



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

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект Дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей з силуміну та нікелевого сплаву при зустрічному фрезеруванні за допомогою базових фрагментів осцилограми

(вказати тему дипломного проекту (роботи))

Студент Пазій Андрій Сергійович

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

Обсяг проекту повний

Кількість аркушів креслень

Кількість сторінок пояснювальної записки 76 стор.

а) короткий зміст проекту та прийнятих рішень

Розглянуті закономірності коливань тонкостінних деталей з силуміну та нікелевого сплаву

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

В роботі не розглянуто від чого залежить кількість різів фрези, що формують період і визначають крок хвилястості

д) позитивні особливості Вперше досліджено вплив параметрів, що характеризують коливальний рух деталей з силуміну та нікелевого сплаву при зустрічному фрезеруванні з автоколиваннями на формування обробленої поверхні

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту Пояснювальна записка оформлена у відповідності до нормативних документів. Графічний матеріал надано у вигляді презентації

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

ж) інші зауваження Немає

з) оцінка проекту Робота заслуговує оцінки "відмінно"

Рецензію склав доц. коф. ТМБ Патюпкін А.В.

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

(підпис)

«07» _____ 12 _____ 2018 р.

[13:12:07] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №872 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:12:25] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №877 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:13:16] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №882 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:14:05] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №887 [2] (200044 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:14:22] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №892 [2] (200057 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:14:54] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №897 [2] (200048 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:16:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №902 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:16:24] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №907 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:16:58] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №912 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:17:15] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №917 [2] (200046 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:18:01] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №922 [2] (200049 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:18:26] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №927 [2] (200053 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:18:45] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №932 [2] (200053 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:19:05] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №937 [2] (200053 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:19:21] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №942 [2] (200053 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:20:00] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №947 [2] (201098 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:20:48] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №952 [2] (201099 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:21:05] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №957 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[13:21:08] Тип проверки: *Стандартная*

[13:21:08] **Уникальность текста 76%** © (Проигнорировано подстановок: 0%)

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Пазій А.С., провів
зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

06.12.2018р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Технології машинобудування

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей з силуміну та нікелевого сплаву при зустрічному фрезеруванні за допомогою базових фрагментів осцилограми

Виконав: студент 6 курсу, групи М-113м
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладна механіка

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Пазій А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дядя С.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Патюпкін А.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2018 рік

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) магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри Дядя С.І.

 “ 6 ” _____ 12 _____ 20 18 року

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

Пазія Андрія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 11 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 силуміну та нікелевого сплаву при зустрічному фрезеруванні

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літературних джерел; 2. Методичне забезпечення проведення досліджень; 3. Дослідження коливань при зустрічному фрезеруванні; 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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
1. Аналіз проблеми	Дядя С.І.		
2. Методика досліджень	Дядя С.І.		
3. Результати	Дядя С.І.		
4. Охорона праці	Шмирко В.І.		
Нормоконтроль	Кононов В.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел, основні відомості про вібрації та шляхи їх пригнічення	10.02.18	
2	Опис методики досліджень	05.03.18	
3	Проведення експериментів із зразками	02.04.18	
4	Обробка осцилограм	20.06.18	
5	Аналіз осцилограм	01.08.18	
6	Обробка профілограм	10.09.18	
7	Аналіз профілограм	15.10.18	
8	Збір даних з охорони праці	28.11.18	
9	Нормоконтроль	06.12.18	
10	Рецензія	07.12.18	
11	Захист дипломної роботи	10.12.18	

Студент

(підпис)

Пазій А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Дядя С.І.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 76 стор., 3 табл., 37 рис., 19 джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження – коливання деталі при зустрічному фрезеруванні в умовах дії автоколивань.

Метод дослідження – експериментально - аналітичний.

Мета роботи – дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей при зустрічному кінцевому фрезеруванні з автоколиваннями за допомогою базових фрагментів осцилограми.

В ході виконання роботи був проведений огляд літературних джерел, в яких досліджувались проблеми, що виникають при обробці деталей з тонкостінними елементами в умовах виникнення автоколивань, розглянуто роботи дослідників, які займались пошуком залежностей між показниками автоколивань та обробленою поверхнею. За допомогою експериментального оснащення були проведені дослідження, які дозволили визначити параметри, що характеризують закон руху деталі при автоколиваннях, та їх вплив на формування обробленої поверхні. Розроблені та запропоновані заходи з охорони праці, які спрямовані на забезпечення комфортних та безпечних умов при проведенні дослідницької роботи.

ЗРАЗОК, АВТОКОЛИВАННЯ, СТЕНД, ДАТЧИК, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, ВЕРСТАТ, ХВИЛЯСТІСТЬ, ОСЦИЛОГРАМА.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	1
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	10
1.1 Причини виникнення вібрацій при механічній обробці та шляхи їх пригнічення	10
1.2 Осцилограми, як джерело інформації про процес різання.....	18
1.3 Висновки	20
2 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
2.1 Стенд для проведення дослідження вібрацій тонкостінного елемента деталі при кінцевому фрезеруванні.....	23
2.2 Електроконтактний пристрій, що визначає умови контакту інструмента з оброблюваною деталлю	24
2.3 Методика аналізу осцилограм	25
2.4 Пристрій для запису профілю обробленої поверхні.....	27
2.5 Висновки	28
3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ПРИ ЗУСТРІЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ	29
3.1 Аналіз даних, отриманих після обробки осцилограм.....	29
3.2 Визначення взаємозв'язку між показниками БФО коливань ТЕД та профілем обробленої поверхні	38
3.4 Висновки	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	44
4.1 Аналіз потенційних небезпек	44
4.2 Заходи з забезпечення техніки безпеки.....	48
4.3 Роботизація виробництва, як один із заходів із забезпечення безпеки	51
4.4 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	55

4.5 Заходи з пожежної безпеки	58
4.6 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	61
4.7 Висновки	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67
ДОДАТОК А.....	70
Таблиця А1 – Параметри коливань деталі з силуміну	70
Таблиця А2 – Параметри коливань деталі з ХН78Т.....	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТЕД	- тонкостінний елемент деталі;
БФО	- базовий фрагмент осцилограми;
ПС	- пружна система;
АЦП	- аналогово-цифровий перетворювач;
ПЗ	- програмне забезпечення;
ПК	- персональний комп'ютер;
ЕДУ	- енергія дефекту упаковки;
ПМО	- процес механічної обробки;
ППР	- положення пружної рівноваги;
ВТД	- візуальні дисплейні термінали;
ПЕОМ	- персональна електронна обчислювальна машина;
ПР	- промисловий робот;
РТК	- робото технологічний комплекс;
ЕОМ	- електронна обчислювальна машина;
ЕМВ	- електромагнітне випромінювання;
РІНР	- рятувальні і інші невідкладні роботи;
ЦЗ	- цивільний захист.

ВСТУП

В авіадвигунобудуванні широко використовуються деталі, що мають тонкостінні елементи (ТЕД). Це моноколеса, диски турбін та інше. Їх виготовляють шляхом кінцевого фрезерування на верстатах з числовим програмним керуванням. Особливістю фрезерування ТЕД є поява під час обробки автоколивень (вібрацій), що погіршують якість і точність обробки.

Оброблена поверхня при кінцевому фрезеруванні формується западинами [1], що залишаються не зрізаними з поверхні різання під час руху подачі. Тому актуальною постає задача визначення того, якою є поверхня різання і яким чином вона впливає на оброблену поверхню.

Для отримання поверхні різання розроблена методика [2], що передбачає виведення деталі з зони різання під час фрезерування. При цьому записується осцилограма коливень деталі, яка подальше поділяється на базові фрагменти (БФО), що охоплюють різання одним зубом фрези. Порівняння форм БФО з відповідними поверхнями різання на деталі показує на їх спільність. Наявність такого взаємозв'язку дуже важлива, тому що поверхні різання зрізаються, а ділянки БФО записуються і зберігаються, тобто зберігається інформація про форму поверхні різання.

Для оцінки коливального процесу за допомогою БФО застосовується спеціально створена методика [3] з використанням 14 параметрів, що характеризують коливання ТЕД при зустрічному фрезеруванні. Кожен з параметрів має кількісну характеристику. Слід зазначити, що робіт з практичним використанням цих параметрів коливень деталі та їх аналізом недостатньо. Тому метою даної роботи є дослідження коливального руху ТЕД за допомогою БФО.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз літературних джерел щодо дослідження формування якості обробленої поверхні при фрезеруванні з автоколиваннями.

2. Розробити методику проведення дослідження процесу різання при фрезеруванні.
3. Обробити зразки, записуючи при цьому осцилограми коливання деталі.
4. Виконати аналіз коливань по 14 параметрам БФО.
5. Дослідити взаємозв'язок між параметрами обробленої поверхні та параметрами коливального руху деталі з використанням БФО.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

При певних умовах процесу різання технологічна система втрачає стійкість, що супроводжується виникненням вібрацій - шкідливих періодичних коливальних рухів.

1.1 Причини виникнення вібрацій при механічній обробці та шляхи їх пригнічення

Коливання інструменту щодо заготовки (або, навпаки, заготовки щодо інструменту) викликають періодичну зміну товщини зрізаного шару і сил різання, зміну величини і характер навантажень на верстат[4], зростаючих в кілька разів у порівнянні зі стійким різанням. При вібраціях виникає шум, втомлює робочих, погіршується якість обробленої поверхні. Стійкість інструменту, особливо твердосплавного і мінералокерамічного, значно знижується. Знакозмінні динамічні навантаження знижують довговічність верстата. При виникненні вібрацій доводиться зменшувати режими різання, внаслідок чого знижується продуктивність і повністю не використовується потужність верстата.

Виникнення вібрацій при обробці різанням зумовлено дією змушуючої сили на пружну систему деталі.

Коливання (вібрації) при різанні бувають, як правило, двох типів: вимушені, коли причиною коливань є періодично діюча сила, і автоколивання, що відбуваються без впливу зовнішньої періодичної сили.

Вимушені коливання виникають внаслідок наявності в технологічній системі зовнішньої періодичної сили, що викликає коливальний процес з частотою, рівній частоті вимушених коливань. Ці сили можуть бути розділені на дві групи [4],:

1. Змінні сили, обумовлені процесом різання, що виникають при знятті нерівномірного припуску, переривчастий характер різання і т.п.;

2. Змінні сили, що виникають в системі поза зоною різання. До цієї групи належать коливання, викликані дефектами механізмів верстата: перекосом осей, похибками зубчастих або клиноремінних передач, підвищеними люфтами і т.п.; дисбалансом його окремих частин, що обертаються: заготовок, пристосувань, інструментів і т.п., а також коливаннями, переданими на верстат від інших працюючих машин.

Методи боротьби з вимушеними вібраціями добре відомі - необхідно усунути дію періодичної вимушених коливань.

Це досягається балансуванням інструменту (шліфувальних кругів, фрез, різьбових головок) і заготовок, віброізоляцією фундаментів верстатів і т.д. . Значно більш складним завданням є гасіння вібрацій, що мають автоколивальний характер.

Автоколивання - процес, при якому змінна сила, що підтримує коливальний рух, створюється і керується самим рухом та при припиненні цього руху зникає. Автоколивання характеризуються тим, що вони виникають і підтримуються джерелами енергії, які не володіють коливальними властивостями. Частота автоколивань майже не залежить від режимів різання, а визначається, головним чином, жорсткістю системи і величиною коливальних мас.

Вібрація в механічній обробці - це класична проблема, яка обмежує продуктивність. Ще в 1907 році Фредерік Тейлор [5] заявив, що «вібрація є найбільш неясною і делікатною з усіх проблем, що стоять перед механіком, а в разі виливків і поковок різних форм, ймовірно, не можуть бути розроблені ніякі правила або формули, які точно визначали б механіки. Поява вібрацій на верстатах катастрофічна, оскільки вони перешкоджають отриманню необхідної поверхні і зменшують термін служби інструментів та механічних компонентів. Ці вібрації відбуваються в широкому діапазоні операцій механічної обробки, і це все ще є одним з основних обмежень продуктивності. Недавні досягнення в промисловості, особливо в аерокосмічній і автомобільній галузях, сприяли значній еволюції в машинах, які стали більш потужними, точними, жорсткими і автоматичними. Однак також з'явилися нові обмеження і проблеми, такі як вібрації машини. Після перших спостережень Ф. Тейлора регенеративний ефект був названий основною причиною

вібрацій. З тих пір придушення цих самозбуджуючих коливань стало однією з головних проблем, і поточна ситуація вказує на те, що пророцтво і придушення вібрацій залишиться важливою проблемою і в майбутньому.

У своїй роботі [6] автор ставить перед собою мету експериментально дослідити характер і умови періодичного коливального процесу при різанні металів, а також причини, що викликають появу цього процесу. А також розробити практичні методи боротьби з виникненням вібрацій при різанні металів, виявити шляхи до подальших досліджень коливального процесу.

Каширін А. І. [6] продовжує роботу Ф. Тейлора і дає свій шлях до вирішення питання вібрацій шляхом зміни геометрії інструменту та режимів різання. Результати його досліджень показують, що найбільший вплив на вібрації надають чинники, що збільшують радіальну складову (кути в плані різця, радіус заокруглень при вершині і т.д.) за інших однакових умов. Це пояснювалося тим, що при змінах цієї складової відповідно змінюється і величина пружної деформації виробу і різця, а отже з'являються відповідні поглиблення або піднесення на оброблюваній поверхні. У той же час тангенціальна складова практично не впливає на якість поверхні. Він пропонує посилити демпфуючі властивості системи, а також її стабільність шляхом підвищення власної частоти коливань інструмента.

В дослідях Каширіна А.І. [6] підвищення вібростійкості різців відбувається шляхом зміни їх геометрії. Наприклад, при обробці в'язких сталей необхідно давати різцю можливо більший передній кут, а так як це може послабити його міцність, то слід посилити ріжучу кромку леза шляхом створення так званої "стрічки". Таким чином, для зменшення вібрацій слід давати свого роду подвійну заточку передній грані. Що стосується верстатів, то автор пропонує відмовитися від загальноприйнятої установки інструменту передньою гранню вгору і працювати "перевернутим різцем", тобто передньою частиною вниз. Останній метод роботи повністю виключає можливість збільшення амплітуди при вібраціях за рахунок зазорів в підшипниках шпинделя.

Каширін А. І. [6] в основу аналізу автоколивань при різанні металів поклав залежність сили тертя від швидкості різання. Він показав, що якщо сила тертя має

"падаючу" характеристику, тобто сила тертя стружки об передню поверхню різця зменшується зі збільшенням відносної швидкості, виникає автоколивальний режим різання.

Кабалдін Ю. Г. [7] в свою ж чергу розглядав питання з управління стружкоутворенням, динамічної стійкості пружної системи верстата і зносом різального інструменту на основі адаптивних систем і нейронних мереж. Процес стружкоутворення впливає на інтенсивність автоколивань.

Проблема управління характером стружкоутворення, тобто формування заданого виду і форми стружки, відноситься до числа складних проблем механічної обробки. Можливість отримання стружки, яку легко видаляти із зони обробки, часто є вирішальним фактором при автоматизації процесу різання. Поява зливної стружки істотно ускладнює управління процесами механічної обробки, причому як при діагностиці вихідних параметрів, так і адаптивному управлінні. У зв'язку з цим стабільне формування дробленої стружки слід розглядати, як фактор надійності технологічних систем і систем адаптивного управління.

Поява зливної стружки з позицій термодинаміки слід розглядати як результат самоорганізації процесів пластичної течії структурних елементів в зоні стружкоутворення з утворенням дисипативних структур (фрагментованих дислокаційних структур), що володіють здатністю ефективно розсіювати енергію деформації, що запасається при різанні, і знижувати виробництво ентропії в системі.

При високих швидкостях різання, коли фаза стиснення в формуванні елемента стружки зменшується, а довжина скорочується, то утворюється суглобиста стружка, як результат локалізованого зсуву. В літературі вона відома як стружка адіабатичного зсуву [7].

Процес утворення різних типів і завивання стружки слід розглядати з позицій синергетичного підходу, як результат утворення в ході пластичної деформації різних видів дисипативних структур. Зокрема, при обробці високо вуглецевих сталей з великою енергією дефекту упаковки (ЕДУ) утворюються фрагментовані дислокаційні структури, що забезпечують ефективне пластичне деформування і утворення зливної стружки. У матеріалах з низькою ЕДУ і з кристалічною

решіткою, що має мале число площин ковзання, процес пластичної деформації реалізується шляхом двійникування і утворенням дефектів упаковки, що володіють низькими дисипативними властивостями. В [7] результаті формується елементна (суглобиста) стружка в широкому діапазоні швидкостей різання. Таким чином, з позицій теорії синергетики, утворення того чи іншого типу стружки - є фазовим переходом. Чим нижче дисипативні властивості вторинних структур (дефекти упаковки, двійники), тим більше рівень зрізаного шару, а механізм дисипації при обробці таких матеріалів - це кристалізація, або крихкий скол. Зокрема, в міді деформація при зсуві елемента стружки після його зміцнення відбувається за рахунок рекристалізації. У металах з високою ЕДУ. деформація на верхній межі зони стружкоутворення протікає внаслідок динамічного повернення, тобто за рахунок анігіляції дислокацій і їх перерозподілу при поперечному ковзанні.

З позицій синергетичного підходу для стійкого функціонування технологічної системи важливо, що енергія, яка закачується в систему повністю розсіюється в рухомих з'єднаннях і вузлах (коливальних системах). Інакше кажучи, необхідно, щоб в процесі еволюції системи, де утворюються дисипативні вторинні структури, забезпечувалось зниження ентропії.

Синергетичний підхід [7] до різання дозволив розробити ієрархію управління процесами механічної обробки (ПМО) в технологічних системах. Ієрархія управління ПМО ґрунтується не тільки на жорстких командах, але і в подачі слабких впливів від вищих рівнів ієрархії пружної системи, використовуючи зворотні зв'язки, які забезпечують процеси самоорганізації, що протікають на більш низькому рівні (в системі різання), і визначають переходи пружної системи від одного стійкого стану до іншого. Такий підхід до управління найбільшою мірою досягається при адаптивному управлінні процесом різання. Підвищення надійності досягається при управлінні технологічними системами на основі нейронно-мережових моделей процесу різання.

Васін С.А. [8] у своїй роботі вивчав динамічні характеристики інструменту, при цьому він створив власну методику вимірювання частот автоколивань. Тут представлена загальна структура математичної моделі сили різання, що містить

постійну і змінну складові, враховує широкий спектр динамічних процесів, що протікають при обробці металу. Розроблена методика побудови моделі сили різання дозволяє на стадії проектування операції визначати для конкретних умов обробки закон і частоту зміни сили різання, а також розміри інструменту, при яких відбувається вібростійкий режим різання.

В роботі наведено методику [8] вибору різців, що забезпечують стабільні режими обробки. Розглянуто конструкції різців з державками з композиційних матеріалів на основі бетону, що володіють підвищеними демпфуючими властивостями. Наведено результати експериментальних досліджень механічних характеристик конструкційних матеріалів для корпусів ріжучих інструментів. Представлені моделі механіки деформованого твердого тіла, що застосовуються для аналізу підсистеми інструменту.

Велику увагу приділено дослідженню [8] динаміки процесу фрезерування поверхонь кінцевими фрезами як звичайної конструкції, так і зі стружкорозгалужувальними канавками на периферійних ріжучих кромках. При цьому встановлена залежність між оптимальним кроком стружкорозгалужувальних канавок і діаметром кінцевої фрези. Інструмент такої конструкції робить позитивний вплив на зниження рівня вібрацій заготовки та підвищення якості обробленої поверхні. Розглянуто характер зміни сили різання при фрезеруванні площин кінцевою фрезою, встановлена її домінуюча частота і на цій основі побудована математична модель сили різання, яка може використовуватися при проектуванні обладнання, інструменту та оснащення в умовах виробництва.

Розроблена модель [8] сили різання може застосовуватися не тільки для аналізу впливу вібрацій в підсистемі інструмент-заготовка на динамічну компоненту сили різання, але і для прогнозування на етапі проектування операції вібростійкості системи за характером зміни сили в момент врзання.

Жарков І. Г. досліджуючи у своїй роботі [9] автоколивання для різних матеріалів зробив висновок, що при обробці корозійностійких, жаро -, високо - міцних, титанових та інших сучасних конструкційних сталей і сплавів лезовим 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 ніяковіє в бік збільшення амплітуд. У всіх виконаних стійкісних дослідках зниження амплітуди автоколивань від 100 - 120 мкм до оптимального її значення завжди приводило до збільшення стійкості інструменту в 10-20 разів.

При дослідженні [9] залежності стійкості інструменту від амплітуди коливань зазвичай не вдається зберегти постійну частоту автоколивань. Однак частота є найважливішою характеристикою процесу коливань, тому важливо знати, який вплив вона робить на стійкість інструменту спільно з амплітудою. Для з'ясування цього впливу були проведені двох факторні експерименти з одночасною зміною амплітуди і частоти автоколивань.

Виконаний двох факторний експеримент [9] дає підставу вважати, що залежність стійкості інструменту від інтенсивності автоколивань можна досліджувати однофакторно, так як частота автоколивань для кожного конкретного процесу обробки змінюється в малих межах і вельми слабо впливає на стійкість інструменту. У той же час зміна частоти коливань в великих межах викликає істотну зміну характеру впливу її на оброблюваність.

В своїй роботі Лазарев Г. С. [10] провів дослідження базових силових полів і довів теорему, спираючись на які отримані закономірності стійкості процесу різання. Згідно теореми, доведеної автором, тільки в одному випадку можливий стійкий стан механічної системи, якщо структура базового силового поля утворює силовий вузол. У всіх інших випадках (без урахування сил тертя) система нестійка. Структурний критерій стійкості дозволяє проводити аналіз стійкості не потенційних силових полів, до яких відносяться базові силові поля в області вершини різця.

На підставі структурної теорії [10] встановлено, що механізм різних типів автоколивань при різанні металів, а також стан стійкості верстата в процесі різання мають загальну фізичну сутність, їх природа однакова.

Механізм збудження автоколивань лежить в самій структурі базового силового поля і конкретно визначається напрямом сил поля (напрямком рівнодіючих збільшень сили різання і сили пружності). Якщо силові лінії базового

поля не проходять через положення рівноваги, то при будь-якому відхиленні різця від положення рівноваги система приходить в нестійке становище.

В роботі [10] доведено, як на підставі параметрів пружної системи "верстат-деталь-інструмент" і структурного критерію стійкості може бути побудована серія номограм для вибору без вібраційних режимів різання, а також проведено розрахунок точності обробки (пружного віджимання деталі).

В своїй роботі [10] Лазарєв Г. С. розглядав теорії автоколивань при різанні металів, включно з теорією координатних зв'язків, які пояснюють механізм збудження автоколивань на основі аналізу прирощення роботи однієї лише сили різання за цикл переміщення різця відносно деталі або зміни сили різання в залежності від ряду параметрів (швидкості різання, запізнювання сили різання від переміщення, зміни робочих кутів різця)

Автоколивання елементів технологічної системи відрізняються від вимушених коливань тим, що їх частота дорівнює частоті власних коливань цих елементів та не залежить від режимів різання.

Автоколивання [6,8,9,10] прийнято умовно поділяти на первинні, які збуджуються при першому проході інструмента, та на вторинні, які виникають при зрізанні хвилястості, залишеної на поверхні різання при попередньому проході інструмента.

Поява первинних коливань пов'язують з різними причинами:

- Падаюча залежність коефіцієнта тертя на передній поверхні інструмента від швидкості переміщення по ній стружки.
- Відставання зміни сили різання від зміни товщини зрізаємого шару.
- Наявність координатної зв'язки переміщення інструмента по взаємно перпендикулярним вісям координат.
- Зміна кінематичних кутів інструмента при коливаннях.

Вторинні причини виникнення автоколивань пов'язані з повторним збудження коливань через періодично змінюючу товщину стружки, що викликана хвилястістю, залишеною на поверхні різання при попередньому проході інструмента.

В роботі [12] було визначено п'ять швидкісних зон коливаль (рис.1.1).

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

Рисунок 1.1 – Швидкісні зони коливаль

В кожній зоні діє власний механізм формування обробленої поверхні. В якості критерію визначення зони коливаль обрано визначальне співвідношення між часом різання ($t_{\text{різ}}$), часом холостого ходу ($t_{\text{х.х.}}$) та періодом власних коливаль елемента ($T_{\text{ВКЕ}}$). Експериментально встановлено, що незалежно від властивостей оброблюваного матеріалу завжди існує третя швидкісна зона, в якій діють автоколиваль, які в значній мірі впливають на стійкість інструмента та якість обробленої поверхні.

1.2 Осцилограми, як джерело інформації про процес різання

Осцилограма - графічне зображення залежності між мінливими фізичними величинами (електричними або перетвореними в електричні) на екрані осцилографа.

В роботі [6] було проведено ряд експериментів для вивчення характеру зміни сили різання при точінні заготовок, що мають в поперечному перерізі ексцентричний припуск. Аналіз осцилограм показав, що при точінні деталей з ексцентричним припуском виникає змінна сила різання, яка плавно змінюється по періодичному закону. При цьому на осцилограмах, відповідних малим частотам обертання заготовки, візуально виявляються накладені одне на інше два коливаль сили різання, які легко можна розділити на низькочастотне періодичне з великою

амплітудою і високочастотне випадкове з малою амплітудою. На високих частотах сила різання робить тільки низькочастотні коливання, і крива зміни сили має плавний характер. Таким чином на високих частотах обертання заготовки в технологічній системі не проявляються високочастотні компоненти різання.

Спектральний [6] аналіз сигналів сили різання показує, що для процесу точіння характерними сигналами є:

- а) періодичні сигнали складної форми (зустрічається при точінні переривчастих поверхонь);
- б) гармонійні сигнали (відповідає точінню поверхонь з ексцентричним припуском);
- в) сума періодичних і випадкових сигналів (ця гамма сигналів найбільш часто супроводжує процес точіння з наявністю автоколивань);
- г) широко частотні випадкові сигнали (виникають при стійких умовах обробки).

Дослідження коливального процесу потребує запису руху деталі та інструменту при обробці різанням. Для цього при експериментах використовують різні види осцилографів для запису осцилограм - графічного зображення залежності між мінливими фізичними величинами (електричними або перетвореними в електричні). Характер коливань при різних видах обробки різний.

Для оцінки коливальних явищ за базовими фрагментами осцилограм створена методика[15], яка дозволяє обробляти дані, що були отримані в процесі різання за 14 параметрами, що характеризують коливання

В роботі [6] розглянуті осцилограми коливання ТЕД при фрезеруванні кінцевою фрезою. Одним з важливих результатів цих досліджень є експериментально встановлений факт того, що при фрезеруванні ТЕД з невеликими значеннями радіальної - a_e і осьової - a_p глибин різання в контакт з деталлю завжди знаходиться не більше 1 зуба. Тобто час між врзанням двох сусідніх зубців складається з часу різання - $t_{різ}$ та часу холостого ходу - $t_{хх}$. Введення поняття базового фрагменту осцилограми (БФО) (рис.1.2). Це дозволяє окремо розглядати коливання деталі при кожному різанні зубом фрези. Поділ осцилограми на базові

фрагменти дозволяє кількісно оцінювати коливальні процеси, що виникають на кожному різі під час фрезерування ТЕД.

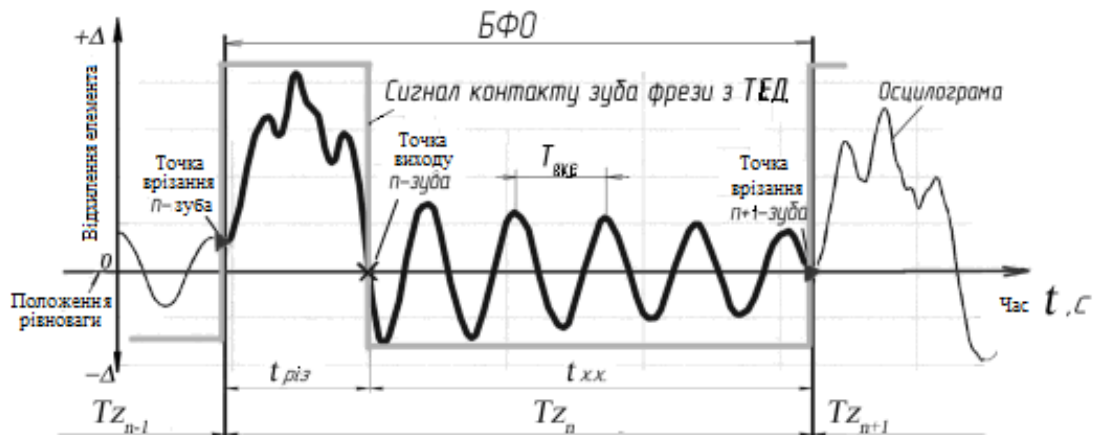


Рисунок 1.2 - БФО коливання ТЕД при фрезеруванні:

$t_{різ}$ - час різання, с; $t_{хх}$ - час холостого ходу, с; T_z - період зубцевої частоти, с;
 $T_{вкв}$ - період власних коливань ТЕД, с

1.3 Висновки

З огляду літературних джерел можна зробити такі висновки:

1. При певних умовах процесу різання технологічна система втрачає стійкість, що супроводжується виникненням вібрацій - шкідливих періодичних коливальних рухів.
2. Коливання (вібрації) при різанні бувають, як правило, двох типів: вимушені і автоколивання.
3. Автоколивання умовно поділяють на первинні, які збуджуються при першому проході інструмента, та на вторинні, які виникають при зрізанні хвилястості, залишеної на поверхні різання при попередньому проході інструмента.
4. Існує 5 швидкісних зон, в яких діє власний механізм формування обробленої поверхні. Встановлено, що незалежно від властивостей оброблюваного матеріалу завжди існує третя швидкісна зона, в якій діють автоколивання.

4. Коливальний рух деталі під час фрезерування досліджується 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 коливальний рух деталі при фрезеруванні.

2 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Схема кінцевого фрезерування ТЕД показана на рис. 2.1. При цьому на тонкостінний елемент діє система сил [15]:

- $P_{\text{від}}$ – 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.

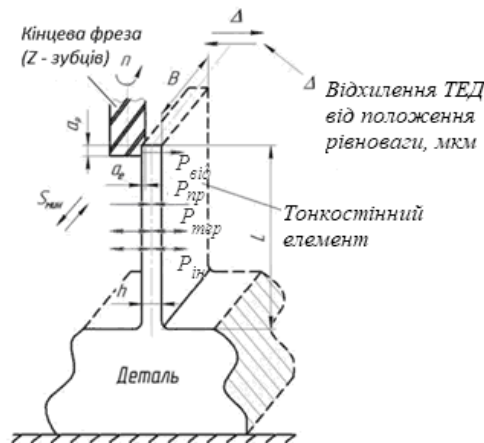


Рисунок 2.1 – Схема сил, які діють на ТЕД при кінцевому фрезеруванні

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 оцифровування за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) та з використанням програмного забезпечення (ПЗ) зберігати великі об'єми інформації.

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

Для проведення експериментів використовувався спеціальний стенд [13], який дозволяє досліджувати, як вплив режимів різання, так і зміну пружного стану деталі на коливальний процес при фрезеруванні (рис.2.2.).

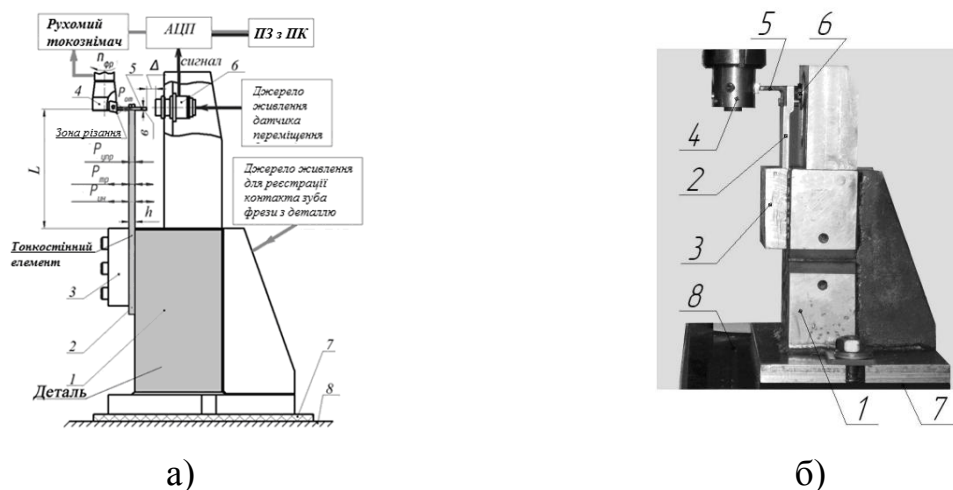


Рисунок 2.2. - Загальна схема (а) і фото (б) стенду для дослідження вібрацій при кінцевому фрезеруванні тонкостінного елемента деталі:

1 - масивна основа, 2 - тонкостінна пластина, 3 - прижим, 4 - кінцева фреза, 5 - зразок з оброблюваного матеріалу, 6 - датчик переміщення, 7 - електроізолятор, 8 - стіл фрезерного верстата.

На торці пластини - 2 жорстко закріплений зразок з оброблюваного матеріалу - 5, який фрезерують кінцевою фрезою – 4. В процесі фрезерування під дією сили

відтискання $P_{\text{від}}$ з боку фрези тонкостінна пластина - 2 пружно згинається і змінює величину зазору Δ , який вимірюють датчиком переміщення - 6 (індуктивний проксиметр (XS1M18AB120)). Сигнал датчика оцифровується за допомогою АЦП Е-140 фірми L-Card, запам'ятовується і записується з використанням ПЗ і персонального комп'ютера (ПК).

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

Експериментальний стенд оснащується електроконтактним пристроєм [14] (рис. 2.3), що дозволяє визначати умови контакту інструмента з оброблюваним зразком під час різання та холостого ходу.

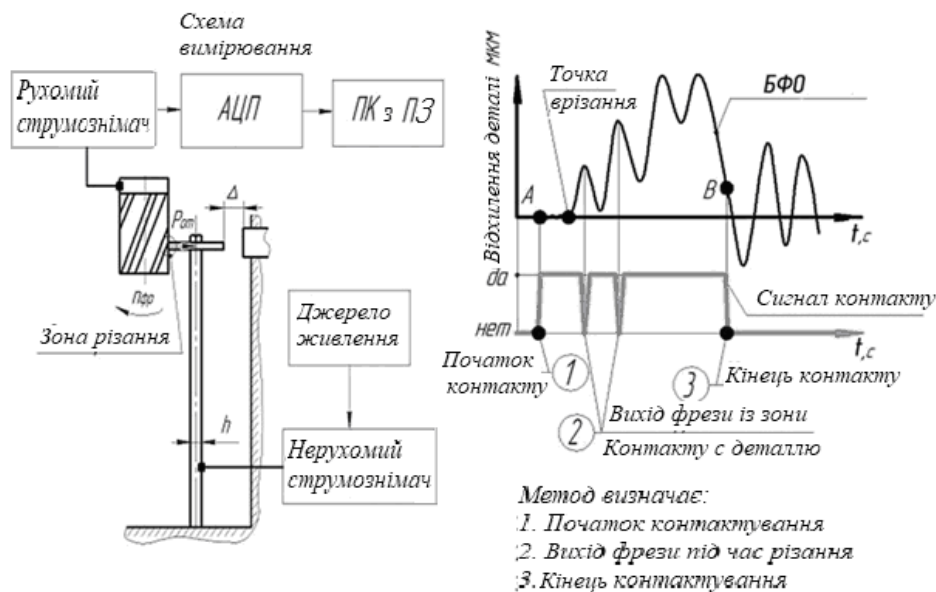


Рисунок 2.3 – Схема запису умов контакту інструмента і деталі

Для цього стенд попередньо електроізолюють від столу фрезерного верстата шляхом установки на електроізоляційну пластину – 7 (рис.2.2). Контакти пристрою підводяться до деталі та до інструменту через рухливий струмознімач. У момент

врізання зуба фрези відбувається замикання електричного ланцюга і сигнал записується на ПК. При виході зуба фрези із зони контакту зі зрізаними припуском ланцюг розривається, і подача сигналу припиняється. Сигнал контакту зуба фрези з деталлю синхронізується в часі з сигналом датчика переміщення (коливання) деталі.

2.3 Методика аналізу осцилограм

Для аналізу коливального процесу ТЕД при різанні осцилограму розбивають на БФО, які охоплюють інтервал від врізання попереднього зуба фрези до врізання наступного зуба.

Для оцінки коливальних явищ за БФО використовується спеціально створена методика[15], яка дозволяє обробляти дані, що були отримані в процесі різання. На рис.2.4 показана схема, де наведені 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.

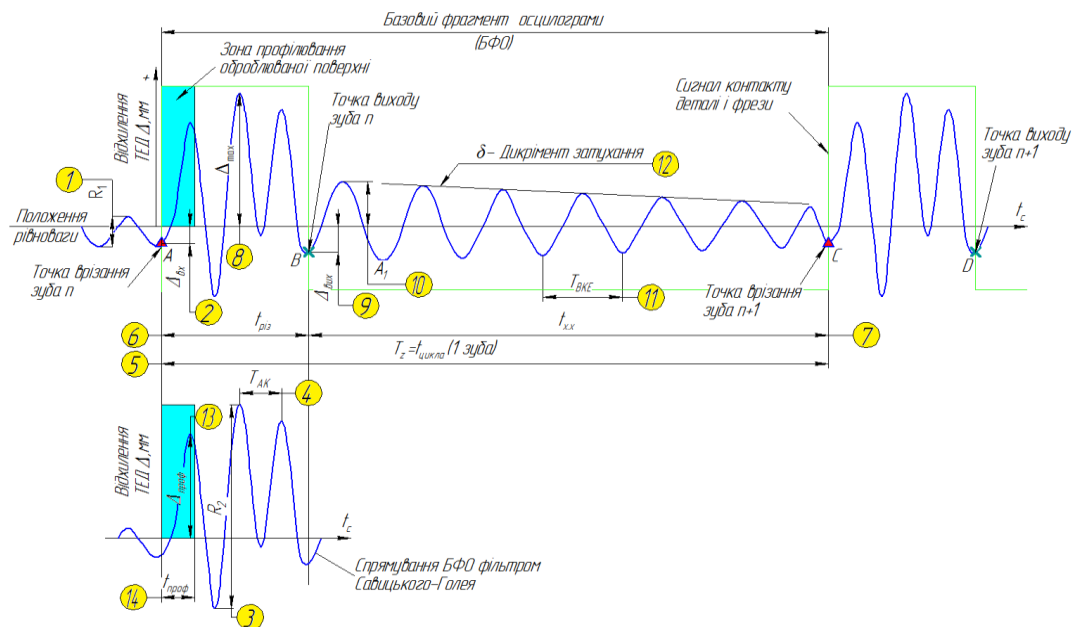


Рисунок 2.4 – 14 параметрів БФО при зустрічному фрезеруванні ТЕД

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_{ax} - 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. $t_{різ}$ - 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 зубцової частоти T_z ($t_{хх} = T_z - t_{рез}$).

8. Δ_{max} - максимальне відхилення ТЕД в результаті дії 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, с.

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.

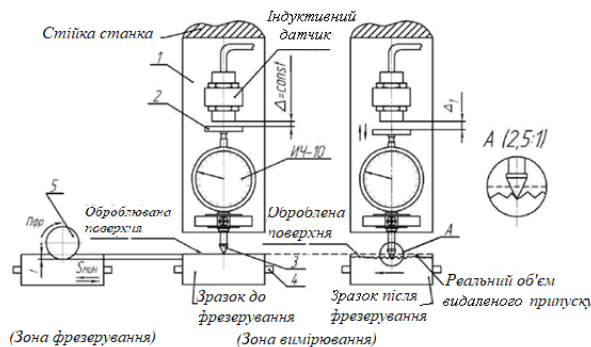
13. $\Delta_{проф}$ - відхилення першої хвилі автоколивань від положення рівноваги при зустрічному фрезеруванні, або останньої хвилі автоколивань при попутному фрезеруванні. Характеризує глибину лунки від автоколивань на поверхні різання, яка залишається після руху подачі і формує оброблену поверхню.

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

2.4 Пристрій для запису профілю обробленої поверхні

Для запису профілю обробленої поверхні зразка застосовується спеціальний пристрій (рис. 2.5), що складається з основи – 1, на якій закріплюється індикаторний годинник ИЧ-10 та індуктивний датчик переміщення. Основа пристрою нерухомо закріплена на вертикальній стойці 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.



а)



б)

Рисунок 2.5. – Схема (а) та фото (б) пристрою для запису профілю обробленої поверхні

2.5 Висновки

З огляду методичного забезпечення можна зробити такі висновки:

1. Спроектовано спеціальний стенд, на якому можна досліджувати обробку деталей з різних матеріалів та різними динамічними характеристиками.
2. Для визначення умов контакту інструмента і деталі використовувався електроконтактний пристрій.
3. Для оцінки коливальних явищ за БФО використовують 4 параметрів.
4. Для запису профілю обробленої поверхні спроектовано спеціальний пристрій з датчиком переміщень.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ПРИ ЗУСТРІЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

При дослідженнях динамічні властивості ТЕД створювались шляхом закріплення пружного елемента з оброблюваним зразком на потрібну висоту. Для запобігання суттєвого впливу інструменту на коливальний процес при різанні його конструкція має жорсткість в три рази вищу, ніж пружний елемент.

Фрезерування в 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 BK8; частота власних коливань 833 Гц.
3. Матеріал зразка - силумін, ХН78Т.
4. Пружний елемент – сталь 65Г, HRC 60, ширина 60мм, товщина 6мм, виліт 80мм, 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, $a_e = 0,5$ мм
 напрямок подачі - зустрічний, різання вільне.

3.1 Аналіз даних, отриманих після обробки осцилограм

Для оцінки змін на поверхні різання при роботі кожного зуба фрези на БФО визначено 14 параметрів, що мають числові значення, і характеризують поведінку деталі, як під час різання, так і під час холостого ходу.

За даними табл. А1 (Додаток А) побудовані графіки змін для 14 параметрів, що характеризують колювання при фрезеруванні силуміну (рис.3.1-3.14).

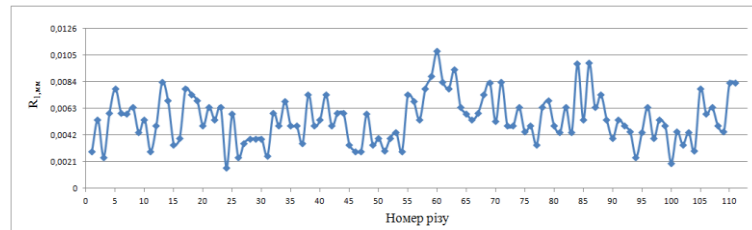


Рисунок 3.1 – Зміна розмаху вільних згасаючих коливань ТЕД перед врізанням зуба фрези при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

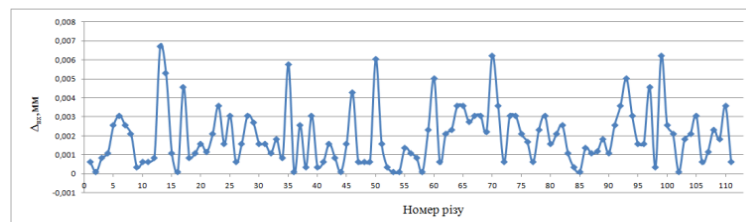


Рисунок 3.2 – Зміна відхилення деталі від ГПП при врізанні зуба фрези в силумін

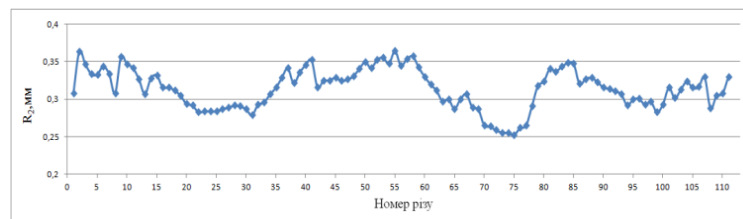


Рисунок 3.3 – Зміна розмаху автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

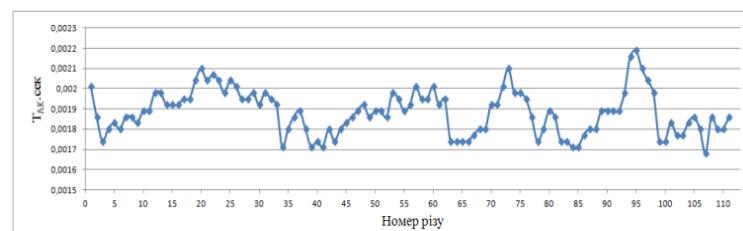


Рисунок 3.4 – Зміна періоду автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

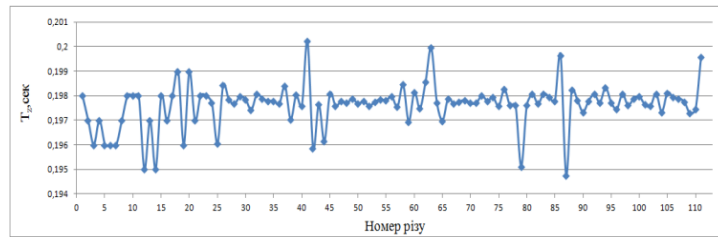


Рисунок 3.5 – Зміна часу між двома врізаннями сусідніх зубів при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

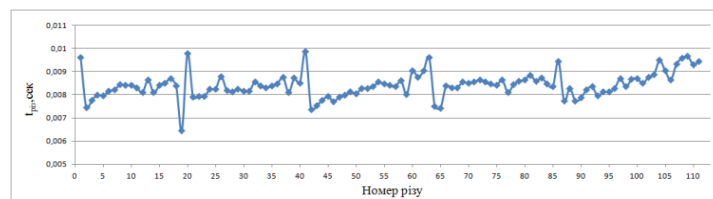


Рисунок 3.6 – Зміна часу різання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

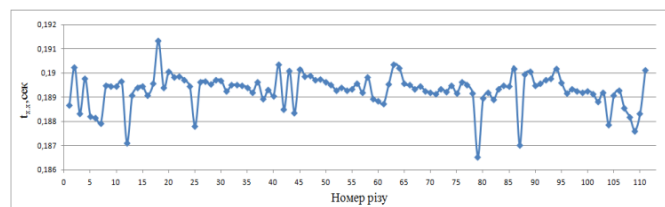


Рисунок 3.7 – Зміна часу між точкою виходу із зрізаного припуску попереднього зуба і точкою врізання подальшого зуба при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

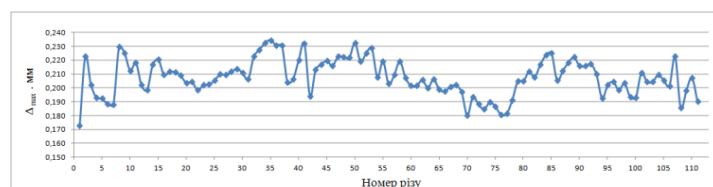


Рисунок 3.8 – Зміна максимального відхилення деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

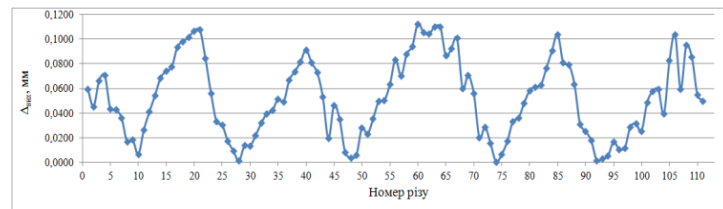


Рисунок 3.9 – Зміна відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези під час зустрічного кінцевого циліндричного фрезерування силуміну

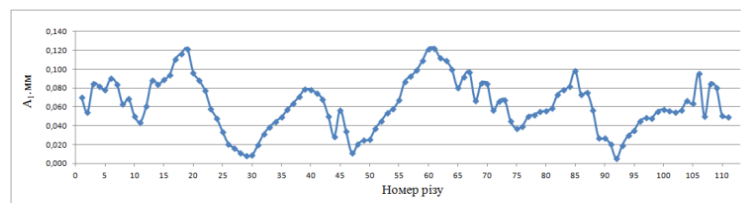


Рисунок 3.10 – Зміна амплітуди першої хвилі вільних коливань деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

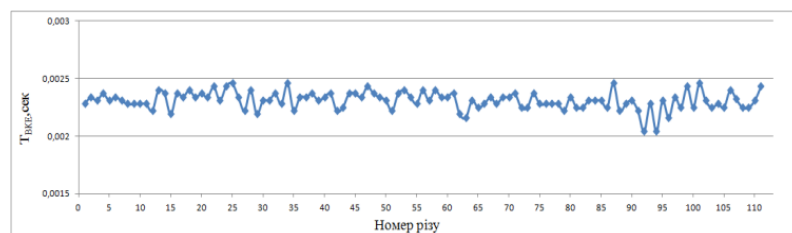


Рисунок 3.11 – Зміна періоду вільних коливань ТЕД при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

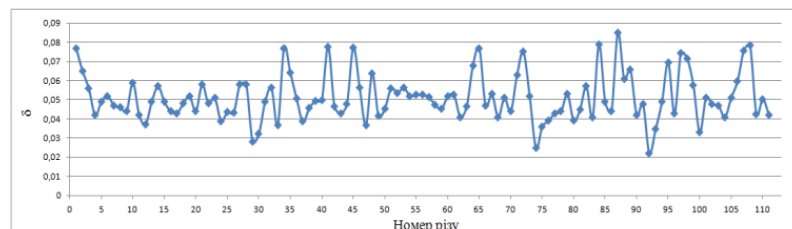


Рисунок 3.12 – Зміна логарифмічного декременту вільних згасаючих коливань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

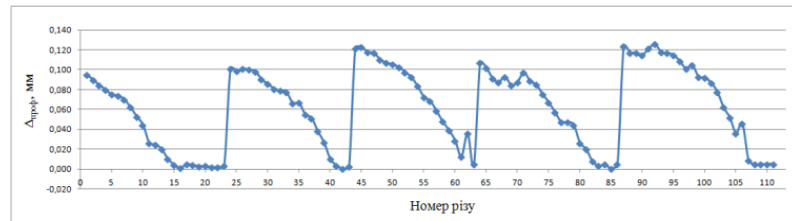


Рисунок 3.13—Зміна відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ППР при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

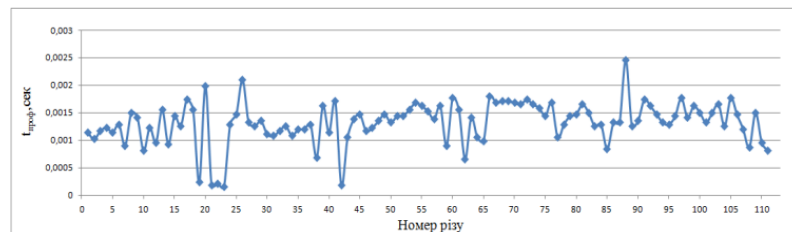


Рисунок 3.14 – Зміна часу профілювання обробленої поверхні при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні силуміну

За даними табл. А1 (Додаток А) побудовані графіки змін для 14 параметрів, що характеризують коливання при фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т (рис.3.15-3.28).

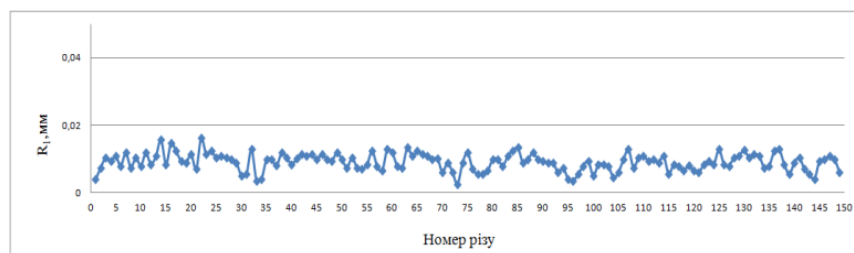


Рисунок 3.15 – Зміна розмаху вільних згасаючих коливань ТЕД перед врізанням зуба фрези при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

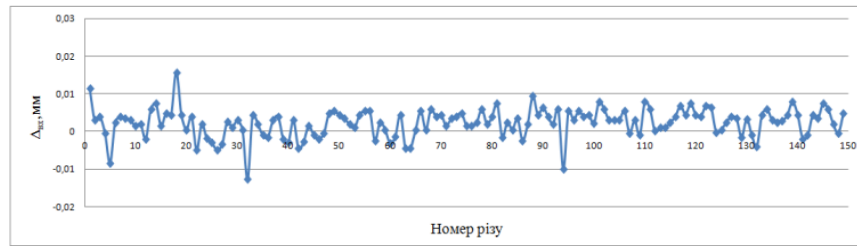


Рисунок 3.16 – Зміна відхилення деталі від ППР при врізанні зуба фрези в нікелевий сплав ХН78Т

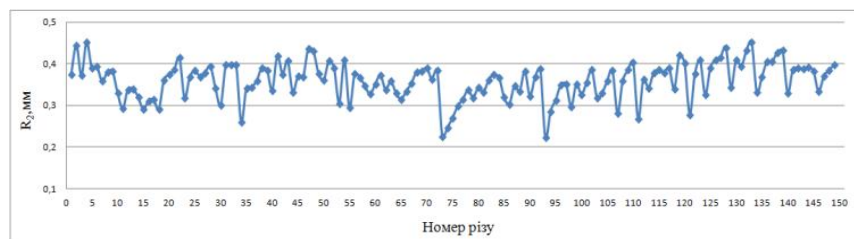


Рисунок 3.17 – Зміна розмаху автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

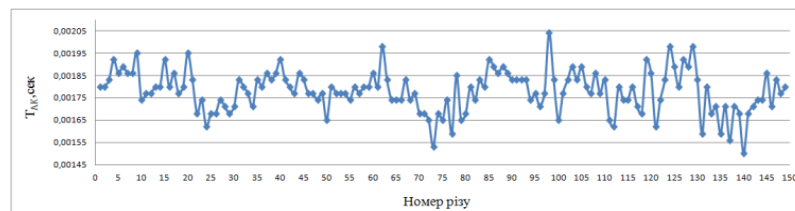


Рисунок 3.18 – Зміна періоду автоколивань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

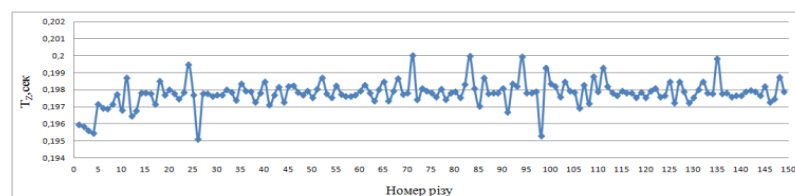


Рисунок 3.19 – Зміна часу між двома врізаннями сусідніх зубів (період зубцевої частоти) при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

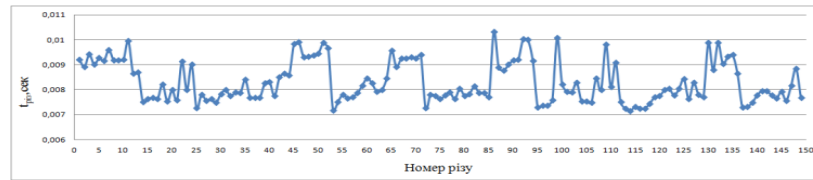


Рисунок 3.20 – Зміна часу різання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

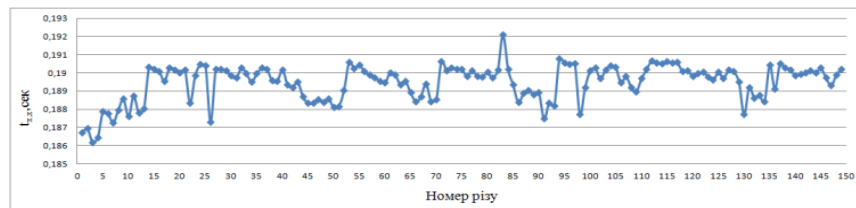


Рисунок 3.21 – Зміна часу між точкою виходу із зрізаного припуску попереднього зуба і точкою візання подальшого зуба при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

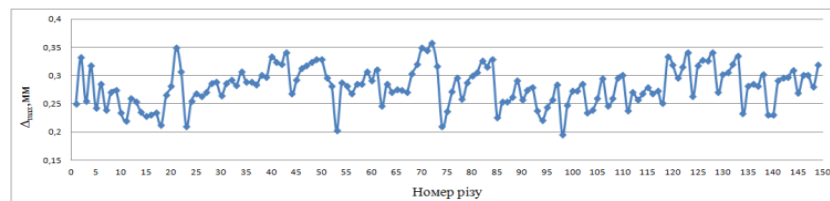


Рисунок 3.22 – Зміна максимального відхилення деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

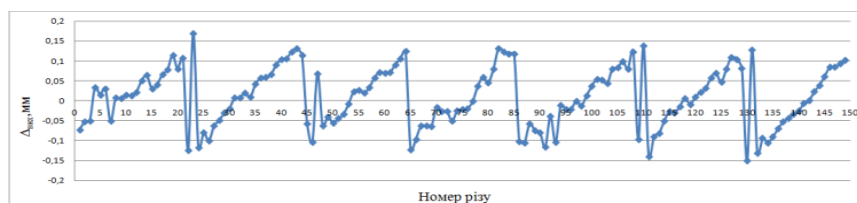


Рисунок 3.23 – Зміна відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези під час зустрічного кінцевого циліндричного фрезерування нікелевого сплаву ХН78Т

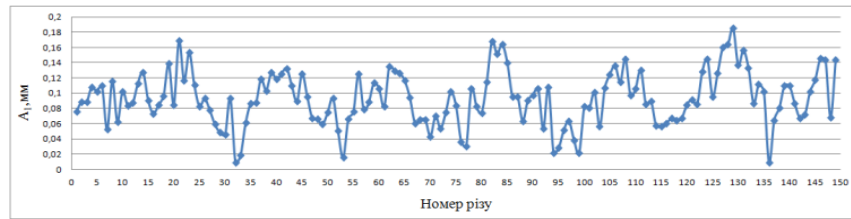


Рисунок 3.24 – Зміна амплітуди першої хвилі вільних коливань деталі при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

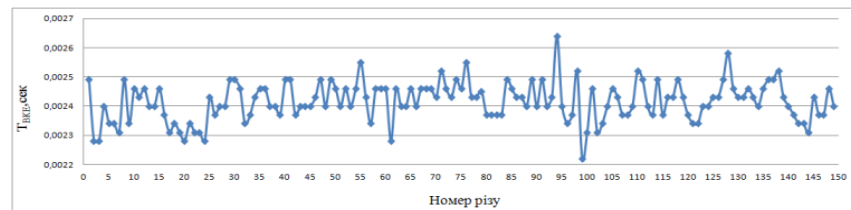


Рисунок 3.25 – Зміна періоду вільних коливань ТЕД при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

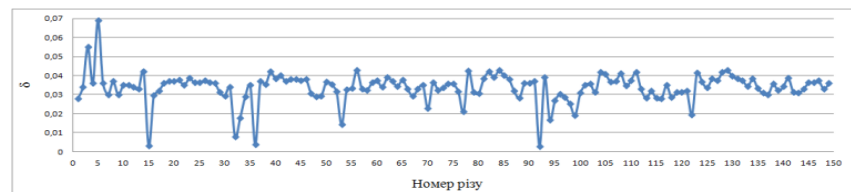


Рисунок 3.26 – Зміна логарифмічного декременту вільних згасаючих коливань при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

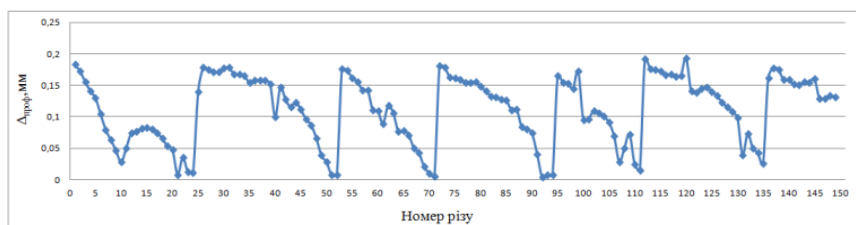


Рисунок 3.27–Зміна відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ППР при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

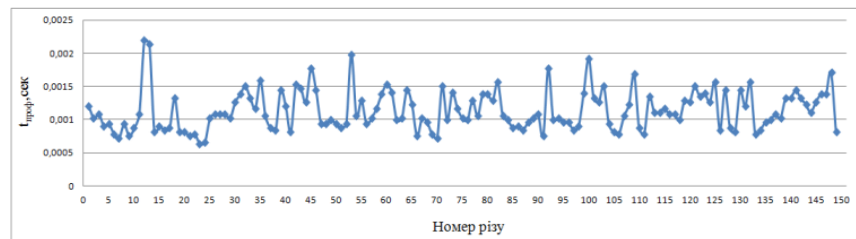


Рисунок 3.28 – Зміна часу формування обробленої поверхні при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні нікелевого сплаву ХН78Т

Розглянуті параметри можна поділити на ті, які характеризують глибину профілю поверхні різання (відхилення деталі від ППР при різанні зуба фрези, розмах автоколивань, максимальне відхилення деталі, відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези і відхилення першої хвилі автоколивань деталі), і ті, які характеризують довжину профілю поверхні різання (період автоколивань і час різання). Серед параметрів, що характеризують глибину профілю поверхні різання - це відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези (рис.3.9 - силумін, рис. 3.23 - зразок з ХН78Т) і відхилення першої хвилі автоколивань деталі (рис.3.14- силумін, рис. 3.28 - зразок з ХН78Т). Серед параметрів, що характеризують довжину поверхні різання - це час різання (рис.3.6- силумін, рис. 3.20 - зразок з ХН78Т).

На підставі графіків, наведених для силуміну (рис 3.1-3.14) та для нікелевого сплаву ХН78Т (рис. 3.15- 3.28) можна сказати, що періодичну зміну кількісних характеристик мають: час різання $t_{\text{різ}}$ та відхилення першої хвилі автоколивань від ППР $\Delta_{\text{проф}}$. Що стосується інших параметрів, то виражена періодичність відсутня, а розкид значень пов'язаний з похибкою вимірювання

При цьому слід зазначити, ні час різання, ні відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези не пов'язані з формоутворенням, тому що закон їх зміни відрізняється від закономірності зміни профілю обробленої поверхні, при якій висота хвилястості на кожному наступному різі періодично зменшується, а не збільшується. І крім цього, в силу особливостей зустрічного фрезерування, не зрізаною залишається початкова ділянка поверхні різання, а решта її частина, в тому числі і з відхиленням деталі від ППР при виході зуба фрези, видаляється.

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

Після фрезерування були записані профілограми оброблених поверхонь (рис.3.29). За зовнішнім виглядом вона має 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 Power Graph, 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 профілограми, 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.

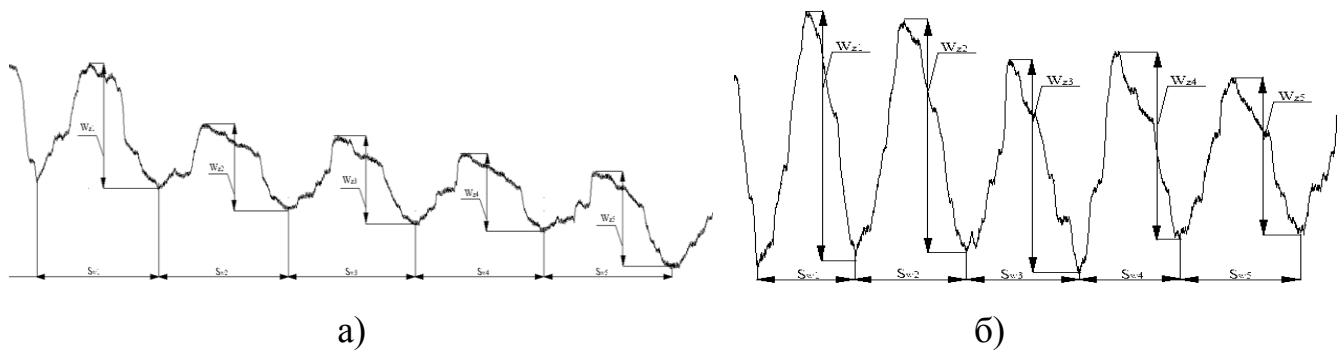


Рисунок 3.29 - Фрагменти профілограм обробленої поверхні з силуміну (а) та нікелевого сплаву ХН78Т (б) після зустрічного кінцевого фрезерування з автоколиваннями

Значення кроку і висоти хвилястості, розраховані 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 силуміну та алюмінію після зустрічного кінцевого фрезерування

Матеріал	Номер ділянки	1	2	3	4	5
Силумін	Крок хвилястості S_{wi} , мм	2,13	2,25	2,25	2,16	2,29
	Висота хвилястості W_{zi} , мм	0,091	0,095	0,105	0,102	0,115
ХН78Т	Крок хвилястості S_{wi} , мм	2,2	2,3	2,15	1,9	1,8
	Висота хвилястості W_{zi} , мм	0,299	0,282	0,224	0,259	0,187

Для визначення закономірностей, що призводять до формування хвилястості на обробленій поверхні, були розглянуті зміни при різанні таких параметрів, як відхилення деталі від положення пружної рівноваги (ППР) при врізанні зуба фрези - $\Delta_{вх}$, розмах автоколивань - R_2 , період автоколивань - T_{AK} , час різання - $t_{різ}$, максимальне відхилення деталі під дією сили, що вимушує - Δ_{max} , відхилення деталі від ППР при виході зуба фрези - $\Delta_{вих}$, амплітуда першої хвилі вільних згасаючих

коливань - A_1 , відхилення першої хвилі автоколивань деталі від ППР - $\Delta_{\text{проф}}$, що визначаються за фрагментами осцилограми (рис.3.1 - 3.28).

В таблицях А.1 та А.2 (Додаток А) наведені значення параметрів фрагментів осцилограм коливань деталі при різанні силуміну та ХН78Т. Графіки зміни цих параметрів наведені на рис. 3.1 - 3.28.

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 автоколивань деталі на формування обробленої поверхні.

При зустрічному циліндричному фрезеруванні ділянку поверхні різання[4], що залишається не зрізаною і є частиною обробленої поверхні, формується точкою врізання інструменту, що характеризується відхиленням деталі від ППР при вході зуба фрези, і точкою, яка характеризується відхиленням першої хвилі автоколивань деталі. І якщо розкид відхилень першої точки (рис.3.4) при прийнятих умовах фрезерування з великим часом холостого ходу інструменту, коли деталь встигає заспокоїтися, незначне і не перевищує 0,007мм, то закон зміни відхилення першої хвилі автоколивань деталі відповідає закону зміни хвилястості на обробленій поверхні за основними двома критеріями: по кроку і по висоті.

В табл.3.2 представлені значення кроку хвилястості обробленої поверхні і кроку хвилястості, розрахованої з використанням БФО за формулою (3.3):

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

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

S_z - подача на зуб, мм.

Висота хвилястості W_{zio} , що визначається по БФО, розраховується за формулою

$$W_{zio} = 0,0335 \cdot e^{9,6177 \Delta_{pi}}, \quad (3.4)$$

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

Таблиця 3.2 – Порівняння кроку хвилястості обробленої поверхні з розрахованим кроком

Матеріал	Номер ділянки профілограми	1	2	3	4	5
Силумін	Крок хвилястості S_w на профілограмі, мм	2,13	2,15	2,18	2,16	2,29
	Кількість різів зубом фрези $n_{рез}$	23	20	20	23	25
	Подача на зуб S_z , мм	0,1				
	Крок хвилястості S_w , розрахований по кількості різів, мм	2,3	2,0	2,0	2,3	2,5
	Похибка, %	7,3	6,9	8,2	6,0	8,4
ХН78Т	Крок хвилястості S_w на профілограмі, мм	2,2	2,3	2,15	1,9	1,8
	Кількість різів зубом фрези $n_{рез}$	24	25	23	20	19
	Подача на зуб S_z , мм	0,1				
	Крок хвилястості S_w , розрахований по кількості різів, мм	2,4	2,5	2,3	2	1,9
	Похибка, %	8,3	8	6,5	5	5,2

Порівняння кроків хвилястості, визначених по профілограмі і за відхиленнями першої хвилі автоколивань деталі, показує, що різниця між ними не перевищує 10%.

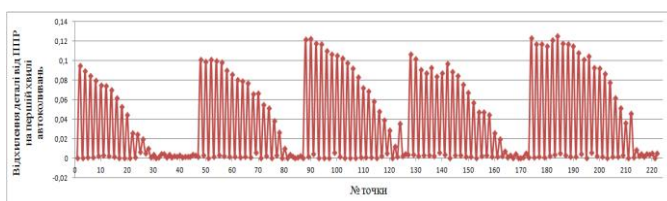
У таблиці 3.3 наведені значення вимірної і розрахованої глибини хвилястості на обробленій поверхні

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

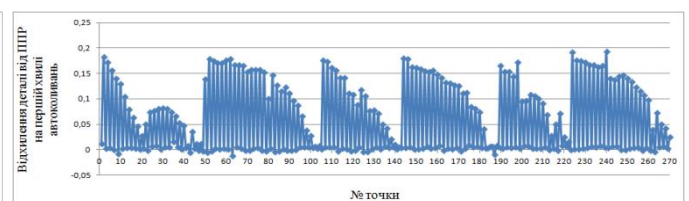
Матеріал	Номер ділянки на профілограмі	1	2	3	4	5
Силумін	Висота хвилястості на профілограмі W_{zi} , мм	0,091	0,095	0,105	0,102	0,115
	Розрахована висота хвилястості W_{zio} , мм	0,084	0,088	0,107	0,093	0,109
	Похибка, %	7,6	7,3	1,8	8,8	5,2
ХН78Т	Висота хвилястості на профілограмі W_{zi} , мм	0,299	0,282	0,224	0,259	0,187
	Розрахована висота хвилястості W_{zio} , мм	0,32	0,305	0,23	0,28	0,2
	Похибка, %	6,5	7,5	2,6	7,5	6,5

Порівняння висоти розрахованої хвилястості та визначеної за профілограмою показує, що різниця між ними не перевищує 9%.

На рис.3.30 наведені моделі оброблених поверхонь для силуміну (а) та ХН78Т (б), що побудовані за відхиленнями деталі від ППР на вході та на першій хвилі автоколивань, яка ідентична хвилястості на профілограмах (рис.3.29).



а)



б)

Рисунок – 3.30 Моделі оброблених поверхонь для зразків з силуміну (а) та ХН78Т (б), що побудовані за відхиленнями деталі від ППР на першій хвилі автоколивань

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 і відхиленні першої хвилі автоколивань деталі.

Дані таблиць А.1 та А.2 (додаток А) показують на відмінність періоду коливань (більше у силуміну) та відхилення першої хвилі автоколивань (більше у ХН78Т). Для виявлення впливу властивостей різних матеріалів на характеристики коливального руху при фрезеруванні потрібні подальші дослідження.

3.4 Висновки

Результати досліджень показують:

1. З досліджених параметрів періодичну зміну кількісних характеристик мають тільки час різання та відхилення першої хвилі автоколивань.
2. Час різання не впливає на формування обробленої поверхні, а характеризує тільки довжину різання.
3. Відхилення першої хвилі автоколивань впливає на формування профілю обробленої поверхні.
4. Після фрезерування були записані профілограми оброблених поверхонь. За зовнішнім виглядом вона має пилкоподібну форму з напрямком найбільш виступаючих точок хвилястості в сторону, протилежну руху деталі.
5. Порівняння профілів зразків з різних матеріалів показує на відмінності кроку та висоти хвилястості. Це обумовлено різними механічними властивостями цих матеріалів..

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дипломний проект «Дослідження закономірностей коливань тонкостінних деталей з силуміну та нікелевого сплаву при зустрічному фрезеруванні за допомогою базових фрагментів осцилограми» передбачає проведення досліджень на вертикально - фрезерному верстаті FWD 32J, а також використання персонального комп'ютера (ПК) для здійснення запису експериментів під час фрезерування тонкостінних деталей, а також обробки, аналізу та обчислення отриманих даних. Для усунення ризиків травматизму, нещасних випадків та створення нормованих умов роботи необхідно дотримуватися правил техніки безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні та за ПК. В даному розділі пояснювальної записки проаналізовано потенційно небезпечні фактори, що характеризують умови роботи, заходи з забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, а також пожежної безпеки. Крім цього, розглянуто заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях, а саме: особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у вогнищі комбінованого ураження згідно методичних рекомендацій [16].

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Металорізальні верстати являються, доволі, небезпечним та складним обладнанням, і тому робота за ним потребує уважності та дотримання правил техніки безпеки під час експлуатації, від чого залежить безпека роботи, стан обладнання та точність проведення експериментів.

До потенційних небезпек фізичного характеру належать:

- контакт з рухомими частинами металорізального верстата (шпиндель, стіл) : ймовірність захвату одягу чи частин тіла робітника, що може призвести до травм різної ступені тяжкості.

- руйнування інструменту внаслідок перевищення граничних навантажень: ймовірність отримання травм робітником або оточуючих людей через загрозу вильоту зруйнованих частин інструменту або деталі з робочої зони;

- контакт робітника з поверхнями оброблюваної деталі або стружки, які мають підвищену температуру існує ймовірність опіків;

- контакт робітника з гострими кромками, шорсткістю та задирками існує ймовірність порізів;

- ураження електричним струмом в наслідок порушення цілісності ізоляції струмоведучих частин: ймовірність отримання електротравм різної тяжкості.

До потенційних небезпек санітарно-гігієнічного характеру належать:

- підвищена запиленість повітря парами рідин, що виникають при випаровуванні змазувально-охолоджуючих рідин та мастил призводить до подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, може викликати їх запалення та розвиток захворювань дихальних шляхів і органів дихання;

- підвищений рівень шуму на робочому місці при роботі обладнання створює значне навантаження на нервову систему та слух людини, призводить до втоми, роздратованості, зниженню уваги та розвитку захворювань органів слуху;

- підвищений рівень вібрації обладнання призводить до погіршення постачання кінцівок кров'ю, що викликає порушення їх чутливості та може стати причиною розвитку віброхвороби, а також спостерігається порушення діяльності центральної нервової системи;

- недостатня освітленість робочого місця під роботи може призвести до погіршення зору і появи ризику отримання травм, а також до розвитку професійних захворювань.

До потенційних небезпек, що пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки можна віднести коротке замикання, та несправності системи пожежогасіння, які можуть призвести до пожежі.

Робота за ПК також містить шкідливі фактори, що впливають на людину. Виділяють наступні потенційні небезпеки при роботі:

- можливість ураження електричним струмом внаслідок несправності електрообладнання, незнання або порушення правил електробезпеки, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

- статична електрика – накопичення електричного заряду на поверхні обладнання ПК (як конденсатор) – може сягати кількох тисяч вольтів (переважно на електронно-променевої трубки відеотермінала, зокрема на екрані). При дотику до такого обладнання може статися електричний “удар”;

- електромагнітне випромінювання. Джерелом ЕМВ є відео дисплейний термінал. Тому обираючи робоче місце для комп’ютера, необхідно пам’ятати, що його задня і бокові стінки можуть бути джерелом значно більшого ЕМВ, ніж екран. Питання впливу ЕМВ на біологічну систему вивчено недостатньо, але в численних публікаціях стверджується, що радіочастотне випромінювання в умовах тривалої багаторічної дії накопичується в організмі людини, внаслідок чого може впливати не лише на нервово-психічну діяльність людини, а також на інші функціональні системи.

- підвищена іонізація повітря. У повітрі зовнішнього природного середовища, як і всередині приміщень, є певна кількість заряджених частинок, котрі називаються іонами. Дослідженнями встановлено, що в закритих приміщеннях, де працюють з комп’ютерами, концентрація легких негативних іонів зменшується (через 5 хвилин – у вісім разів, а через 3 години – до нуля). Така зміна балансу іонного складу повітряного середовища призводить до підвищення кількості озону(внаслідок використання лазерних принтерів, ксероксів) і може бути шкідливою для користувачів. Так, за незначного перевищення допустимої концентрації озону подразнюється слизова оболонка носа, очей, горла; надлишок озону впливає також на розумову і фізичну діяльність.

- одним зі шкідливих факторів при роботі за комп’ютером та офісною технікою є шум і вібрація. При роботі за ПЕОМ основним джерелом шуму є всі рухомі складові, насамперед друкувальні пристрої (матричні та струменеві принтери), сканери, дисководи, а також вентилятори, робота яких супроводжується акустичним випромінюванням різних частот, включаючи ультразвук.

- статичні й динамічні перевантаження і викликана ними втома;

- розумове перевантаження і викликана ним втома;

- перенапруження зорового аналізатора і викликані цим фізіологічні порушення. Перенапруження зорового аналізатора виникає при роботі користувача з ПЕОМ за значного зорового навантаження (особливо в процесі зчитування інформації з монітора, коли зображення має дрібні елементи, літери тощо) і може призводити до зорового дискомфорту (так званої “астенопії”, котра визначається як будь-які суб’єктивні зорові порушення чи емоційний дискомфорт, що є результатом перенапруження зору).

- статичні, фізичні навантаження та недостатня рухова активність. Ці ризик-шкідливі чинники проявляються в перенапруженні різних ланок скелетно-м’язової системи, а при неправильній чи незручній робочій позі призводять до тиску на грудну клітку, що ускладнює дихання, а також призводить до порушення кровообігу й застою крові у венах, органах черевної порожнини, тазу і нижніх кінцівках. Виконання дрібних стереотипних рухів спричиняє кістково-м’язовий дискомфорт, а саме: втому, скутість м’язів, біль у кістках, судоми, оніміння й тремтіння рук.

- негативний вплив ЕМВ або ЕМП при роботі з монітором ПК та іншої офісної техніки наслідок тривалої роботи з застарілою технікою, що може призвести до зниження імунітету та загальних захворювань.

- механічні травми внаслідок захащеності робочого місця, неуважності.

- негативний вплив напруженості та інтенсивності трудових факторів на психофізіологічний стан працівника, що може призвести до втоми та різкого зниження працездатності.

- негативні відносини у робочому колективі, що може призвести до підвищення психоемоційних навантажень і як наслідок – нервові захворювання.

- недостатня освітленість внаслідок виходу із ладу освітлювального приладу, що може призвести до зниження працездатності.

- незадовільні параметри повітряного середовища у робочому приміщенні, що може призвести до загальних захворювань.

- можливість загорянь внаслідок порушення правил пожежної безпеки.

- неправильні дії під час надзвичайних ситуацій різноманітного характеру, що може призвести до паніки, масових руйнувань та загибелі великої кількості людей.

4.2 Заходи з забезпечення техніки безпеки

Для уникнення 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 безпеки при обробці металів різанням». 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 НПАОП 27.4-7.15-86 «ССБТ. Ограждения движущихся частей оборудования. Общие технические требования». При проектуванні та експлуатації технологічного обладнання необхідно передбачати застосування пристроїв, які виключають ймовірність 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 12.2.049-80. «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования».

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 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 дотримання ПУЕ-2014 «Правила улаштування електроустановок». Захисне заземлення передбачається згідно ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

Для вчасного запобігання, вияву та лікування захворювань необхідно регулярно та своєчасно проходити медогляди згідно ДНАОП 0.03-4.02-94 «Положення про медичний огляд працівників певних категорій».

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 $R_z = 4$ 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».

При роботі з електронно обчислювальними машинами площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 .

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».

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 Роботизація виробництва, як один із заходів із забезпечення безпеки

Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства. Безперервне вдосконалення і розвиток машинобудування пов'язане з прогресом верстатобудування, оскільки металорізальні верстати разом з деякими іншими видами технологічних машин забезпечують виготовлення будь-яких нових видів устаткування. Металорізальні верстати є основним видом технологічного обладнання машинобудівного виробництва, саме на них здійснюється остаточна обробка деталей з необхідною якістю, яка має бути досягнута для забезпечення здатності машин виконувати свої функції. Сучасний верстат органічно з'єднав технологічну машину для розмірної обробки з обчислювальною машиною, що управляє. Верстати з ЧПУ і оброблювальні центри складають основу сучасних високоорганізованих виробництв.

Впровадження промислових роботів [17] в сучасному машинобудівному виробництві дозволяє здійснити повну комплексну автоматизацію, підвищити ефективність використання трудових ресурсів, забезпечити послідовне скорочення застосування та навіть виключення ручного, важкого і некваліфікованої праці. За своїми функціонально-структурним можливостям і цільовим призначенням промислові роботи діляться на автоматичні, біотехнічні та інтерактивні маніпуляційні.

Перший великий клас роботів - це автоматичні роботи. Вони характеризуються тим, що процес управління їх діями відбувається без безпосередньої участі людини, роль якого обмежується налагодженням, пуском і контролем роботи системи.

Автоматичні роботи можуть бути програмними, адаптивними і інтелектуальними.

Другим великим класом робіт є біотехнічні маніпуляційні роботи. У процесі управління ними бере участь людина-оператор. Біотехнічні роботи мають три різновиди, що необхідно враховувати при технологічній підготовці виробництва. В основу поділу покладено різні методи управління.

Командне управління - дистанційне включення виконавчих приводів робота з командного пульта (пульта управління). Оператор подає керуючі сигнали і визначає порядок їх надходження у виконавчі органи.

Копіююче управління здійснюється задаючим пристроєм, кінематично подібним виконавчій руці робота і розташовуватися на будь-якій відстані від неї. Людина тримає задає пристрій рукою і рухає ним потрібним чином. При цьому виробляються сигнали управління, які по лініях дистанційного зв'язку надходять на виконавчі руки робота, точно копіюють рухи рук оператора. Доцільно використання біотехнічних робіт в екстремальних умовах, наприклад, високої радіації, температури, агресивному газовому середовищі, високого тиску або вакууму.

Напіваавтоматичне управління характеризується тим, що людина-оператор, натискаючи на керуючу рукоятку з деякими ступенями свободи, задає тим самим за допомогою дистанційних засобів необхідні переміщення руці робота. За сигналом від керуючої рукоятки ЕОМ формує і видає сигнали для виконавчих приводів руки робота.

Третій великий клас робіт - це інтерактивні маніпуляційні роботи. Основна їхня особливість - часткова участь людини в процесі управління - виражається в різних формах взаємодії оператора з ЕОМ.

Автоматизоване управління означає чергування в певній послідовності повністю автоматичних і біотехнічних режимів управління. Оператор вибирає послідовність включення автоматичних режимів і тривалість ручного біотехнічного управління. Незалежно від поєднання цих режимів у всіх випадках використовують ЕОМ.

Супервізорне управління характеризується тим, що всі частини заданого циклу операцій виконуються роботом автоматично. Перехід від однієї частини до іншої здійснює оператор шляхом подачі команд цілевказівки за допомогою рукоятки, світлового пера на екрані дисплея або іншим способом.

Діалогове управління характерно тим, що робот стає творчим партнером людини (вищий ступінь автоматизації робототехніки). Режим роботи передбачає автоматичне виконання ним операцій по частинах в поєднанні з спілкуванням людини-оператора з ЕОМ у процесі управління.

Застосування роботів [17] дозволяє перейти до нового етапу автоматизації виробництва - створенню роботизованих ліній і ділянок верстатів з ЧПК, керованих від ЕОМ, створенню роботизованих ліній складання. При їх організації оптимальний варіант використання роботів обирають шляхом дослідження різних схем компонувань. При дотриманні всіх вимог забезпечуються висока продуктивність засобів автоматизації, зниження термінів їх окупності, зростання прибутку і, головне, різке скорочення термінів підготовки виробництва нових виробів.

На прикладі роботизованого зварювального комплексу [18] можна відмітити можливість швидкої перебудови з одного типу робіт на інші - то, що істотно відрізняє робота для зварювання не тільки від спеціалізованого обладнання, але і від зварника-людини. Роботизовані комплекси завжди обгороджені для того, щоб попередити можливість отримання травми. На підприємствах приймаються всі заходи, щоб протягом експлуатації робота несанкціонований персонал не знаходився в межах його робочої зони.

При використанні РТК передбачають заходи безпеки [18] обслуговуючого персоналу. Аварійні ситуації можуть виникати через непередбачені рухи робота під час роботи і навчання. Тому необхідна у всіх випадках зупинка робота при вході людини в робочий простір. Відключення робота виконують пристрої захисту, в основі яких використовують контактні, силові, ультразвукові, індукційні, світлолокаційні і інші датчики. Звичайна форма захисту - високий паркан - доповнюється захисними променями, перетин з якими автоматично зупинить робот

маніпулятор. Крім того, додаткову безпеку забезпечують і кнопки аварійної зупинки.

Промислові роботи для фрезерних і токарних верстатів у більшості випадків призначені для установки, орієнтації і зняття деталі - заготовки в межах робочої зони верстата.

Основними причинами виникнення небезпечних ситуацій при експлуатації ПР [18] є непередбачені рухи виконавчих пристроїв ПР при наладці, ремонті, під час навчання і виконання програми, що управляє; раптова відмова в роботі ПР, або технологічного устаткування, спільно з яким він працює; помилкові (ненавмисні) дії оператора або наладчика під час наладки або ремонту, при роботі в автоматичному режимі; доступ людини в робочий простір робота при роботі в режимі виконання програм; порушення умов експлуатації ПР, порушення вимог ергономіки і безпеки праці при плануванні РТК, тобто неправильне розміщення технологічного устаткування ПР, пультів управління, завантажувальних і розвантажувальних пристроїв, накопичувачів, тари, транспортних і інших засобів технологічного оснащення.

Підвищити безпеку [18] роботи з ПР разом з пристроями блокування дозволяє кольорове оздоблення. Пересувні частини ПР розфарбовані по ГОСТ 12.4.026 - 76 в сигнальні кольори для залучення уваги тих, що працюють до безпосередньої небезпеки, попередження можливої небезпеки, розпорядження і дозволу певних дій, а також для іншої інформації. Для посилення контрасту сигнальний колір застосований на тлі контрастних білого і чорного кольорів (ГОСТ 12.4.026 - 76). Для забарвлення пересувних частин ПР застосований жовтий сигнальний колір в поєднанні з чорним.

Поява в машинобудівній галузі роботизованих комплексів дала змогу скоротити небезпечні фактори, які виникають під час роботи та можуть нашкодити людині.

4.4 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», мікрокліматичні умови та їх забезпечення, відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». 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 змазувально-охолоджуючих рідин та мастил необхідно передбачити вентиляційні системи, які повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Для усунення негативних наслідків впливу шуму на організм людини обладнання повинно відповідати допустимим шумовим характеристикам згідно ГОСТ 12.2.107-85 ССБТ. «Шум. Станки металлорежущие. Допустимые шумовые характеристики».

Рівень шуму при проведенні дослідів за верстатом в лабораторії не повинен перевищувати 80 дБ згідно вимог ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». 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 шумобезпечної техніки, застосування засобів і методів колективного та індивідуального захисту, а також це повинно враховуватись при проектуванні підприємств, будівель та споруд різного призначення. При роботі з ПК 65дБ ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»);

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.

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.

Штучне освітлення – освітлення будинків, приміщень, споруд та створення зовнішнього освітлення за допомогою спеціальних електроосвітлювальних

установок – світильників. Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення.

При роботі з ПЕОМ норми ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», приміщення для роботи з ВДТ мають бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря, або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» в проекті передбачено: устрій системи водяного опалення приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Нормовані параметри мікроклімату, іонного складу повітря, вмісту шкідливих речовин мають відповідати вимогам СанПин 2.2.4.548-96, СН 2152-80, ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 12.1.007-76 .

Віконні прорізи приміщень для роботи з ВДТ мають бути обладнані регульованими пристроями (жалюзі, завіски, зовнішні козирки).

Для внутрішнього оздоблення приміщень з ВДТ слід використовувати дифузно-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття для стелі 0,7 - 0,8, для стін 0,5 - 0,6.

Рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГР 2411-81, ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» Рівень шуму при роботі за ПК не повинен перевищувати 60 дБ. Під час виконання робіт з ПК у виробничих приміщеннях значення характеристик вібрації на робочих місцях мають не перевищувати допустимі відповідно до СН 3044-84 та ГОСТ 12.1.012-90.

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях мають не перевищувати допустимих значень згідно ГОСТ 12.1.045-84. «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Значення напруженості електромагнітних полів на робочих місцях мають відповідати нормативним значенням згідно ГОСТ 12.1.006-84 «ССБТ

Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Обладнання і організація робочого місця працюючих з ПК мають відповідати ергономічним вимогам, конструкція робочого місця має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози та відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання і документів.

Працюючі з ПК підлягають обов'язковим медичним оглядам. Періодичні огляди мають проводитися раз на два роки. Основними критеріями оцінки стану придатності до роботи є стан органів зору, при цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

4.5 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі та протипожежного захисту, у тому числі організаційно-технічними заходами. Згідно з вимогою ГОСТ 12.1.004-91 пожежна безпека забезпечується наступними заходами:

- системою запобігання пожежам;
- системою пожежного захисту;
- організаційними заходами щодо пожежної безпеки.

Запобігання пожежі досягається наступними заходами:

- запобігання утворенню горючого середовища;
- запобігання наявності в горючій середі джерел запалення.

Для зменшення небезпеки займання в горючому середовищі передбачено:

- 1) використання устаткування, відповідного класу пожежонебезпечної зони ; блискавкозахист будівель, споруд і устаткування;
- 2) забезпечення захисту від короткого замикання (контроль ізоляції, використання запобіжників);

З) вживання заземлення захисного екрану для стоку статичної електрики.

Основою для встановлення нормативних вимог щодо конструктивних та планувальних рішень на промислових об'єктах, а також інших питань забезпечення їхньої вибухопожежобезпеки є визначення категорій приміщень та будівель виробничого, складського та невиробничого призначення за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) – це класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них з урахуванням особливостей технологічних процесів розміщених в них виробництв.

В приміщенні зберігаються незаймисті речовини і матеріали в холодному стані, розташовується обладнання і електропроводи до нього, а також предмети меблів. Згідно аналізу приміщення можна віднести до категорії Д за вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Пожежа, яка може виникнути відноситься до класу пожеж А, це пожежі твердих речовин переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір) згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

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.

Рекомендується для даної категорії приміщення і класу пожежі оснащувати приміщення порошковими вогнегасниками місткістю 5 л в кількості 1 шт згідно ДСТУ 4297:2004 "Пожарная техника. Техническое обслуживание огнетушителей. Общие технические требования". 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 1 000 В. Зберігати потрібно у вертикальному стані в легкодоступному місці, захищеному від прямих сонячних променів і далеко від нагрівальних приладів.

Визначення категорії будівель в цілому виконується після визначення категорій приміщень. Залежно від встановленої категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою, передбачається відповідний чинним нормативам комплекс об'ємно-планувальних рішень та профілактичних заходів. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту згідно НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». До технічних засобів захисту належить - автоматичне блокування, сигналізація, пожежні сповіщувачі та ін. До будівельних — системи димовидалення, використання легкорозбірних та легкоскридних конструкцій, шляхи евакуації, протипожежні стіни, розриви та ін. До організаційних-створення пожежнорятувальних частин, газорятувальних служб, добровільних протипожежних формувань, пожежно-технічних комісій, навчання посадових осіб та населення Правилам пожежної безпеки та ін.

Система попередження пожеж має забезпечувати необхідний рівень безпеки працюючих та матеріальних цінностей, що знаходяться на об'єктах господарювання. Її призначення полягає у тому, щоб: унеможливити виникнення пожеж; гарантувати максимальну безпеку людей у разі виникнення пожеж; забезпечувати одночасно пожежну безпеку, як для працюючих, так і для матеріальних цінностей; не допускати негативного впливу чинників пожежі на організм працюючих.

До заходів відноситься дотримання протипожежних норм і правил при конструюванні та проектуванні будівель, обладнання, утримання в справному стані устаткування, суворий контроль за дотриманням правил експлуатації обладнання та дотримання правил та інструкцій з протипожежної безпеки, застосування автоматичних пристроїв виявлення, оповіщення та гасіння пожеж.

4.6 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Питання, яке необхідно розв'язати в даному підрозділі – особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у вогнищі комбінованого ураження.

У результаті впливу стихійних сил природи, поки ще не повністю підвладних людині, аварій, катастроф, а також застосування сучасних засобів ураження у воєнний час, можуть утворюватися численні вогнища ураження [19], які викликають екстремальні ситуації, що порушують нормальну життєдіяльність людей і роботу об'єктів та сприяють утворенню великих зон радіоактивного зараження, катастрофічного затоплення і виникнення масових пожеж. А це, у свою чергу, може завдати економіці країни і населенню величезних збитків, пов'язаних з руйнуванням будівель і споруд, знищенням матеріальних цінностей, порушенням процесів виробництва, масової загибелі людей і тварин. Для ліквідації наслідків, викликаних надзвичайними ситуаціями, передбачається проведення РІНР.

Проведення РІНР — одне з головних завдань ЦЗ. Воно повинно вирішуватися силами ЦЗ у взаємодії з військовими частинами (підрозділами) Збройних Сил і спеціалізованими формуваннями інших міністерств та відомств.

Заходи щодо організації і проведення РІНР у районах стихійних лих, а також у можливих вогнищах ураження від застосування сучасного зброї плануються і готуються у мирний час. У випадку факту лиха вони уточнюються і проводяться з урахуванням обстановки, що склалася.

РІНР мають різний зміст [19], але організовуються і проводяться, як правило, одночасно, як єдиний комплекс. При цьому обов'язково враховується, що кожному виду стихійних лих властиві свої специфічні особливості, з яких випливають певні вимоги до складу сил, що залучаються, їх технічного оснащення і способів дій.

РІНР і в мирний, і у воєнний час проводяться:

- для порятунку людей, надання першої медичної допомоги постраждалим і ураженим та евакуації їх у лікувальні установи;

- локалізації аварій і усунення ушкоджень, які заважають проведенню рятувальних робіт;
- ліквідації аварій, які загрожують життю людей (на АЕС, хімічно небезпечних об'єктах, енергетичних і комунальних мережах, нафто- і газопроводах та інших аналогічних об'єктах і мережах);
- забезпечення життєдіяльності міст і ОГ;
- створення необхідних умов проведення відбудовних робіт. До рятувальних робіт відносяться: відшукування потерпілих;
- розкриття зруйнованих, пошкоджених і завалених сховищ та укриттів і діставання з них, а також з частково зруйнованих або палаючих будинків й інших споруд, людей; надання постраждалим першої медичної допомоги; винесення (вивезення) їх з вогнищ ураження до місця розміщення медичних формувань і установ; надання необхідної лікарської допомоги ураженим і евакуація їх на лікарняну базу.

У ході рятувальних робіт проводять [19] розвідку вогнищ ураження і маршрутів виступу формувань на ділянки (об'єкти) робіт; локалізацію і гасіння пожеж на ділянках проведення робіт і шляхах виходу до них; подачу повітря в завалені захисні споруди з пошкодженою фільтровентиляційною системою; виведення (вивезення) населення з небезпечних місць і зон зараження та затоплення в безпечні райони; санітарну обробку людей і знезаражування одягу, дезактивацію і дегазацію техніки, транспорту і засобів захисту, знезаражування території і споруд, продовольства, харчової сировини, води і фуражу.

До невідкладних відносять роботи, проведені для створення умов успішних і безпечних рятувальних робіт, забезпечення життєдіяльності міст та запобігання подальших руйнувань і втрат серед населення в результаті впливу вторинних факторів ураження; це локалізація аварій, які загрожують життю людей, відновлення діяльності найважливіших ОГ, функціонування інженерних і транспортних мереж, споруд міського господарства.

При проведенні таких робіт прокладають колонні шляхи; влаштовують проїзди в завалах і на заражених ділянках; відновлюють пошкоджені мости і

роблять переправи; локалізують аварії на енергетичних, газових, водопровідних, каналізаційних і технологічних мережах; відновлюють окремі установки і мережі водопроводу, енергопостачання, лінії зв'язку; зміцнюють чи руйнують конструкції, які загрожують обвалом і перешкоджають безпечному руху людей та техніки, проведенню рятувальних робіт; ремонтують і відновлюють пошкоджені захисні споруди для подальшого їх використання.

У ході РІНР здійснюються також [19] санітарне очищення вогнищ ураження, медична розвідка для оцінки санітарно-епідемічної обстановки і визначення потрібної кількості медичних сил; організація комендантської служби й охорони громадського порядку; збирання матеріальних цінностей; забезпечення харчуванням і предметами першої необхідності населення, яке залишилося без домівок.

Для запобігання чи зменшення збитків від очікуваних стихійних лих передбачається проведення комплексу організаційних та інженерно-технічних заходів, таких як будівництво берегозахисних і берегоукріплюючих споруд, обвалування і підсипання дамб, штучне зниження інтенсивності танення льодовиків і снігу тощо.

РІНР організовують [19] у максимально короткі терміни і проводять безперервно вдень і вночі, у будь-яку погоду, до повного їх завершення. Для забезпечення безупинного проведення РІНР до повного їх завершення, для нарощування зусиль і розширення фронту рятувальних робіт, а також для заміни сил і засобів угруповання можуть складатися з одного чи двох ешелонів і резерву. Кількість ешелонів визначається обсягом і умовами виконання рятувальних робіт, наявністю сил, а також особливостями їх розміщення в заміській зоні і можливий ешелон може складатися з декількох змін. Для проведення розвідки і забезпечення висування і введення сил у вогнища ураження до складу угруповання включаються розвідувальні підрозділи і формування (загони) забезпечення руху.

При наявності двох ешелонів перший ешелон угруповання сил призначається для негайного (з урахуванням радіаційної обстановки) розгортання рятувальних робіт і ведення їх у високому темпі. З цією метою в перший ешелон включаються найбільш мобільні, добре підготовлені й оснащені сучасною технікою сили, здатні в

короткі терміни прибути до вогнища ураження і приступити до робіт. Такими силами є: військові частини і підрозділи ЦЗ; інші військові частини і підрозділи, що виділяються військовим командуванням згідно з планами взаємодії; територіальні та невоєнізовані формування категорійованих міст; формування міської охорони громадського порядку, які продовжують виробничу діяльність, і невоєнізовані формування підвищеної готовності ближніх некатегорійованих міст і сільських районів.

Другий ешелон призначається для нарощування зусиль і розширення фронту рятувальних робіт в міру спадання рівня радіації, а також для заміни підрозділів і формувань першого ешелону. До складу другого ешелону включаються сили ЦЗ міст і сільських районів, що не ввійшли до складу першого ешелону, частини і підрозділи Збройних Сил і МВС з пізнішими термінами розгортання і невоєнізовані формування охорони громадського порядку, які продовжують свою діяльність у заміській зоні.

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 и 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. Також розглянуто питання – роботизація виробництва, як один із заходів із забезпечення безпеки та особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у вогнищі комбінованого ураження.

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 металорізальному обладнанні та аналізу осцилограм, що описують коливання деталі при різанні. Встановлено, що недостатньо вивченим залишається питання обробки деталей в умовах дії автоколивань.

2. Розроблено методичне забезпечення з проведення досліджень впливу механічних властивостей матеріалів на коливання при зустрічному кінцевому циліндричному фрезеруванні. Призначені режими різання для фрезерування в умовах дії автоколивань.

3. Проведено експерименти із зразками з силуміну та нікелевого сплаву ХН78Т. З записаних осцилограм коливань зразків для подальших досліджень визначено 14 параметрів, що характеризують коливальний рух деталі.

4. Досліджено вплив показників БФО на якість обробленої поверхні. 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.

5. Крок та висота хвилястості на оброблених поверхнях зразків з різних матеріалів мають різні значення. Це обумовлено різними механічними властивостями цих матеріалів та потребує додаткових досліджень.

7. Виявлені фактори при роботі за металообробним обладнанням та ПК, які створюють небезпеку та можуть призвести до негативних наслідків у разі недотримання правил та вимог техніки безпеки.

8. Були проведені заходи щодо забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, а також пожежної безпеки з урахуванням вимог нормативних документів та стандартів.

9. Запропоновано заходи, які забезпечують безпечні та комфортні умови для виконання дослідницьких робіт та експериментів при роботі за використанням обладнанням.

10. Наведено заходи під час проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у вогнищі комбінованого ураження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пазій А.С. Методика дослідження формування обробленої поверхні за базовими фрагментами осцилограм [Текст] / А.С. Пазій, К.Г. Блід, С.І:Дядя // Тези доповідей науково - практичної конференції: зб. наук. праць. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - с.193
2. Пазій А.С. Оцінка поверхні різання за базовими фрагментами осцилограми [Текст] / А.С. Пазій, К.Г. Блід, С.І:Дядя // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво: зб. наук. праць. - Краматорськ: ДДМА, 2018. - с.51
3. 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.
4. Гермашев А. И. Повышение качества концевое фрезерования тонкостенных элементов деталей путем применения специальных технологических сред : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 [Электронный ресурс] / Антон Игоревич Гермашев ; науч. рук. Внуков Ю. Н. ; Запорожский нац. техн. ун-т. – Запорожье, 2016. – 199 с. – Библиогр. : с. 171-197. – рус.
5. Munoa, J. ; Beudaert, X. ; Dombovari, Z. ; Altintas, Y. ; Budak, E. ; Brecher, C. ; Stepan, G./ Chatter suppression techniques in metal cutting. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2016 ; Vol. 65, No. 2. pp. 785-808.
6. Каширин, А.И. Исследование вибраций при резании металлов / А.И. Каширин ; АН СССР, Ин-т машиноведения. - М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1944.-132 с.
7. Кабалдин Ю.Г., Олейников А.И., Шпилёв Л.М., Бурков А.А. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием. - Владивосток: Дальнаука, 2000. - 195 с.

8. Васин С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании / С. А. Васин. - Москва : Машиностроение, 2006. - 383 с.

9. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184с.

10. Лазарев Г.С. Автоколебания при резании металлов / Изд-во “Высшая школа”, Москва, 1971. -244с.

11. 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.

12. Дядя С.И. Исследование формирования обработанной поверхности тонкостенного элемента детали при концевом цилиндрическом фрезеровании с автоколебаниями / С.И. Дядя // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 12. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – с. 5-19.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних проектах (роботах) студентів спеціальностей 7.05110202 Авіаційні двигуни та енергетичні установки; 7.05110201 Технологія машинобудування; 7.05110301 Металорізальні верстати та системи; 7.05110203

Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок усіх форм навчання / Укл.: В.І. Шмирко, Ю.В.Якімцов Запоріжжя: ЗНТУ, 2014 – 18 с.

17. Застосування промислових роботів - Режим доступа:

<https://stud.com.ua/>

18. Зварювальний робот KUKA. Сварка роботом, зварювальні роботи –

Режим доступа:

<https://netrs.ru/uk/>

19. Рятувальні й інші невідкладні роботи - Режим доступа:

<http://p-for.com/>

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Параметри коливань деталі з силуміну

№ БФО	R1,мм	Δвх,мм	R2,мм	Так,сек	Тз,сек	тріз,сек	тх,х,сек	Δтах,мм	Δвих,мм	А1,мм	Твк,сек	δ	Δпроф,мм	тпроф,сек
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,0029	0,0006	0,31	0,0020	0,198	0,0096	0,189	0,173	0,0589	0,0700	0,0023	0,0770	0,0951	0,0011
2	0,0054	0,0001	0,36	0,0019	0,197	0,0074	0,190	0,223	0,0452	0,0542	0,0023	0,0650	0,0897	0,0010
3	0,0025	0,0009	0,35	0,0017	0,196	0,0078	0,188	0,202	0,0663	0,0847	0,0023	0,0560	0,0845	0,0012
4	0,0059	0,0011	0,33	0,0018	0,197	0,0080	0,190	0,193	0,0707	0,0818	0,0024	0,0420	0,0798	0,0012
5	0,0079	0,0026	0,33	0,0018	0,196	0,0080	0,188	0,192	0,0431	0,0784	0,0023	0,0490	0,0749	0,0011
6	0,0059	0,0031	0,34	0,0018	0,196	0,0082	0,188	0,188	0,0427	0,0902	0,0023	0,0520	0,0739	0,0013
7	0,0059	0,0026	0,33	0,0019	0,196	0,0082	0,188	0,188	0,0360	0,0843	0,0023	0,0470	0,0700	0,0009
8	0,0064	0,0021	0,31	0,0019	0,197	0,0084	0,189	0,229	0,0166	0,0631	0,0023	0,0460	0,0621	0,0015
9	0,0044	0,0004	0,36	0,0018	0,198	0,0084	0,189	0,225	0,0183	0,0685	0,0023	0,0440	0,0528	0,0014
10	0,0054	0,0006	0,35	0,0019	0,198	0,0084	0,189	0,212	0,0063	0,0503	0,0023	0,0590	0,0444	0,0008
11	0,0029	0,0006	0,34	0,0019	0,198	0,0083	0,190	0,218	0,0262	0,0439	0,0023	0,0420	0,0262	0,0012
12	0,0049	0,0009	0,33	0,0020	0,195	0,0081	0,187	0,202	0,0410	0,0606	0,0022	0,0370	0,0247	0,0010
13	0,0084	0,0067	0,31	0,0020	0,197	0,0086	0,189	0,198	0,0543	0,0882	0,0024	0,0490	0,0198	0,0016
14	0,0069	0,0053	0,33	0,0019	0,195	0,0081	0,189	0,217	0,0685	0,0838	0,0024	0,0570	0,0100	0,0009
15	0,0034	0,0011	0,33	0,0019	0,198	0,0084	0,189	0,221	0,0739	0,0887	0,0022	0,0490	0,0041	0,0014
16	0,0039	0,0001	0,32	0,0019	0,197	0,0085	0,189	0,209	0,0773	0,0941	0,0024	0,0440	0,0009	0,0013
17	0,0079	0,0046	0,32	0,0020	0,198	0,0087	0,190	0,212	0,0936	0,1108	0,0023	0,0430	0,0046	0,0017
18	0,0074	0,0009	0,31	0,0020	0,199	0,0084	0,191	0,211	0,0980	0,1168	0,0024	0,0480	0,0041	0,0016
19	0,0069	0,0011	0,31	0,0020	0,196	0,0065	0,189	0,209	0,1015	0,1217	0,0023	0,0520	0,0026	0,0002
20	0,0049	0,0016	0,29	0,0021	0,199	0,0098	0,190	0,203	0,1067	0,0966	0,0024	0,0440	0,0031	0,0020
21	0,0064	0,0012	0,29	0,0020	0,197	0,0079	0,190	0,204	0,1076	0,0880	0,0023	0,0580	0,0016	0,0002
22	0,0054	0,0021	0,28	0,0021	0,198	0,0079	0,190	0,198	0,0845	0,0774	0,0024	0,0480	0,0021	0,0002
23	0,0064	0,0036	0,28	0,0020	0,198	0,0079	0,190	0,202	0,0560	0,0582	0,0023	0,0510	0,0031	0,0002
24	0,0016	0,0016	0,28	0,0020	0,198	0,0083	0,189	0,202	0,0328	0,0479	0,0024	0,0389	0,1010	0,0013
25	0,0059	0,0031	0,28	0,0020	0,196	0,0083	0,188	0,205	0,0304	0,0336	0,0025	0,0436	0,0990	0,0015
26	0,0025	0,0006	0,29	0,0020	0,198	0,0088	0,190	0,210	0,0171	0,0208	0,0023	0,0433	0,1010	0,0021
27	0,0035	0,0016	0,29	0,0020	0,198	0,0082	0,190	0,209	0,0092	0,0164	0,0022	0,0581	0,1000	0,0013
28	0,0039	0,0031	0,29	0,0020	0,198	0,0081	0,190	0,212	0,0011	0,0114	0,0024	0,0579	0,0983	0,0013
29	0,0039	0,0027	0,29	0,0020	0,198	0,0083	0,190	0,214	0,0134	0,0082	0,0022	0,0283	0,0902	0,0014
30	0,0039	0,0016	0,29	0,0019	0,198	0,0082	0,190	0,211	0,0129	0,0087	0,0023	0,0321	0,0858	0,0011
31	0,0026	0,0016	0,28	0,0020	0,197	0,0082	0,189	0,206	0,0218	0,0195	0,0023	0,0490	0,0808	0,0011
32	0,0059	0,0011	0,29	0,0020	0,198	0,0086	0,190	0,223	0,0316	0,0314	0,0024	0,0562	0,0789	0,0012
33	0,0049	0,0018	0,30	0,0019	0,198	0,0084	0,190	0,227	0,0395	0,0387	0,0023	0,0367	0,0774	0,0013
34	0,0069	0,0009	0,31	0,0017	0,198	0,0083	0,189	0,232	0,0420	0,0447	0,0025	0,0770	0,0661	0,0011
35	0,0049	0,0058	0,32	0,0018	0,198	0,0084	0,189	0,234	0,0513	0,0491	0,0022	0,0641	0,0666	0,0012
36	0,0049	0,0001	0,33	0,0019	0,198	0,0085	0,189	0,230	0,0488	0,0569	0,0023	0,0505	0,0548	0,0012
37	0,0035	0,0026	0,34	0,0019	0,198	0,0088	0,190	0,230	0,0666	0,0638	0,0023	0,0386	0,0513	0,0013
38	0,0074	0,0004	0,32	0,0018	0,197	0,0081	0,189	0,204	0,0734	0,0707	0,0024	0,0456	0,0380	0,0007
39	0,0049	0,0031	0,34	0,0017	0,198	0,0087	0,189	0,206	0,0813	0,0786	0,0023	0,0494	0,0267	0,0016
40	0,0054	0,0004	0,35	0,0017	0,198	0,0085	0,189	0,220	0,0911	0,0781	0,0023	0,0499	0,0100	0,0011
41	0,0074	0,0006	0,35	0,0017	0,200	0,0099	0,190	0,232	0,0806	0,0744	0,0024	0,0777	0,0036	0,0017
42	0,0049	0,0016	0,32	0,0018	0,196	0,0074	0,189	0,194	0,0727	0,0680	0,0022	0,0465	0,0001	0,0002

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
43	0,0059	0,0009	0,33	0,0017	0,198	0,0075	0,190	0,213	0,0530	0,0498	0,0023	0,0428	0,0026	0,0011
44	0,0059	0,0001	0,32	0,0018	0,196	0,0078	0,188	0,217	0,0191	0,0287	0,0024	0,0478	0,1217	0,0014
45	0,0034	0,0016	0,33	0,0018	0,198	0,0079	0,190	0,220	0,0461	0,0567	0,0024	0,0773	0,1226	0,0015
46	0,0029	0,0043	0,32	0,0019	0,198	0,0077	0,190	0,216	0,0348	0,0341	0,0023	0,0565	0,1177	0,0012
47	0,0029	0,0006	0,33	0,0019	0,198	0,0079	0,190	0,223	0,0078	0,0110	0,0024	0,0368	0,1168	0,0012
48	0,0059	0,0006	0,33	0,0019	0,198	0,0080	0,190	0,222	0,0033	0,0203	0,0024	0,0637	0,1099	0,0014
49	0,0034	0,0006	0,34	0,0019	0,198	0,0081	0,190	0,222	0,0055	0,0247	0,0023	0,0415	0,1069	0,0015
50	0,0039	0,0060	0,35	0,0019	0,198	0,0080	0,190	0,232	0,0277	0,0255	0,0023	0,0453	0,1054	0,0013
51	0,0030	0,0016	0,34	0,0019	0,198	0,0083	0,190	0,219	0,0228	0,0373	0,0022	0,0560	0,1025	0,0014
52	0,0039	0,0004	0,35	0,0019	0,198	0,0083	0,189	0,225	0,0351	0,0452	0,0024	0,0535	0,0975	0,0014
53	0,0044	0,0001	0,36	0,0020	0,198	0,0083	0,189	0,229	0,0493	0,0535	0,0024	0,0564	0,0923	0,0016
54	0,0029	0,0001	0,35	0,0020	0,198	0,0086	0,189	0,208	0,0499	0,0580	0,0023	0,0520	0,0833	0,0017
55	0,0074	0,0014	0,36	0,0019	0,198	0,0085	0,189	0,219	0,0631	0,0673	0,0023	0,0525	0,0725	0,0016
56	0,0069	0,0011	0,34	0,0019	0,198	0,0084	0,190	0,203	0,0833	0,0870	0,0024	0,0526	0,0685	0,0015
57	0,0054	0,0009	0,35	0,0020	0,198	0,0083	0,189	0,209	0,0700	0,0924	0,0023	0,0514	0,0587	0,0014
58	0,0079	0,0001	0,36	0,0020	0,198	0,0086	0,190	0,219	0,0877	0,0988	0,0024	0,0473	0,0479	0,0016
59	0,0089	0,0023	0,34	0,0020	0,197	0,0080	0,189	0,207	0,0941	0,1091	0,0023	0,0452	0,0390	0,0009
60	0,0108	0,0050	0,33	0,0020	0,198	0,0090	0,189	0,201	0,1123	0,1214	0,0023	0,0518	0,0287	0,0018
61	0,0084	0,0006	0,32	0,0019	0,197	0,0088	0,189	0,201	0,1054	0,1224	0,0024	0,0525	0,0124	0,0016
62	0,0079	0,0021	0,31	0,0020	0,199	0,0090	0,190	0,206	0,1039	0,1121	0,0022	0,0409	0,0356	0,0007
63	0,0094	0,0023	0,30	0,0017	0,200	0,0096	0,190	0,200	0,1099	0,1089	0,0022	0,0464	0,0046	0,0014
64	0,0064	0,0036	0,30	0,0017	0,198	0,0075	0,190	0,206	0,1101	0,1000	0,0023	0,0680	0,1069	0,0011
65	0,0059	0,0036	0,29	0,0017	0,197	0,0074	0,190	0,199	0,0865	0,0803	0,0023	0,0770	0,1020	0,0010
66	0,0054	0,0027	0,30	0,0017	0,198	0,0084	0,190	0,197	0,0924	0,0922	0,0023	0,0470	0,0911	0,0018
67	0,0059	0,0031	0,31	0,0018	0,198	0,0083	0,189	0,201	0,1007	0,0971	0,0023	0,0530	0,0877	0,0017
68	0,0074	0,0031	0,29	0,0018	0,198	0,0083	0,189	0,202	0,0599	0,0666	0,0023	0,0410	0,0928	0,0017
69	0,0083	0,0022	0,29	0,0018	0,198	0,0086	0,189	0,197	0,0707	0,0853	0,0023	0,0510	0,0843	0,0017
70	0,0053	0,0062	0,27	0,0019	0,198	0,0085	0,189	0,180	0,0560	0,0847	0,0023	0,0440	0,0877	0,0017
71	0,0084	0,0036	0,26	0,0019	0,198	0,0086	0,189	0,194	0,0200	0,0567	0,0024	0,0630	0,0971	0,0017
72	0,0049	0,0006	0,26	0,0020	0,198	0,0086	0,189	0,188	0,0284	0,0661	0,0023	0,0750	0,0887	0,0017
73	0,0049	0,0031	0,26	0,0021	0,198	0,0086	0,189	0,185	0,0151	0,0675	0,0023	0,0520	0,0847	0,0017
74	0,0064	0,0031	0,26	0,0020	0,198	0,0085	0,189	0,190	0,0001	0,0449	0,0024	0,0250	0,0754	0,0016
75	0,0044	0,0021	0,25	0,0020	0,198	0,0084	0,189	0,187	0,0063	0,0371	0,0023	0,0360	0,0670	0,0014
76	0,0049	0,0017	0,26	0,0020	0,198	0,0086	0,190	0,181	0,0168	0,0395	0,0023	0,0390	0,0572	0,0017
77	0,0034	0,0006	0,26	0,0019	0,198	0,0081	0,190	0,181	0,0331	0,0498	0,0023	0,0430	0,0474	0,0011
78	0,0064	0,0023	0,29	0,0017	0,198	0,0084	0,189	0,191	0,0356	0,0518	0,0023	0,0440	0,0474	0,0013
79	0,0069	0,0031	0,32	0,0018	0,195	0,0086	0,187	0,205	0,0479	0,0548	0,0022	0,0530	0,0444	0,0014
80	0,0049	0,0016	0,32	0,0019	0,198	0,0086	0,189	0,205	0,0582	0,0560	0,0023	0,0390	0,0262	0,0015
81	0,0044	0,0021	0,34	0,0019	0,198	0,0089	0,189	0,212	0,0612	0,0589	0,0023	0,0450	0,0198	0,0017
82	0,0064	0,0026	0,34	0,0017	0,198	0,0086	0,189	0,208	0,0626	0,0732	0,0023	0,0570	0,0075	0,0015
83	0,0044	0,0011	0,34	0,0017	0,198	0,0087	0,189	0,217	0,0764	0,0781	0,0023	0,0410	0,0031	0,0013
84	0,0098	0,0004	0,35	0,0017	0,198	0,0085	0,189	0,224	0,0907	0,0821	0,0023	0,0790	0,0046	0,0013
85	0,0054	0,0001	0,35	0,0017	0,198	0,0083	0,189	0,225	0,1038	0,0983	0,0023	0,0490	0,0004	0,0008
86	0,0099	0,0014	0,32	0,0018	0,200	0,0095	0,190	0,205	0,0806	0,0730	0,0023	0,0440	0,0050	0,0013
87	0,0064	0,0011	0,33	0,0018	0,195	0,0077	0,187	0,212	0,0791	0,0754	0,0025	0,0850	0,1236	0,0013
88	0,0074	0,0012	0,33	0,0018	0,198	0,0083	0,190	0,218	0,0633	0,0562	0,0022	0,0610	0,1172	0,0025
89	0,0054	0,0018	0,32	0,0019	0,198	0,0077	0,190	0,222	0,0309	0,0272	0,0023	0,0656	0,1172	0,0013
90	0,0039	0,0011	0,32	0,0019	0,197	0,0079	0,189	0,216	0,0250	0,0267	0,0023	0,0420	0,1148	0,0014
91	0,0054	0,0026	0,31	0,0019	0,198	0,0082	0,190	0,216	0,0176	0,0203	0,0022	0,0477	0,1212	0,0017
92	0,0049	0,0036	0,31	0,0019	0,198	0,0083	0,190	0,217	0,0014	0,0050	0,0020	0,0222	0,1256	0,0016

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
93	0,0044	0,0050	0,31	0,0020	0,198	0,0080	0,190	0,210	0,0028	0,0193	0,0023	0,0346	0,1177	0,0015
94	0,0025	0,0031	0,29	0,0022	0,198	0,0081	0,190	0,193	0,0050	0,0296	0,0020	0,0488	0,1168	0,0013
95	0,0044	0,0016	0,30	0,0022	0,198	0,0081	0,190	0,202	0,0164	0,0351	0,0023	0,0695	0,1148	0,0013
96	0,0064	0,0016	0,30	0,0021	0,197	0,0083	0,189	0,204	0,0105	0,0449	0,0022	0,0427	0,1084	0,0014
97	0,0039	0,0046	0,29	0,0020	0,198	0,0087	0,189	0,198	0,0114	0,0484	0,0023	0,0744	0,1010	0,0018
98	0,0054	0,0004	0,30	0,0020	0,198	0,0083	0,189	0,203	0,0287	0,0481	0,0023	0,0716	0,1044	0,0014
99	0,0049	0,0062	0,28	0,0017	0,198	0,0087	0,189	0,194	0,0314	0,0555	0,0024	0,0575	0,0928	0,0016
100	0,0020	0,0026	0,29	0,0017	0,198	0,0087	0,189	0,193	0,0252	0,0574	0,0023	0,0330	0,0922	0,0015
101	0,0044	0,0021	0,32	0,0018	0,198	0,0085	0,189	0,211	0,0484	0,0556	0,0025	0,0510	0,0867	0,0013
102	0,0034	0,0001	0,30	0,0018	0,198	0,0088	0,189	0,204	0,0577	0,0545	0,0023	0,0477	0,0779	0,0015
103	0,0044	0,0018	0,31	0,0018	0,198	0,0089	0,189	0,204	0,0592	0,0565	0,0023	0,0470	0,0621	0,0017
104	0,0030	0,0021	0,32	0,0018	0,197	0,0095	0,188	0,209	0,0392	0,0663	0,0023	0,0408	0,0518	0,0013
105	0,0079	0,0031	0,32	0,0019	0,198	0,0090	0,189	0,205	0,0823	0,0638	0,0023	0,0510	0,0360	0,0018
106	0,0059	0,0006	0,32	0,0018	0,198	0,0086	0,189	0,201	0,1035	0,0953	0,0024	0,0596	0,0459	0,0015
107	0,0064	0,0012	0,33	0,0017	0,198	0,0093	0,189	0,223	0,0589	0,0498	0,0023	0,0757	0,0090	0,0012
108	0,0049	0,0023	0,29	0,0019	0,198	0,0096	0,188	0,186	0,0948	0,0847	0,0023	0,0784	0,0046	0,0009
109	0,0044	0,0018	0,31	0,0018	0,197	0,0097	0,188	0,198	0,0855	0,0803	0,0023	0,0426	0,0046	0,0015
110	0,0083	0,0036	0,31	0,0018	0,197	0,0093	0,188	0,207	0,0544	0,0508	0,0023	0,0504	0,0050	0,0010
111	0,0083	0,0006	0,33	0,0019	0,200	0,0095	0,190	0,190	0,0496	0,0493	0,0024	0,0422	0,0050	0,0008

Таблиця А2 – Параметри коливань деталі з ХН78Т

№ БФО	R1, мм	Δвх, мм	R2, мм	Так, сек	Тз, сек	тріз, сек	тх.х, сек	Δmax, мм	Δвих, мм	А1, мм	Твк, сек	δ	Δпроф, мм	тпроф, сек
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,00380	0,0113	0,3730	0,0018	0,19593	0,00921	0,18672	0,2494	0,0734	0,075	0,00249	0,0278	0,183	0,00120
2	0,00730	0,0029	0,4439	0,0018	0,19584	0,00891	0,18693	0,3316	0,0532	0,089	0,00228	0,0341	0,172	0,00102
3	0,01030	0,0039	0,3710	0,00183	0,1956	0,00942	0,18618	0,2539	0,0502	0,088	0,00228	0,0550	0,155	0,00108
4	0,00930	0,0005	0,4517	0,00192	0,19545	0,009	0,18645	0,3173	0,0330	0,108	0,00240	0,0360	0,141	0,00090
5	0,01080	0,0084	0,3896	0,00186	0,19713	0,00927	0,18786	0,2425	0,0148	0,102	0,00234	0,0690	0,129	0,00093
6	0,00787	0,0024	0,3932	0,00189	0,19692	0,00915	0,18777	0,2844	0,0305	0,109	0,00234	0,0360	0,104	0,00078
7	0,01182	0,0039	0,3572	0,00186	0,19686	0,0096	0,18726	0,2391	0,0512	0,052	0,00231	0,0300	0,079	0,00072
8	0,00737	0,0034	0,3789	0,00186	0,19713	0,00918	0,18795	0,2706	0,0069	0,116	0,00249	0,0370	0,063	0,00093
9	0,01034	0,0029	0,3819	0,00195	0,19774	0,00918	0,18856	0,2736	0,0054	0,062	0,00234	0,0300	0,046	0,00075
10	0,00787	0,0014	0,3297	0,00174	0,1968	0,00921	0,18759	0,2342	0,0143	0,102	0,00246	0,0350	0,028	0,00087
11	0,01182	0,0020	0,2913	0,00177	0,19869	0,00996	0,18873	0,2189	0,0123	0,084	0,00243	0,0350	0,050	0,00108
12	0,00835	0,0020	0,3375	0,00177	0,19644	0,00864	0,1878	0,2588	0,0216	0,087	0,00246	0,0340	0,074	0,00219
13	0,01084	0,0059	0,3395	0,0018	0,19674	0,0087	0,18804	0,2529	0,0502	0,113	0,00240	0,0330	0,076	0,00213
14	0,01576	0,0073	0,3189	0,0018	0,19782	0,0075	0,19032	0,2345	0,0635	0,127	0,00240	0,0420	0,081	0,00081
15	0,00835	0,0014	0,2899	0,00192	0,19782	0,00762	0,1902	0,2273	0,0305	0,091	0,00246	0,0032	0,082	0,00090
16	0,01474	0,0049	0,3105	0,0018	0,19776	0,00768	0,19008	0,2303	0,0393	0,073	0,00237	0,0295	0,080	0,00084
17	0,01228	0,0044	0,3134	0,00186	0,19716	0,00762	0,18954	0,2337	0,0659	0,084	0,00231	0,0320	0,074	0,00087
18	0,00936	0,0157	0,2898	0,00177	0,19851	0,00822	0,19029	0,2115	0,0772	0,096	0,00234	0,0360	0,065	0,00132
19	0,00885	0,0044	0,3602	0,0018	0,1977	0,00753	0,19017	0,2647	0,1137	0,138	0,00231	0,0370	0,053	0,00081
20	0,01135	0,0005	0,3740	0,00195	0,198	0,00798	0,19002	0,2814	0,0798	0,085	0,00228	0,0369	0,047	0,00081
21	0,00690	0,0039	0,3843	0,00183	0,19776	0,00759	0,19017	0,3493	0,1062	0,169	0,00234	0,0377	0,008	0,00075
22	0,01622	0,0050	0,4138	0,00168	0,19746	0,00912	0,18834	0,3065	0,1240	0,116	0,00231	0,0349	0,035	0,00078
23	0,01131	0,0020	0,3169	0,00174	0,19785	0,00798	0,18987	0,2096	0,1688	0,154	0,00231	0,0387	0,012	0,00063
24	0,01232	0,0019	0,3676	0,00162	0,19947	0,009	0,19047	0,2544	0,1186	0,110	0,00228	0,0364	0,011	0,00066
25	0,01034	0,0030	0,3828	0,00168	0,19767	0,00726	0,19041	0,2681	0,0792	0,083	0,00243	0,0363	0,139	0,00102
26	0,01084	0,0050	0,3686	0,00168	0,19509	0,0078	0,18729	0,2627	0,1009	0,093	0,00237	0,0372	0,178	0,00108
27	0,01034	0,0035	0,3774	0,00174	0,19776	0,00756	0,1902	0,2696	0,0635	0,078	0,00240	0,0363	0,174	0,00108
28	0,00983	0,0025	0,3937	0,00171	0,197782	0,00762	0,1902	0,2863	0,0493	0,059	0,00240	0,0361	0,171	0,00108
29	0,00885	0,0010	0,3400	0,00168	0,19761	0,00747	0,19014	0,2879	0,0310	0,048	0,00249	0,0314	0,171	0,00102
30	0,00491	0,0029	0,2997	0,00171	0,19767	0,00783	0,18984	0,2642	0,0192	0,045	0,00249	0,0293	0,177	0,00126
31	0,00538	0,0005	0,3961	0,00183	0,1977	0,00798	0,18972	0,2859	0,0074	0,093	0,00246	0,0339	0,178	0,00138
32	0,01279	0,0127	0,3976	0,0018	0,198	0,00774	0,19026	0,2918	0,0069	0,009	0,00234	0,0079	0,167	0,00150
33	0,00347	0,0044	0,3961	0,00177	0,19785	0,00789	0,18996	0,2819	0,0197	0,018	0,00237	0,0177	0,167	0,00132
34	0,00394	0,0020	0,2593	0,00171	0,19737	0,00786	0,18951	0,3064	0,0083	0,061	0,00243	0,0289	0,165	0,00117
35	0,00986	0,0010	0,3415	0,00183	0,19836	0,0084	0,18996	0,2878	0,0413	0,087	0,00246	0,0349	0,154	0,00159
36	0,00983	0,0015	0,3435	0,0018	0,19794	0,00768	0,19026	0,2888	0,0566	0,087	0,00246	0,0039	0,158	0,00105
37	0,00792	0,0029	0,3587	0,00186	0,19788	0,00768	0,1902	0,2834	0,0590	0,119	0,00240	0,0370	0,158	0,00087
38	0,01182	0,0039	0,3897	0,00183	0,19725	0,00768	0,18957	0,3001	0,0654	0,103	0,00240	0,0353	0,157	0,00084
39	0,01034	0,0020	0,3838	0,00186	0,19779	0,00825	0,18954	0,2972	0,0892	0,127	0,00237	0,0420	0,152	0,00144
40	0,00835	0,0030	0,3356	0,00192	0,19848	0,00831	0,19017	0,3333	0,1028	0,118	0,00249	0,0384	0,100	0,00120
41	0,01006	0,0029	0,4187	0,00183	0,1971	0,00774	0,18936	0,3237	0,1053	0,125	0,00249	0,0402	0,147	0,00081
42	0,01135	0,0045	0,3744	0,0018	0,1977	0,00849	0,18921	0,3203	0,1230	0,132	0,00237	0,0369	0,127	0,00153
43	0,01080	0,0028	0,4065	0,00177	0,19815	0,00864	0,18951	0,3410	0,1304	0,109	0,00240	0,0381	0,115	0,00147
44	0,01131	0,0014	0,3312	0,00186	0,19728	0,00858	0,1887	0,2672	0,1136	0,089	0,00240	0,0381	0,123	0,00126

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
45	0,00987	0,0010	0,3705	0,00183	0,19818	0,00984	0,18834	0,2923	0,0571	0,126	0,00240	0,0372	0,111	0,00177
46	0,01131	0,0020	0,3671	0,00177	0,19824	0,0099	0,18834	0,3124	0,1048	0,095	0,00243	0,0381	0,096	0,00144
47	0,00987	0,0005	0,4355	0,00177	0,19785	0,0093	0,18855	0,3179	0,0679	0,067	0,00249	0,0307	0,087	0,00093
48	0,00936	0,0049	0,4291	0,00174	0,1977	0,00933	0,18837	0,3233	0,0626	0,066	0,00240	0,0289	0,066	0,00093
49	0,01182	0,0054	0,3749	0,00177	0,19794	0,00936	0,18858	0,3277	0,0399	0,059	0,00249	0,0293	0,038	0,00099
50	0,00983	0,0044	0,3597	0,00165	0,19755	0,00945	0,1881	0,3277	0,0561	0,075	0,00246	0,0368	0,028	0,00093
51	0,00737	0,0034	0,4070	0,0018	0,19803	0,00987	0,18816	0,2957	0,0448	0,093	0,00240	0,0354	0,007	0,00087
52	0,01034	0,0020	0,3892	0,00177	0,19869	0,00966	0,18903	0,2814	0,0342	0,050	0,00246	0,0316	0,007	0,00094
53	0,00737	0,0009	0,3046	0,00177	0,19776	0,00717	0,19059	0,2022	0,0084	0,015	0,00240	0,0144	0,176	0,00198
54	0,00690	0,0044	0,4079	0,00177	0,19755	0,0075	0,19025	0,2875	0,0231	0,066	0,00246	0,0325	0,174	0,00105
55	0,00835	0,0054	0,2938	0,00174	0,19824	0,0078	0,19044	0,2804	0,0270	0,075	0,00255	0,0334	0,161	0,00129
56	0,01229	0,0054	0,3755	0,0018	0,19773	0,00765	0,19008	0,2681	0,0197	0,125	0,00243	0,0429	0,155	0,00093
57	0,00788	0,0025	0,3666	0,00177	0,19761	0,00771	0,1899	0,2844	0,0324	0,078	0,00234	0,0330	0,142	0,00102
58	0,00640	0,0024	0,3459	0,0018	0,19761	0,00786	0,18975	0,2849	0,0575	0,088	0,00246	0,0323	0,142	0,00117
59	0,01279	0,0005	0,3262	0,0018	0,1977	0,00816	0,18954	0,3070	0,0713	0,113	0,00246	0,0364	0,111	0,00138
60	0,01186	0,0032	0,3508	0,00186	0,19791	0,00846	0,18945	0,2908	0,0698	0,106	0,00246	0,0375	0,109	0,00153
61	0,00788	0,0014	0,3715	0,0018	0,19827	0,00825	0,19002	0,3105	0,0703	0,082	0,00228	0,0340	0,089	0,00141
62	0,00737	0,0044	0,3371	0,00198	0,19782	0,00792	0,1899	0,2460	0,0905	0,135	0,00246	0,0389	0,118	0,00099
63	0,01326	0,0045	0,3572	0,00183	0,19734	0,00798	0,18936	0,2849	0,1048	0,129	0,00240	0,0371	0,105	0,00102
64	0,01080	0,0044	0,3297	0,00174	0,198	0,00846	0,18954	0,2706	0,1244	0,126	0,00240	0,0344	0,076	0,00144
65	0,01229	0,0005	0,3140	0,00174	0,19848	0,00957	0,18891	0,2745	0,1236	0,116	0,00246	0,0377	0,078	0,00123
66	0,01131	0,0054	0,3336	0,00174	0,19734	0,00891	0,18843	0,2741	0,0965	0,094	0,00240	0,0331	0,071	0,00075
67	0,01084	0,0005	0,3523	0,00183	0,19794	0,00924	0,1887	0,2707	0,0635	0,060	0,00246	0,0293	0,050	0,00102
68	0,00983	0,0059	0,3794	0,00174	0,19864	0,00924	0,1894	0,3026	0,0625	0,065	0,00246	0,0329	0,042	0,00096
69	0,01018	0,0039	0,3818	0,00177	0,19773	0,0093	0,18843	0,3193	0,0645	0,065	0,00246	0,0351	0,021	0,00078
70	0,00598	0,0044	0,3892	0,00168	0,19779	0,00924	0,18855	0,3493	0,0172	0,043	0,00243	0,0228	0,010	0,00072
71	0,00885	0,0014	0,3616	0,00168	0,2	0,00939	0,19062	0,3434	0,0266	0,070	0,00252	0,0364	0,005	0,00150
72	0,00593	0,0034	0,3838	0,00165	0,1974	0,00726	0,19014	0,3572	0,0261	0,054	0,00246	0,0324	0,181	0,00099
73	0,00246	0,0039	0,2244	0,00153	0,19806	0,0078	0,19026	0,3164	0,0512	0,075	0,00243	0,0337	0,178	0,00141
74	0,00885	0,0049	0,2460	0,00168	0,19794	0,00774	0,1902	0,2101	0,0246	0,102	0,00249	0,0358	0,162	0,00117
75	0,01182	0,0014	0,2696	0,00165	0,19782	0,00762	0,1902	0,2357	0,0222	0,084	0,00246	0,0356	0,161	0,00102
76	0,00697	0,0014	0,2977	0,00174	0,19758	0,00777	0,18981	0,2711	0,0202	0,036	0,00255	0,0316	0,159	0,00099
77	0,00542	0,0024	0,3144	0,00159	0,19803	0,00789	0,19014	0,2957	0,0010	0,030	0,00243	0,0211	0,154	0,00129
78	0,00542	0,0059	0,3361	0,00185	0,19743	0,00762	0,18981	0,2578	0,0369	0,106	0,00243	0,0424	0,154	0,00105
79	0,00640	0,0020	0,3179	0,00165	0,19782	0,00804	0,18978	0,2874	0,0595	0,082	0,00245	0,0314	0,155	0,00138
80	0,00983	0,0039	0,3430	0,00168	0,19788	0,00774	0,19004	0,2996	0,0447	0,074	0,00237	0,0307	0,148	0,00138
81	0,00983	0,0073	0,3311	0,0018	0,19755	0,00783	0,18972	0,3055	0,0797	0,115	0,00237	0,0383	0,141	0,00129
82	0,00788	0,0015	0,3607	0,00174	0,1983	0,00813	0,19017	0,3257	0,1319	0,168	0,00237	0,0420	0,132	0,00156
83	0,01080	0,0024	0,3735	0,00183	0,19996	0,00786	0,1921	0,3154	0,1220	0,151	0,00237	0,0392	0,131	0,00105
84	0,01232	0,0005	0,3663	0,0018	0,19806	0,00786	0,1902	0,3287	0,1181	0,164	0,00249	0,0427	0,127	0,00099
85	0,01326	0,0034	0,3184	0,00192	0,19704	0,00771	0,18933	0,2253	0,1176	0,139	0,00246	0,0400	0,126	0,00087
86	0,00885	0,0025	0,3016	0,00189	0,19869	0,01032	0,18837	0,2529	0,1024	0,095	0,00243	0,0380	0,111	0,00090
87	0,00987	0,0020	0,3464	0,00186	0,19776	0,00888	0,18888	0,2529	0,1053	0,095	0,00243	0,0320	0,112	0,00084
88	0,01178	0,0093	0,3326	0,00189	0,19779	0,00876	0,18903	0,2613	0,0571	0,063	0,00240	0,0281	0,084	0,00096
89	0,00983	0,0044	0,3818	0,00186	0,19782	0,009	0,18882	0,2908	0,0748	0,091	0,00249	0,0359	0,080	0,00102
90	0,00932	0,0064	0,3217	0,00183	0,19809	0,00918	0,18891	0,2573	0,0798	0,097	0,00240	0,0359	0,074	0,00108
91	0,00885	0,0039	0,3680	0,00183	0,19668	0,00921	0,18747	0,2741	0,1162	0,106	0,00249	0,0370	0,040	0,00075
92	0,00885	0,0020	0,3868	0,00183	0,19836	0,01002	0,18834	0,2790	0,0389	0,053	0,00240	0,0029	0,003	0,00177
93	0,00589	0,0059	0,2224	0,00183	0,19818	0,00999	0,18819	0,2376	0,1044	0,108	0,00243	0,0389	0,007	0,00099
94	0,00733	0,0100	0,2854	0,00174	0,19992	0,00915	0,19077	0,2209	0,0113	0,022	0,00264	0,0167	0,007	0,00102
95	0,00394	0,0054	0,3124	0,00177	0,19782	0,00729	0,19056	0,2440	0,0222	0,028	0,00240	0,0267	0,165	0,00096

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
96	0,00344	0,0029	0,3489	0,00171	0,19782	0,00735	0,19047	0,2573	0,0212	0,051	0,00234	0,0303	0,154	0,00096
97	0,00542	0,0054	0,3508	0,00177	0,19788	0,00735	0,19053	0,2834	0,0010	0,063	0,00237	0,0287	0,153	0,00084
98	0,00788	0,0039	0,2962	0,00204	0,1953	0,00759	0,18771	0,1948	0,0123	0,038	0,00252	0,0250	0,145	0,00090
99	0,00936	0,0044	0,3503	0,00183	0,19926	0,01008	0,18918	0,2475	0,0128	0,022	0,00222	0,0192	0,172	0,00139
100	0,00491	0,0020	0,3252	0,00165	0,19833	0,00822	0,19011	0,2721	0,0364	0,082	0,00231	0,0308	0,095	0,00192
101	0,00835	0,0078	0,3548	0,00177	0,19818	0,00792	0,19026	0,2731	0,0546	0,080	0,00246	0,0351	0,096	0,00132
102	0,00835	0,0059	0,3843	0,00183	0,19758	0,00789	0,18969	0,2849	0,0521	0,101	0,00231	0,0357	0,109	0,00126
103	0,00788	0,0029	0,3179	0,00189	0,19845	0,00828	0,19017	0,2342	0,0433	0,056	0,00234	0,0313	0,106	0,00150
104	0,00445	0,0029	0,3282	0,00183	0,19791	0,00753	0,19038	0,2391	0,0802	0,107	0,00240	0,0419	0,100	0,00093
105	0,00589	0,0029	0,3587	0,00189	0,19785	0,00753	0,19032	0,2588	0,0821	0,124	0,00246	0,0407	0,091	0,00081
106	0,00983	0,0054	0,3828	0,0018	0,19692	0,00747	0,18945	0,2937	0,0984	0,136	0,00243	0,0366	0,069	0,00078
107	0,01279	0,0005	0,2805	0,00177	0,19827	0,00846	0,18981	0,2460	0,0797	0,114	0,00237	0,0370	0,028	0,00105
108	0,00737	0,0029	0,3582	0,00186	0,19719	0,00798	0,18921	0,2588	0,1230	0,145	0,00237	0,0411	0,050	0,00123
109	0,01030	0,0010	0,3843	0,00177	0,19878	0,00981	0,18897	0,2952	0,0980	0,097	0,00240	0,0345	0,072	0,00168
110	0,01080	0,0078	0,4035	0,00183	0,19788	0,0081	0,18968	0,3006	0,1377	0,106	0,00252	0,0375	0,025	0,00087
111	0,00936	0,0059	0,2667	0,00165	0,19929	0,00909	0,1902	0,2376	0,1393	0,130	0,00249	0,0419	0,015	0,00078
112	0,00983	0,0000	0,3617	0,00162	0,19818	0,0075	0,19068	0,2696	0,0901	0,086	0,00240	0,0329	0,192	0,00135
113	0,00885	0,0009	0,3410	0,0018	0,19779	0,00724	0,19055	0,2568	0,0817	0,090	0,00237	0,0282	0,176	0,00111
114	0,01080	0,0009	0,3779	0,00174	0,19764	0,00714	0,1905	0,2677	0,0512	0,057	0,00249	0,0318	0,175	0,00111
115	0,00542	0,0024	0,3843	0,00174	0,19794	0,00732	0,19062	0,2785	0,0261	0,056	0,00237	0,0281	0,172	0,00117
116	0,00835	0,0039	0,3784	0,0018	0,19779	0,00723	0,19056	0,2672	0,0305	0,060	0,00243	0,0277	0,166	0,00108
117	0,00788	0,0069	0,3888	0,00171	0,19782	0,00725	0,19057	0,2726	0,0143	0,067	0,00243	0,0349	0,167	0,00108
118	0,00639	0,0044	0,3390	0,00168	0,19752	0,00744	0,19008	0,2509	0,0059	0,064	0,00249	0,0285	0,163	0,00099
119	0,00796	0,0073	0,4202	0,00192	0,19785	0,00771	0,19014	0,3336	0,0089	0,067	0,00243	0,0312	0,165	0,00129
120	0,00640	0,0044	0,4005	0,00186	0,19755	0,00774	0,18981	0,3183	0,0093	0,085	0,00237	0,0314	0,193	0,00126
121	0,00589	0,0039	0,2776	0,00162	0,19794	0,00798	0,18996	0,2957	0,0211	0,091	0,00234	0,0320	0,140	0,00150
122	0,00839	0,0069	0,3756	0,00174	0,19809	0,00804	0,19005	0,3144	0,0310	0,086	0,00234	0,0195	0,138	0,00135
123	0,00936	0,0064	0,4079	0,00183	0,19756	0,00777	0,18979	0,3410	0,0566	0,128	0,00240	0,0414	0,145	0,00140
124	0,00839	0,0002	0,3248	0,00198	0,19764	0,00804	0,1896	0,2632	0,0693	0,144	0,00240	0,0368	0,147	0,00126
125	0,01279	0,0004	0,3897	0,00189	0,19848	0,00843	0,19005	0,3179	0,0462	0,095	0,00243	0,0337	0,140	0,00156
126	0,00835	0,0024	0,4094	0,0018	0,19722	0,00762	0,1897	0,3267	0,0792	0,126	0,00243	0,0383	0,133	0,00084
127	0,00788	0,0039	0,4148	0,00192	0,19845	0,00828	0,19017	0,3262	0,1092	0,160	0,00249	0,0373	0,122	0,00144
128	0,01038	0,0034	0,4385	0,00189	0,19788	0,0078	0,19008	0,3410	0,1038	0,164	0,00258	0,0419	0,116	0,00087
129	0,01084	0,0015	0,3435	0,00198	0,19722	0,00771	0,18951	0,2696	0,0807	0,185	0,00246	0,0427	0,108	0,00081
130	0,01264	0,0033	0,4084	0,00183	0,19752	0,00987	0,18771	0,3011	0,1511	0,137	0,00243	0,0398	0,098	0,00144
131	0,01034	0,0010	0,3927	0,00159	0,198	0,00879	0,18921	0,3055	0,1274	0,156	0,00243	0,0383	0,039	0,00120
132	0,01131	0,0040	0,4311	0,0018	0,19848	0,00987	0,18861	0,3198	0,1324	0,133	0,00246	0,0375	0,073	0,00156
133	0,01080	0,0044	0,4517	0,00168	0,19779	0,00903	0,18876	0,3341	0,0940	0,087	0,00243	0,0344	0,050	0,00078
134	0,00737	0,0059	0,3317	0,00171	0,19776	0,00933	0,18843	0,2327	0,1053	0,112	0,00240	0,0384	0,042	0,00084
135	0,00788	0,0029	0,3676	0,00159	0,19983	0,00939	0,19044	0,2814	0,0906	0,102	0,00246	0,0333	0,025	0,00096
136	0,01229	0,0024	0,4045	0,00171	0,19776	0,00864	0,18912	0,2843	0,0704	0,009	0,00249	0,0308	0,162	0,00099
137	0,01279	0,0028	0,4050	0,00156	0,19779	0,00729	0,1905	0,2814	0,0527	0,064	0,00249	0,0300	0,178	0,00108
138	0,00835	0,0044	0,4266	0,00171	0,19758	0,00732	0,19026	0,3016	0,0433	0,080	0,00252	0,0355	0,175	0,00102
139	0,00542	0,0078	0,4315	0,00168	0,19764	0,00747	0,19017	0,2303	0,0330	0,109	0,00243	0,0322	0,158	0,00132
140	0,00885	0,0044	0,3292	0,0015	0,19764	0,00777	0,18987	0,2303	0,0251	0,109	0,00240	0,0342	0,158	0,00132
141	0,01034	0,0020	0,3853	0,00168	0,19788	0,00795	0,18993	0,2913	0,0069	0,087	0,00237	0,0387	0,151	0,00144
142	0,00690	0,0010	0,3892	0,00171	0,19797	0,00795	0,19002	0,2957	0,0005	0,067	0,00234	0,0312	0,150	0,00132
143	0,00542	0,0044	0,3872	0,00174	0,19788	0,00777	0,19011	0,2962	0,0226	0,072	0,00234	0,0309	0,155	0,00123
144	0,00394	0,0034	0,3907	0,00174	0,19764	0,00765	0,18999	0,3090	0,0388	0,102	0,00231	0,0329	0,154	0,00111
145	0,00936	0,0073	0,3823	0,00186	0,19818	0,00792	0,19026	0,2691	0,0615	0,117	0,00243	0,0364	0,160	0,00126
146	0,00983	0,0059	0,3326	0,00171	0,19728	0,00756	0,18972	0,3006	0,0841	0,145	0,00237	0,0365	0,128	0,00138

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
147	0,01080	0,0020	0,3691	0,00183	0,19746	0,00816	0,1893	0,3006	0,0841	0,143	0,00237	0,0372	0,129	0,00138
148	0,00983	0,0005	0,3838	0,00177	0,19875	0,00885	0,1899	0,2799	0,0930	0,068	0,00246	0,0330	0,134	0,00171
149	0,00589	0,0049	0,3961	0,0018	0,19788	0,00768	0,1902	0,3183	0,1013	0,144	0,00240	0,0360	0,131	0,00081