, відхилення першої хвилі автоколивань та відхилення деталі від положення рівноваги при вході зуба фрези від ППР формує хвилястість обробленої поверхні та впливає на її глибину.

4. Крок та висота хвилястості на оброблених поверхнях з різних матеріалів мають різні значення, що пов'язано з їх механічними властивостями. А це потребує додаткових досліджень.

5. Вирішені питання з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Встановлені потенційні небезпеки, які можуть виникнути при проведенні дослідів у лабораторії під час роботи за фрезерним верстатом, а також при роботі за ПК.

6. З'ясовано, що робота за верстатом і ПК має велику кількість факторів, які створюють небезпеку при виконанні встановлених робіт та можуть призвести до негативних наслідків у разі недотримання правил и вимог техніки безпеки.

7. Розроблено заходи щодо забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, а також пожежної безпеки.

8. Запропоновано заходи, які забезпечують безпечні та комфортні умови для виконання дослідницьких робіт та експериментів.

9. Наведено заходи захисту населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Внуков Ю.Н. Разработка комплекса экспериментальных методик исследования виброустойчивости процесса резания концевыми фрезами с разнонаклонными зубьями / Ю. Н. Внуков, С. И. Дядя, Е. Б. Козлова, А. Е. Зубарев // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць [Текст]. – Вип.3(8). – О.:Наука і техніка, 2015. – С. 24-40.
2. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
3. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. – М. : Машиностроение, 1955. - 515 с.
4. Каширин А. И. Исследование вибраций при резании металлов / А. И. Каширин. – М.: Издательство АН СССР, 1944. – 132 с.
5. Армарего И. Д. Обработка металлов резанием: Пер. с англ. / И. Д. Армарего, Р. Х. Браун – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
6. Журавлев В. Н. Снижение веса машиностроительных конструкций. 2-е изд. перераб. и доп. / В. Н. Журавлев. – Свердловск, Машгиз. 1961. – 239 с.
7. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.
8. Свинин В. М. Управление регенеративными автоколебаниями при фрезеровании на основе модуляции скорости резания: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Свинин Валерий Михайлович. – Иркутск, 2008. – 342 с
9. Budak E. Analytical Prediction of Chatter Stability Conditions for Multi-Degree of Systems in Milling. Part I: Modeling / E. Budak, Y. Altintas // Transactions of ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. – 1998. – Vol. 120. – P. 22–30
10. Budak E. Analytical Prediction of Chatter Stability Conditions for Multi-Degree of Systems in Milling. Part II: Modeling / E. Budak, Y. Altintas // Transactions of

ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. – 1998. – Vol. 120. – P. 31–36

11. Ильницкий И.И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения. / И.И. Ильницкий. – М.: Машгиз, 1958. – 144 с.

12. Opitz H. 1969, Investigation and Calculation of the Chatter Behavior of Lathes and Milling Machines / H. Opitz // Annals of the CIRP. – 1969. – Vol. 18. – P. 335–342

13. Tlusty J. Basic Nonlinearity in Machining Chatter / J. Tlusty, F. Ismail // Annals of the CIRP. – 1981. – Vol. 30. – P. 21–25.

14. Дядя С.И. Систематизация колебаний при концевом фрезеровании тонкостенных элементов деталей / С.И.Дядя, Е.Б.Козлова, Э.В.Кондратюк, А.Е.Зубарев, В.А.Кришталь // Вестник двигателестроения. №1, 2016. С.68-71.

15. Дядя С. И. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей [Электронный ресурс] : монография / [Внуков Ю. Н., Дядя С.И., Козлова Е.Б. и др.] ; под ред. Ю. Н. Внукова. – Электрон. данные. – Запорожье : ЗНТУ, 2017

16. Патент UA 94974 МПК (2006) G01H11/00; G01M7/02. Стенд для дослідження коливань при кінцевому циліндричному фрезеруванні тонкостінних елементів деталей. Логомінов Віктор Олексійович, Гермашев Антон Ігоревич, Дядя Сергій Іванович, Козлова Олена Борисівна. -u201405981; заява 02.06.2014; опубл. 10.12.2014.

17. Пат. 103031 Україна, МПК (2006) G01H11/00, G01M7/02. Стенд для оцінки коливального процесу деталі при циліндричному фрезеруванні, Внуков Ю.М., Гермашев А.І., Кучугуров М.В., Дядя С.І., Козлова О.Б., заявник та власник патенту ЗНТУ - №u201506355; заявл 26.06.2015; опубл 25.11.2015, Бюл. № 22.

18. Козлова Е.Б. Подавление регенеративных автоколебаний при фрезеровании тонкостенного элемента детали концевыми цилиндрическими фрезами: дис. канд. техн. наук.: 05.03.01/Козлова Елена Борисовна. – Запорожье, 2016. – 220с.

19. Дядя С.И. Исследование формирования обработанной поверхности тонкостенного элемента детали при концевом цилиндрическом фрезеровании с

автоколебаннями [Текст] /С.И. Дядя // Сучасні технології в машинобудуванні Харків: НТУ «ХП», 2017.вип.12./

20. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»(спеціалізація «Технологія машинобудування»); 133 «Галузеве машинобудування» (спеціалізація «Металорізальні верстати та системи); 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»(спеціалізація «Авіаційні двигуни та енергетичні установки»,«Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок») / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 –28 с.

21. Шоботов В.М. Цивільна оборона: навч. посібник: Вид. 2-ге, перероб. — К.: Центр навчальної літератури, 2006. — 438 с.

22. <http://www.ua-referat.com>

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Параметри коливань деталі з алюмінію

№ БФО	$R_{1,MM}$	$\Delta_{вх,MM}$	$R_{2,MM}$	$T_{AK,MC}$	T_z,MC	$t_{пр1,MC}$	$t_{x,x,MC}$	$\Delta_{max,MM}$	$\Delta_{внх,MM}$	$A_{1,MM}$	$T_{BKE,MC}$	δ	$\Delta_{проф,MM}$	$t_{проф,MC}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,0068	0,0026	0,262	1,59	196,1	8,7	187,38	0,176	0,0470	0,076	2,37	0,048	0,104	1,17
2	0,0024	0,0016	0,270	1,65	197,7	8,76	188,97	0,182	0,0446	0,068	2,34	0,055	0,105	1,2
3	0,0059	0,0026	0,268	1,77	197,8	8,94	188,82	0,172	0,0441	0,071	2,31	0,036	0,096	1,2
4	0,0078	0,0041	0,268	1,80	197,6	8,97	188,61	0,173	0,0278	0,070	2,31	0,040	0,093	1,14
5	0,0069	0,0016	0,228	1,89	197,7	9,12	188,55	0,155	0,0229	0,048	2,31	0,063	0,102	1,08
6	0,0034	0,0001	0,291	1,80	198,0	9,33	188,64	0,181	0,0096	0,049	2,31	0,051	0,086	1,29
7	0,0034	0,0002	0,287	1,83	197,8	9,18	188,58	0,184	0,0023	0,042	2,31	0,062	0,084	1,11
8	0,0029	0,0043	0,279	1,83	197,8	9,12	188,64	0,180	0,0125	0,041	2,31	0,050	0,083	1,02
9	0,0039	0,0007	0,292	1,83	197,6	9,15	188,43	0,187	0,0187	0,052	2,31	0,053	0,079	1,02
10	0,0054	0,0028	0,288	1,86	197,6	9,12	188,52	0,183	0,0206	0,056	2,4	0,057	0,085	0,99
11	0,0043	0,0001	0,284	1,83	197,8	9,21	188,61	0,181	0,0304	0,058	2,19	0,039	0,081	1,02
12	0,0073	0,0003	0,278	1,92	197,7	9,33	188,4	0,180	0,0348	0,060	2,34	0,050	0,081	0,93
13	0,0059	0,0033	0,291	1,92	197,9	9,45	188,43	0,182	0,0402	0,068	2,37	0,080	0,067	0,99
14	0,0029	0,0018	0,311	1,83	197,7	9,45	188,25	0,195	0,0668	0,059	2,34	0,042	0,067	0,96
15	0,0064	0,0028	0,329	1,86	197,7	9,54	188,19	0,202	0,0555	0,066	2,19	0,042	0,057	0,96
16	0,0029	0,0003	0,332	1,86	197,8	9,63	188,13	0,206	0,0624	0,058	2,37	0,045	0,046	0,99
17	0,0058	0,0028	0,327	1,86	197,9	9,63	188,25	0,201	0,0732	0,064	2,28	0,056	0,039	0,96
18	0,0058	0,0006	0,326	1,95	197,6	9,66	187,89	0,205	0,0697	0,061	2,46	0,048	0,028	0,87
19	0,0049	0,0013	0,322	1,92	197,9	9,81	187,97	0,208	0,0697	0,062	2,4	0,047	0,014	1,11
20	0,0054	0,0018	0,304	1,83	196,3	8,4	187,89	0,198	0,0644	0,062	2,31	0,057	0,119	1,17
21	0,0049	0,0006	0,300	1,86	196,2	8,49	187,74	0,199	0,0633	0,060	2,31	0,056	0,116	1,17
22	0,0049	0,0001	0,308	1,86	197,8	8,55	189,21	0,200	0,0633	0,062	2,25	0,063	0,112	1,14
23	0,0034	0,0008	0,310	1,86	197,6	9,15	188,49	0,201	0,0238	0,069	2,25	0,052	0,106	1,14
24	0,0044	0,0003	0,308	1,89	197,6	9,21	188,34	0,197	0,0095	0,040	2,22	0,068	0,103	1,2
25	0,0034	0,0008	0,263	2,07	197,8	9,57	188,19	0,183	0,0228	0,055	2,28	0,039	0,101	1,17
26	0,0073	0,001	0,292	1,89	197,9	9,39	188,52	0,185	0,0067	0,057	2,19	0,046	0,091	1,29
27	0,0044	0,0001	0,299	1,86	197,8	9,57	188,19	0,189	0,0218	0,063	2,25	0,044	0,086	1,14
28	0,0063	0,0015	0,297	1,95	197,7	9,57	188,1	0,192	0,0085	0,064	2,28	0,041	0,086	1,17
29	0,0078	0,0006	0,295	2,01	197,6	9,84	187,71	0,192	0,0360	0,063	2,34	0,042	0,083	1,11
30	0,0073	0,001	0,286	1,92	197,7	10,05	187,68	0,185	0,0296	0,053	2,31	0,075	0,070	1,2
31	0,0044	0,0008	0,288	1,95	197,9	10,53	187,32	0,185	0,0439	0,055	2,25	0,039	0,070	1,26
32	0,0063	0,0008	0,281	1,98	197,3	10,26	187,02	0,181	0,0488	0,060	2,19	0,037	0,062	1,08
33	0,0073	0,0039	0,276	1,98	195,3	10,62	184,65	0,178	0,0070	0,052	2,25	0,054	0,061	1,56
34	0,0054	0,001	0,267	2,04	194,5	10,38	184,14	0,173	0,0094	0,051	2,28	0,075	0,054	1,23
35	0,0039	0,0013	0,275	1,92	197,8	10,29	187,5	0,174	0,0127	0,038	2,25	0,043	0,031	1,08

Продовження таблиці А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
36	0,0049	0,0003	0,274	1,98	197,7	10,38	187,32	0,172	0,0023	0,038	2,25	0,056	0,021	1,02
37	0,0034	0,0018	0,268	1,95	197,8	10,38	187,44	0,176	0,0269	0,045	2,22	0,058	0,010	1,02
38	0,0039	0,0015	0,259	1,98	197,0	10,38	186,63	0,170	0,0353	0,049	2,28	0,049	0,009	1,02
39	0,0034	0,0028	0,249	1,98	197,9	10,41	187,53	0,176	0,0319	0,047	2,25	0,060	0,004	0,72
40	0,0024	0,0013	0,247	1,71	196,2	9,3	186,9	0,178	0,0097	0,051	2,28	0,050	0,081	1,2
41	0,0039	0,0008	0,247	1,80	197,8	9,24	188,55	0,177	0,0114	0,050	2,28	0,073	0,074	1,29
42	0,0059	0,0001	0,258	1,74	197,7	9,12	188,58	0,180	0,0028	0,054	2,37	0,077	0,065	1,26
43	0,0044	0,0013	0,257	1,77	197,6	9,36	188,19	0,185	0,0036	0,050	2,43	0,045	0,060	1,17
44	0,0083	0,0062	0,254	1,89	197,9	9,87	188,04	0,182	0,0395	0,053	2,31	0,076	0,056	1,58
45	0,0044	0,0003	0,255	1,89	197,9	9,54	188,37	0,180	0,0060	0,052	2,31	0,074	0,054	1,26
46	0,0039	0,0001	0,257	1,83	197,5	9,87	187,59	0,180	0,0552	0,058	2,25	0,075	0,036	1,08
47	0,0039	0,0085	0,251	1,89	198,0	9,6	188,43	0,178	0,0471	0,060	2,19	0,060	0,030	1,38
48	0,0034	0,0006	0,231	1,92	195,8	10,14	185,7	0,164	0,0380	0,054	2,25	0,054	0,025	1,2
49	0,0049	0,0008	0,227	1,50	197,6	9,66	187,92	0,162	0,0001	0,052	2,22	0,052	0,010	1,14
50	0,0044	0,0023	0,222	1,53	193,7	10,26	183,42	0,164	0,0459	0,057	2,28	0,046	0,009	0,93
51	0,0029	0,0011	0,213	1,65	201,3	13,56	187,74	0,163	0,0574	0,057	2,46	0,081	0,002	0,48
52	0,0054	0,0033	0,196	1,74	199,1	9,75	189,33	0,154	0,0545	0,050	2,19	0,042	0,080	1,53
53	0,0029	0,0013	0,193	1,80	197,7	8,58	189,15	0,150	0,0638	0,059	2,22	0,054	0,077	1,56
54	0,0049	0,0001	0,193	1,89	197,8	8,49	189,33	0,154	0,0693	0,063	2,34	0,064	0,073	1,56
55	0,0063	0,0008	0,186	1,95	195,8	8,49	187,35	0,154	0,0722	0,063	2,4	0,081	0,076	1,44
56	0,0049	0,0023	0,170	2,04	194,5	8,7	185,76	0,142	0,0678	0,063	2,37	0,081	0,076	1,38
57	0,0039	0,0001	0,166	2,16	197,8	8,85	188,94	0,139	0,0702	0,067	2,34	0,058	0,071	1,38
58	0,0049	0,0001	0,165	2,13	197,8	8,88	188,8	0,134	0,0644	0,060	2,16	0,049	0,070	1,44
59	0,0039	0,0001	0,152	2,28	198,0	9,27	188,76	0,125	0,0422	0,056	2,4	0,078	0,069	1,38
60	0,0049	0,0006	0,148	2,22	197,6	8,97	188,61	0,118	0,0486	0,044	2,43	0,055	0,071	1,17
61	0,0054	0,0006	0,141	2,22	197,9	9,18	188,73	0,116	0,0505	0,047	2,43	0,077	0,063	1,38
62	0,0039	0,001	0,144	2,37	197,6	9	188,64	0,118	0,0565	0,051	2,28	0,049	0,062	1,08
63	0,0039	0,0023	0,142	2,04	198,1	9,48	188,58	0,118	0,0166	0,061	2,31	0,049	0,053	1,32
64	0,0058	0,0006	0,137	2,37	197,9	9	188,85	0,117	0,0619	0,060	2,25	0,061	0,047	0,99
65	0,0044	0,0008	0,127	2,25	196,2	9,15	187,02	0,114	0,0520	0,056	2,4	0,056	0,044	0,96
66	0,0034	0,0033	0,117	2,43	199,4	10,71	188,7	0,108	0,0574	0,052	2,31	0,042	0,034	1,29
67	0,0083	0,001	0,109	2,82	197,7	9,24	188,49	0,105	0,0476	0,046	2,34	0,074	0,024	0,96
68	0,0034	0,0023	0,100	1,38	196,4	9,66	186,72	0,099	0,0127	0,049	2,22	0,052	0,012	0,87
69	0,0039	0,0018	0,104	1,56	199,0	10,86	188,16	0,091	0,0545	0,051	2,22	0,071	0,003	1,95
70	0,0039	0,0016	0,110	1,50	198,1	10,08	187,32	0,096	0,0534	0,050	2,34	0,046	0,086	2,91
71	0,0054	0,0001	0,114	1,59	198,8	9,54	189,24	0,098	0,0603	0,056	2,4	0,064	0,083	2,58
72	0,0029	0,0016	0,121	1,68	197,9	8,67	189,27	0,090	0,0583	0,057	2,28	0,052	0,080	1,56
73	0,0044	0,0002	0,114	1,68	194,7	8,67	186	0,090	0,0543	0,050	2,34	0,042	0,079	1,41
74	0,0035	0,0012	0,112	1,71	198,6	9,69	188,88	0,092	0,0435	0,041	2,46	0,045	0,079	2,22
75	0,0024	0,0007	0,132	1,74	197,9	9,06	188,79	0,097	0,0411	0,038	2,37	0,047	0,076	1,44
76	0,0014	0,0021	0,149	1,74	198,0	9,06	188,91	0,107	0,0381	0,036	2,16	0,058	0,079	1,41
77	0,0046	0,0012	0,168	1,74	197,9	9,03	188,82	0,119	0,0381	0,037	2,28	0,041	0,074	1,35
78	0,0024	0,0021	0,187	1,74	197,8	8,97	188,79	0,135	0,0455	0,043	2,16	0,047	0,073	1,23
79	0,0014	0,0034	0,196	1,74	198,0	9,09	188,94	0,142	0,0413	0,043	2,28	0,030	0,068	1,23

Продовження таблиці А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
80	0,0073	0,0001	0,214	1,74	197,2	8,88	188,34	0,154	0,0376	0,040	2,31	0,060	0,065	1,05
81	0,0019	0,0007	0,215	1,80	197,9	9,48	188,46	0,156	0,0519	0,057	2,28	0,046	0,053	1,53
82	0,0029	0,0007	0,200	1,77	197,5	9,36	188,16	0,149	0,0534	0,052	2,22	0,064	0,062	1,32
83	0,0024	0,0023	0,194	1,77	197,9	9,84	188,1	0,142	0,0460	0,044	2,25	0,060	0,053	1,62
84	0,0034	0,0003	0,215	1,71	198,1	9,78	188,31	0,155	0,0445	0,046	2,37	0,065	0,043	1,44
85	0,0034	0,0001	0,233	1,77	197,9	9,54	188,4	0,169	0,0420	0,047	2,28	0,049	0,037	1,14
86	0,0039	0,0007	0,238	1,74	197,5	9,51	188,01	0,168	0,0391	0,042	2,19	0,059	0,032	0,99
87	0,0034	0,0027	0,262	1,71	197,5	9,93	187,56	0,185	0,0317	0,068	2,28	0,068	0,006	1,23
88	0,0029	0,0007	0,253	1,83	198,7	10,03	188,61	0,180	0,0647	0,063	2,04	0,037	0,011	1,34
89	0,0062	0,0007	0,269	1,77	199,2	9,24	189,96	0,186	0,0735	0,043	2,31	0,043	0,001	0,99

Таблиця А2 – Параметри коливань деталі з чавуну

№ БФО	$R_1, \text{мм}$	$\Delta_{\text{вх}}, \text{мм}$	$R_2, \text{мм}$	$T_{\text{АК}}, \text{мс}$	$T_z, \text{мс}$	$t_{\text{різ}}, \text{мс}$	$t_{\text{х}}, \text{мс}$	$\Delta_{\text{max}}, \text{мм}$	$\Delta_{\text{внх}}, \text{мм}$	$A_1, \text{мм}$	$T_{\text{ВКЕ}}, \text{мс}$	δ	$\Delta_{\text{проф}}, \text{мм}$	$t_{\text{проф}}, \text{мс}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,0054	0,0019	0,208	1,38	197,76	9,42	188,34	0,179	0,035	0,076	2,28	0,061	0,169	1,71
2	0,0078	0,0019	0,21	1,44	197,85	9,57	188,28	0,159	0,019	0,069	2,34	0,062	0,166	1,5
3	0,0044	0,0034	0,215	1,5	197,55	9,63	187,92	0,163	0,012	0,057	2,28	0,058	0,161	1,53
4	0,0049	0,0034	0,192	1,5	198,12	9,96	188,16	0,144	0,015	0,05	2,31	0,043	0,159	1,71
5	0,0063	0,0044	0,189	1,56	197,97	9,99	187,98	0,144	0,059	0,063	2,31	0,03	0,154	1,53
6	0,0073	0,0019	0,225	1,59	197,64	9,96	187,68	0,172	0,085	0,074	2,31	0,039	0,15	1,38
7	0,0029	0,0024	0,252	1,53	198	10,14	187,86	0,199	0,073	0,068	2,28	0,032	0,149	1,5
8	0,0063	0,0004	0,271	1,56	197,91	10,29	187,62	0,208	0,102	0,093	2,28	0,033	0,142	1,35
9	0,0113	0,0009	0,294	1,59	197,58	10,5	187,08	0,217	0,12	0,119	2,28	0,037	0,135	1,29
10	0,0073	0,0054	0,31	1,65	197,91	10,5	187,41	0,223	0,123	0,108	2,37	0,034	0,119	1,53
11	0,0068	0,0059	0,347	1,62	197,82	10,83	186,99	0,242	0,142	0,127	2,34	0,032	0,115	1,5
12	0,0093	0,0009	0,349	1,68	197,49	9,57	187,92	0,236	0,121	0,144	2,37	0,062	0,103	1,47
13	0,0078	0,0004	0,367	1,68	198,33	11,4	186,93	0,241	0,144	0,128	2,34	0,039	0,097	1,8
14	0,0069	0,0014	0,372	1,68	197,22	11,13	186,09	0,233	0,184	0,156	2,31	0,057	0,082	1,26
15	0,0113	0,0073	0,379	1,74	197,82	11,7	186,12	0,229	0,169	0,147	2,34	0,04	0,067	1,68
16	0,0073	0,0044	0,373	1,71	197,79	11,7	186,09	0,217	0,169	0,145	2,31	0,038	0,047	1,59
17	0,0073	0,0019	0,382	1,74	198,06	12	186,06	0,216	0,145	0,125	2,34	0,032	0,049	1,68
18	0,0113	0,0014	0,364	1,8	197,85	10,35	187,5	0,207	0,117	0,158	2,31	0,037	0,029	1,44
19	0,0083	0,0014	0,261	1,95	198,03	10,47	187,56	0,173	0,093	0,119	2,31	0,036	0,05	1,26
20	0,0044	0,0042	0,218	1,83	194,34	6,72	187,62	0,152	0,048	0,086	2,28	0,029	0,031	1,62
21	0,0073	0,0054	0,201	1,92	193,5	6,33	187,17	0,143	0,084	0,100	2,28	0,032	0,026	2,07
22	0,0044	0,0029	0,174	2,07	194,19	6,69	187,5	0,13	0,085	0,097	2,31	0,033	0,029	1,44
23	0,0078	0,0044	0,163	2,16	193,98	6,96	187,02	0,115	0,041	0,082	2,31	0,033	0,031	1,05
24	0,0049	0,0059	0,158	2,22	195,75	6,81	188,94	0,107	0,029	0,059	2,34	0,029	0,027	1,05
25	0,0019	0,0034	0,159	2,1	196,05	7,56	188,49	0,116	0,07	0,059	2,37	0,028	0,035	1,02
26	0,0044	0,0049	0,16	2,16	196,11	6,81	189,3	0,105	0,044	0,080	2,37	0,032	0,033	1,17

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
27	0,0069	0,0014	0,154	2,19	195,99	6,96	189,03	0,118	0,068	0,072	2,37	0,032	0,033	1,17
28	0,0034	0,0044	0,159	2,16	196,23	7,5	188,73	0,126	0,028	0,064	2,34	0,03	0,032	1,23
29	0,0054	0,0029	0,157	2,25	196,11	7,83	188,28	0,126	0,044	0,049	2,31	0,027	0,031	1,17
30	0,0068	0,0014	0,154	2,37	197,79	8,04	189,75	0,127	0,085	0,074	2,28	0,029	0,028	1,08
31	0,0063	0,0014	0,163	1,68	197,64	8,13	189,51	0,141	0,098	0,086	2,31	0,043	0,021	1,08
32	0,0039	0,0039	0,167	1,83	198	8,07	189,93	0,147	0,004	0,087	2,34	0,033	0,018	1,26
33	0,0069	0,0054	0,168	1,98	197,79	7,8	189,99	0,151	0,055	0,066	2,37	0,032	0,013	1,05
34	0,0039	0,0049	0,147	1,47	195,84	8,43	187,41	0,136	0,055	0,047	2,34	0,032	0,005	1,11
35	0,0034	0,0034	0,155	1,5	197,73	8,52	189,21	0,145	0,087	0,077	2,34	0,032	0,001	1,11
36	0,0054	0,0049	0,162	1,29	197,97	9,24	188,73	0,157	0,061	0,059	2,28	0,026	0,111	2,97
37	0,0074	0,0063	0,164	1,23	197,67	9,24	188,43	0,159	0,054	0,058	2,28	0,028	0,109	3,03
38	0,0034	0,0044	0,139	1,2	198,06	9,12	188,94	0,171	0,05	0,066	2,31	0,031	0,118	3,09
39	0,0049	0,0059	0,154	1,29	197,73	8,82	188,91	0,182	0,037	0,076	2,28	0,034	0,117	2,79
40	0,0034	0,0054	0,191	1,32	197,58	9,21	188,37	0,192	0,046	0,070	2,31	0,031	0,121	2,91
41	0,0063	0,0059	0,189	1,38	197,47	8,76	188,71	0,181	0,038	0,078	2,31	0,035	0,12	2,22
42	0,0049	0,0059	0,183	1,47	198,27	7,74	190,53	0,18	0,081	0,099	2,31	0,033	0,122	1,8
43	0,0063	0,0034	0,215	1,38	196,47	8,88	187,59	0,194	0,113	0,124	2,28	0,034	0,126	1,41
44	0,0078	0,0049	0,211	1,47	196,59	8,1	188,49	0,174	0,081	0,129	2,28	0,034	0,133	2,01
45	0,0073	0,0019	0,2	1,47	198,63	9,15	189,48	0,163	0,093	0,124	2,37	0,038	0,125	2,55
46	0,0049	0,0044	0,189	1,5	198,12	8,31	189,81	0,147	0,052	0,096	2,28	0,036	0,123	1,83
47	0,0049	0,0044	0,184	1,62	197,55	8,19	189,36	0,14	0,042	0,072	2,31	0,031	0,126	1,53
48	0,0054	0,0034	0,194	1,68	198,21	8,55	189,66	0,154	0,037	0,070	2,34	0,03	0,132	1,74
49	0,0054	0,0054	0,21	1,65	196,83	8,58	188,25	0,167	0,036	0,060	2,31	0,029	0,138	1,47
50	0,0063	0,0034	0,231	1,56	198,93	9,66	189,27	0,178	0,02	0,043	2,31	0,023	0,135	2,46
51	0,0054	0,0018	0,248	1,44	197,85	8,76	189,09	0,185	0,01	0,043	2,28	0,023	0,13	1,38
52	0,0059	0,0019	0,279	1,53	197,85	8,88	188,97	0,197	0,058	0,067	2,31	0,033	0,128	1,41
53	0,0044	0,0039	0,311	1,59	197,91	9,18	188,73	0,199	0,07	0,092	2,31	0,063	0,122	1,38
54	0,0088	0,0073	0,299	1,65	198	9,15	188,85	0,197	0,074	0,081	2,31	0,029	0,113	1,35
55	0,0069	0,0069	0,341	1,68	197,61	9,21	188,4	0,204	0,117	0,114	2,28	0,034	0,107	1,26
56	0,0054	0,0039	0,375	1,77	198,21	9,69	188,52	0,211	0,132	0,145	2,31	0,034	0,106	1,68
57	0,0093	0,0054	0,379	1,65	197,52	9,45	188,07	0,209	0,104	0,153	2,31	0,035	0,1	1,26
58	0,0083	0,0019	0,396	1,68	197,34	9,69	187,65	0,216	0,128	0,158	2,31	0,035	0,096	1,38
59	0,0098	0,0014	0,402	1,71	198,57	10,41	188,16	0,215	0,116	0,170	2,28	0,035	0,085	1,98
60	0,0098	0,0005	0,392	1,74	197,47	9,78	187,69	0,218	0,139	0,149	2,31	0,034	0,067	1,26
61	0,0108	0,0069	0,392	1,77	197,34	10,38	186,96	0,2	0,177	0,152	2,31	0,037	0,048	1,65
62	0,0088	0,0024	0,324	1,77	197,19	9,81	187,38	0,182	0,194	0,162	2,31	0,054	0,033	0,84
63	0,0137	0,0014	0,297	1,83	196,14	8,91	187,23	0,172	0,188	0,154	2,31	0,036	0,034	1,83
64	0,0069	0,0083	0,275	1,83	195,36	8,28	187,08	0,163	0,178	0,148	2,31	0,034	0,026	1,65
65	0,0108	0,0024	0,252	1,92	196,17	9,09	187,08	0,149	0,163	0,138	2,31	0,033	0,028	1,71
66	0,0093	0,0044	0,2	1,95	196,53	9,33	187,2	0,121	0,132	0,113	2,31	0,032	0,022	2,01
67	0,0088	0,0073	0,172	1,95	195,36	7,8	187,56	0,097	0,099	0,074	2,34	0,027	0,003	1,05
68	0,0083	0,0073	0,173	1,95	197,85	8,19	189,66	0,106	0,095	0,081	2,34	0,03	0,002	1,11
69	0,0063	0,0059	0,171	1,89	195,69	6,21	189,48	0,111	0,086	0,076	2,31	0,027	0,075	1,05
70	0,0078	0,0093	0,203	1,89	194,31	6,3	188,01	0,101	0,092	0,087	2,31	0,03	0,073	1,11

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
71	0,0063	0,0049	0,164	1,92	195,54	6	189,54	0,107	0,069	0,062	2,34	0,031	0,075	1,11
72	0,0044	0,0039	0,164	1,98	195,24	6,63	188,61	0,11	0,038	0,033	2,31	0,023	0,074	1,65
73	0,0029	0,0044	0,161	1,83	195,87	6,54	189,33	0,107	0,031	0,028	2,31	0,029	0,081	1,23
74	0,0044	0,0049	0,158	1,83	196,02	6,36	189,66	0,111	0,034	0,028	2,31	0,02	0,081	1,23
75	0,0034	0,0044	0,167	1,86	196,2	6,63	189,57	0,126	0,028	0,026	2,34	0,014	0,09	1,23
76	0,0074	0,0059	0,171	1,95	196,02	6,69	189,33	0,127	0,04	0,039	2,28	0,023	0,092	1,02
77	0,0034	0,0054	0,159	1,92	196,05	7,05	189	0,117	0,059	0,052	2,31	0,023	0,087	1,35
78	0,0078	0,0039	0,157	1,77	195,12	7,11	188,01	0,121	0,065	0,057	2,28	0,028	0,091	1,14
79	0,0039	0,0034	0,17	1,77	198	7,29	190,71	0,133	0,047	0,036	2,31	0,021	0,093	1,32
80	0,0069	0,0049	0,176	1,8	197,64	6,78	190,86	0,14	0,005	0,013	2,31	0,012	0,092	1,17
81	0,0044	0,0029	0,181	1,8	197,94	7,2	190,74	0,147	0,007	0,012	2,31	0,0079	0,094	1,02
82	0,0059	0,0049	0,179	1,86	196,47	7,32	189,15	0,14	0,044	0,037	2,31	0,019	0,093	1,02
83	0,0069	0,0019	0,183	1,65	197,91	7,83	190,08	0,138	0,093	0,088	2,31	0,03	0,093	1,02
84	0,0074	0,0019	0,212	1,59	197,58	7,89	189,69	0,165	0,096	0,089	2,31	0,035	0,09	1,17
85	0,0039	0,0054	0,236	1,71	197,97	7,89	190,08	0,186	0,077	0,085	2,31	0,03	0,073	1,41
86	0,0078	0,0044	0,253	1,68	197,76	7,38	190,38	0,201	0,082	0,096	2,31	0,055	0,074	1,38
87	0,0098	0,0093	0,26	1,74	196,17	7,53	188,64	0,208	0,087	0,099	2,34	0,035	0,064	1,41
88	0,0054	0,0069	0,25	1,83	198	7,56	190,44	0,201	0,072	0,067	2,34	0,043	0,054	1,41
89	0,0049	0,0059	0,255	1,77	197,7	7,5	190,2	0,205	0,056	0,070	2,31	0,031	0,056	1,26
90	0,0049	0,0063	0,245	1,89	197,94	7,74	190,2	0,202	0,072	0,077	2,31	0,029	0,045	1,32
91	0,0063	0,0063	0,254	1,56	197,97	7,74	190,23	0,196	0,055	0,080	2,34	0,034	0,038	1,29
92	0,0034	0,0049	0,275	1,62	197,97	8,22	189,75	0,204	0,019	0,047	2,31	0,026	0,037	1,26
93	0,0049	0,0044	0,277	1,68	197,85	7,5	190,35	0,201	0,063	0,080	2,28	0,03	0,015	1,11
94	0,0069	0,0054	0,283	1,77	197,85	7,8	190,05	0,196	0,062	0,093	2,31	0,035	0,009	1,17
95	0,0063	0,0029	0,304	1,77	197,73	7,92	189,81	0,208	0,072	0,106	2,34	0,034	0,001	1,41
96	0,0049	0,0059	0,317	1,8	197,94	8,13	189,81	0,213	0,082	0,115	2,31	0,035	0,157	1,62
97	0,0063	0,0014	0,319	1,89	197,91	8,07	189,84	0,216	0,073	0,124	2,31	0,038	0,134	3,15
98	0,0078	0,0059	0,308	1,89	196,23	6,48	189,75	0,201	0,085	0,131	2,31	0,034	0,124	1,44
99	0,0093	0,0063	0,309	1,86	196,08	7,05	189,03	0,202	0,078	0,120	2,31	0,039	0,124	1,59
100	0,0044	0,0039	0,312	1,86	196,23	6,3	189,93	0,205	0,091	0,126	2,31	0,035	0,12	1,35
101	0,0069	0,0044	0,315	1,83	196,23	6,42	189,81	0,208	0,114	0,107	2,31	0,032	0,117	1,38
102	0,0069	0,0034	0,317	1,89	198	7,83	190,17	0,209	0,132	0,108	2,28	0,033	0,121	1,47
103	0,0078	0,0014	0,322	1,89	196,38	8,01	188,37	0,215	0,107	0,120	2,31	0,035	0,118	1,38
104	0,0069	0,0059	0,326	1,89	197,88	7,98	189,9	0,219	0,144	0,116	2,28	0,033	0,116	1,5
105	0,0083	0,0059	0,331	1,92	198,06	7,98	190,08	0,226	0,124	0,111	2,34	0,033	0,114	1,44
106	0,0083	0,0024	0,321	1,95	197,85	7,86	189,99	0,224	0,127	0,110	2,31	0,032	0,1	1,32
107	0,0078	0,0039	0,342	1,95	196,53	8,1	188,43	0,234	0,098	0,093	2,28	0,032	0,095	1,38
108	0,0073	0,0034	0,342	1,95	197,58	7,56	190,02	0,242	0,066	0,057	2,37	0,03	0,095	1,26
109	0,0059	0,0014	0,371	1,98	197,13	7,77	189,36	0,257	0,067	0,061	2,37	0,03	0,087	1,23
110	0,0068	0,0019	0,365	2,01	197,52	7,83	189,69	0,249	0,051	0,069	2,28	0,034	0,083	1,38
111	0,0039	0,0029	0,38	2,01	197,64	7,86	189,78	0,261	0,013	0,063	2,28	0,027	0,071	1,2
112	0,0063	0,0009	0,371	1,98	198,06	8,22	189,84	0,249	0,021	0,072	2,28	0,027	0,059	1,44
113	0,0083	0,0019	0,373	2,04	197,67	8,1	189,57	0,249	0,032	0,098	2,37	0,032	0,048	1,2
114	0,0078	0,0054	0,359	2,19	198,15	8,22	189,93	0,239	0,039	0,099	2,34	0,033	0,025	1,32

Продовження таблиці А2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
115	0,0068	0,0034	0,348	1,86	197,82	8,04	189,78	0,234	0,033	0,109	2,28	0,037	0,013	1,05
116	0,0049	0,0034	0,335	1,86	197,7	8,31	189,39	0,221	0,012	0,116	2,37	0,036	0,001	0,96
117	0,0059	0,0044	0,326	1,86	197,58	9,51	188,07	0,225	0,023	0,111	2,37	0,039	0,0005	0,81
118	0,0059	0,0044	0,347	1,89	198,33	8,58	189,75	0,239	0,011	0,117	2,31	0,033	0,0009	0,99
119	0,0083	0,0049	0,324	1,95	197,49	8,22	189,27	0,221	0,047	0,111	2,37	0,034	0,102	1,29
120	0,0069	0,0059	0,31	1,92	198,3	8,52	189,78	0,216	0,031	0,104	2,28	0,032	0,099	1,32
121	0,0078	0,0019	0,297	1,92	196,98	6,36	190,62	0,211	0,055	0,097	2,34	0,032	0,094	1,29
122	0,0088	0,0034	0,29	1,89	197,94	6,27	191,67	0,205	0,049	0,092	2,37	0,035	0,098	1,17
123	0,0059	0,0024	0,288	1,86	197,91	6,09	191,82	0,205	0,022	0,067	2,28	0,028	0,096	1,08
124	0,0054	0,0034	0,279	1,83	197,73	6,15	191,58	0,197	0,063	0,092	2,31	0,031	0,09	1,14
125	0,0073	0,0029	0,295	1,83	195,78	7,47	188,31	0,215	0,106	0,094	2,34	0,033	0,087	1,26
126	0,0059	0,003	0,289	1,86	196,11	7,74	188,37	0,216	0,11	0,098	2,37	0,034	0,077	1,38
127	0,0059	0,0049	0,278	1,92	198,21	7,8	190,41	0,201	0,098	0,102	2,31	0,033	0,068	1,65
128	0,0063	0,0039	0,311	1,92	197,79	6,78	191,01	0,227	0,064	0,071	2,34	0,031	0,059	1,32
129	0,0063	0,0019	0,341	2,04	198	7,29	190,71	0,251	0,037	0,061	2,28	0,03	0,054	1,38
130	0,0034	0,0024	0,351	1,95	198,06	7,38	190,68	0,253	0,063	0,054	2,31	0,025	0,049	1,26
131	0,0059	0,0014	0,371	1,95	194,31	7,56	186,75	0,267	0,099	0,090	2,31	0,032	0,039	0,96
132	0,0078	0,0009	0,333	2,04	197,61	7,65	189,96	0,234	0,109	0,107	2,37	0,033	0,021	1,05
133	0,0083	0,0034	0,316	1,8	197,61	7,98	189,63	0,226	0,124	0,125	2,28	0,034	0,0009	0,54