

Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

машинобудівний
(повне найменування інституту, факультету)
Технології машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

дирингмаїстерський
(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка модулів програми RobotMx для
визначення режимів різання і траєкторії руху
інструменту при кінцевому фрезеруванні
шляхом розрахунку неінтентних діаграм
стаєності

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-18М

Спеціальності 35.03.01 Механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування
Технік К.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Гермашев А.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Логошніков В.О.
(прізвище та ініціали)

20 19

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет машинобудівний
Кафедра технології машинобудування
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 131.Трикіматна механіка
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.М.Б.
Дерес
« 03 » 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Асїгник Христіна Васильовна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка модуля програми Siemens NX для визначення режимів різання і траєкторії руху інструменту при кінцевій фрезеруванні шийми розрахунку неможливо керувати проектом (роботи) Терешаків О.З. К.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 26 » листопада 2019 року № 416

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технології злиття вибірок; розрахунки режимів різання за допомогою діалогов системи програми забезпечення основні функції фрезерування для траєкторії руху інструменту.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз актуальності розробки; 2) Використання програмного забезпечення; 3) Ісходні параметри NX-відгук; 4) Стати отримання розробки на основі математичних вказівок; 5) Співвідношення експериментальної ефективності розробки; 6) Охорона праці і безпека у машинобудуванні.

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
Наук. дослід. розділь	Термашев А.І., к.т.н., доцент	Термашев 03.09.19	Термашев 01.10.19
М. Контр. Охорона праці	Кридратих Е.В., доцент	Кридратих 30.09.19	Кридратих 30.09.19
	Шмирко В.І., к.т.н., доц.	Шмирко 4.10.19	Шмирко 29.10.19

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз актуальності розробки	03.09-20.09.	
2.	Використання програмного забезпечення	21.09-28.09.	
3.	Мета програмування для створення розробки	29.09-11.10.	
4.	Етапи створення розробки на основі теоретичних викладок	12.10-20.10.	
5.	Варіант безпечної експлуатації ефективності розробки	21.10-1.11.	
6.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	2.11-29.11.	

Студент(ка)

Термашев
(підпис)

Термашев А.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Термашев
(підпис)

Термашев А.І.
(прізвище та ініціали)

Форма № 31

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проект (роботу)

Розробка модуля програми Siemens NX для виконання режимів різання і трасування
руку інструменту при кінцевому фрезеруванні шліком робочої поверхні деталі згідно з кресленням
(вказати тему дипломного проекту (роботи))

Студент (ка) Ласішник Кристина Вячеславівна

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код, найменування спеціальності)

Обсяг проекту Ковчиги

Кількість аркушів креслень презентація 20 слайдів

Кількість сторінок пояснювальної записки 115 сторінок

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень робота виконана з метою автоматизації набувдочі програмної руки інструменту, та розробки режимів різання і трасування при кінцевому фрезеруванні. Режими різання виконуються з метою того, щоб виконати набувдочу кінцевої поверхні деталі згідно з кресленням і режими різання в середовищі пакету Siemens NX.

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню відповідає.

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

кожен із виконаних розділів відповідає останнім досягненням науки і техніки. Зокрема створено Siemens NX Open широким застосуванням для розширення базових можливостей пакета Siemens NX

г) негативні особливості виконання проекту (роботи) відсутні

д) позитивні особливості робота виконано з використанням сучасного програмного забезпечення, має унікальну практичну цінність

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи)

Виконано на високому рівні. Інформація представлена

на пишаних для гімні і нових уявлень про майстерську роботу

е) відгук про проект (роботу) загалом майстерська робота привнесла
вирішальною акцентованої згоди. Виконана на високому науково-тех-
нічному рівні. Результатами роботи мають кобичну і пракакитну
китність.

ж) інші зауваження в тій майстерській роботі виявляється турмін
"вирішальність". Проте в позитивній тисесі видристовується турмін
"вирішальність". Сид білий уважно ставитися до турмінкології, яка вико-
ристовується в роботі

з) оцінка проекту (роботи) в тій роботі виконана на високому
науковому рівні, відповісти тій, що бачи видрана для дослідження.
Майстерська робота записується на оцінку "відмінно".

Рецензію склав доц. каф. Педагогіки, майстерської НЧ "Земля"
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

світличка"
Логанов В. О.

« 26 » листопада 20 19 р.

[14:34:23] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №397 [3] (200021 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:34:51] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №402 [3] (200022 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:35:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №412 [3] (200032 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:35:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №417 [3] (200029 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:35:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №422 [3] (200032 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №427 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:18] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №407 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:23] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №432 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:36:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №437 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:38:11] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №442 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:38:32] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №447 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:40:25] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №452 [3] (200033 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:42:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №457 [3] (200030 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:42:44] Тип проверки: *Стандартная*

[14:42:44] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 27%)**

[14:42:44] **Уникальность текста 88%[©] (Проигнорировано подстановок: 0%)**

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

03.12.2019р.



РЕФЕРАТ

ПЗ: 115 сторінок; 38 рисунків; 1 таблиця; 1 додаток; 48 джерел.

Створення NX-plugin'у, що в свою чергу, дозволить використовувати ресурс різального інструменту максимально ефективно та за допомогою правильного підбору траєкторії руху різального інструменту, можна мінімізувати негативний вплив фізико-механічних властивостей матеріалу на процес обробки.

Метою магістерської роботи є розробка плагіну, який визначає оптимальні режими різання, скоротить час на розробку управляючої програми та максимально приведе до якісної обробленої поверхні.

Наукова новизна магістерської роботи полягає в тому, що для отримання оптимальних режимів різання для різних обробок не потрібно розраховувати аналітичним методом, весь розрахунок виконує плагін.

Практична цінність результату магістерської роботи полягає в тому, що розроблено програмне забезпечення (NX-plugin), яке дозволяє на основі вихідних даних при роботі з режимами різання, вивести зразу оптимальні режими різання та отримати траєкторію руху різального інструменту.

За результатами роботи були вирішені питання:

- проаналізована проблема появи коливань, методи побудови діграм стійкості, модальний аналіз технологічної оброблювальної системи;
- підготовка програмного забезпечення;
- вибір мови програмування та створено програмний інтерфейс і програмний код;
- виведення оптимальних режимів різання та створення траєкторії руху різального інструменту та надана оцінка економічна ефективності розробки;

АВТОКОЛИВАННЯ, ДІАГРАМА СТІЙКОСТІ, NX-PLUGIN, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТРАЄКТОРІЯ, ПРОГРАМА, ІНТЕРФЕЙС

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	7
Вступ.....	8
1 Аналіз актуальності розробки.....	10
1.1 Відомості про коливання і способи управління ними	10
1.2 Методи побудови діаграм стійкості на прикладі ортогонального точіння	14
1.3 Методика реєстрації параметрів технологічної оброблювальної системи	36
1.3.1 Відомості проведення модального аналізу технологічної оброблювальної системи	36
1.3.2 Перетворення сигналів в частотну функцію	40
2 Використання програмного забезпечення.....	44
2.1 Інсталяція Siemens NX.....	44
2.2 Інсталяція Microsoft Visual Studio	44
3 Мова програмування для створення розробки.....	47
4 Етапи створення розробки на основі теоретичних вкладок	50
4.1 Розробка програмного інтерфейсу	50
4.2. Створення NX-plugin'у	52
4.2.1 Шаблон коду	53
4.2.2 Файл діагностики інструменту	55
4.2.3 Перетворення сигналів	59
4.2.4 Діаграма стійкості	60
4.2.5 Траєкторія руху різального інструменту	63
5 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	67
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	71

6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	71
6.2 Заходи по забезпеченню безпеки	73
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	77
6.4 Заходи з пожежної безпеки	87
6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	88
Висновки	95
Перелік посилань.....	97
Додаток А – Програмний код NX-plugin'у	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТОС	- технологічна обробна система
ЧПК	- числове програмне керування
ДРЗ	- диференціальне рівняння із запізненням
ЗДР	- звичайне диференціальне рівняння
ДР	- диференціальне рівняння
АЦП	- аналого-цифрові перетворювачі
ПФ	- перетворення Фур'є
ДПФ	- дискретне перетворення Фур'є
ВПФ	- віконне перетворення Фур'є

ВСТУП

Сучасний стан розвитку автоматизації виробництва привів до появи якісно нової системи технологічних машин з керуючими засобами, що ґрунтуються на застосуванні електронних обчислювальних машин, програмованих логічних контролерів, інтелектуальних засобів вимірювання і контролю, інформаційно об'єднаних промисловими мережами. Автоматизація виробництва – один з головних напрямів науково-технічного прогресу.

Siemens NX ведуча CAD/CAM/CAE система. Програма дозволяє не тільки розробити конструкторську документацію на деталь і створити її 3D модель, а ще провести інженерний аналіз і підготувати управляючу програму для обробки деталей на верстатах з ЧПК.

Для розробки управляючої програми використовується CAM модуль. Він являє собою набір різноманітних типів та методів обробки, які дозволяють обирати матеріал, інструмент, режими різання, стратегію різання, коригувати траєкторію. Але не завжди стандартного набору інструментів достатньо для того, щоб задовольнити потребу кожного користувача. Саме тому в Siemens NX є засоби розширення функціональності системи NX Open.

NX Open – це набір інструментальних засобів, які дозволяють гнучко інтегрувати програмні додатки користувача з Siemens NX через відкриту архітектуру. Мета полягає у тому, щоб автоматизувати складні та повторювані завдання.

Реалізується це за допомогою створення плагінів. Плагін – це незалежний програмний модуль, який завантажується окремо від основної програми, але він використовує її бази даних чи бібліотеки. Як правило плагіни створюються для підвищення функціоналу вихідного додатку або удосконалення вже існуючих можливостей.

Плагін виглядає як код, у якому закладені алгоритми внутрішнього функціонування та шляхи обміну з основною програмою.

1 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

На стійкість інструменту впливає велика кількість факторів (режими різання, оброблюваний матеріал, обробляючий матеріал, інструмент тощо).

Підбір оптимальних режимів різання постає основним завданням при проектуванні процесу різання. В свою чергу режими різання також залежать від багатьох факторів. Серед інших, важливий вплив на режими різання оказують коливання. Саме тому дуже важливо розуміти природу появи коливань та способи їх зменшення. При обробці інструментами можуть легко виникати небажані вібрації, які в свою чергу впливають на точність, якість та продуктивність обробки деталей, обмежують технологічні можливості верстата.

1.1 Відомості про коливання і способи управління ними

У певних умовах обробки різанням можуть виникати значні періодичні коливання технологічної системи верстат-пристосування-інструмент-деталь (ВППД), які називаються вібраціями.

Taylor – автор першої великої праці з металообробки «Мистецтво різання металів» так відгукнувся про проблему усунення коливань: «Питання щодо виникнення тремтіння різців є самим тонким з усіх, з якими доводиться мати справу робочому» [1]. З розвитком і застосуванням нового обладнання з ЧПК в авіаційній промисловості, а також при використанні недостатньо жорстких кінцевих інструментів, які найбільш активно підтримують збудження вібрацій, рішення даної проблеми стає надзвичайно важливою необхідністю.

Коливання інструмента відносно заготовки різко знижують якість обробленої поверхні: шорсткість зростає, з'являється хвилястість, підсилюється динамічний характер сили різання, а навантаження на рухомі деталі і

складальні одиниці верстата зростають у десятки разів – особливо в умовах резонансу, коли частота власних коливань системи ВПД співпадає з частотою коливань при обробці різанням. Стійкість інструмента, особливо з пластинками з твердих сплавів, при коливаннях різко падає. При наявності вібрацій виникає шум, який має стомлюючу дію на оточуючих людей, і продуктивність праці знижується.

Вібрації при різанні металів довгий час вважалися вимушеними коливаннями [2]. Вперше спростував це трактування Дроздов Н.А. у 1937 р. Він опублікував роботу, в якій показав, що частота вібрацій незмінна в широкому діапазоні швидкостей різання. На основі цього він дійшов висновку, що вібрації, що породжуються процесом різання, слід вважати автоколиваннями [3].

При різанні неодмінно мають місце коливальні процеси різного типу – вимушені коливання, вільні коливання, автоколивання та випадкові коливання.

Вимушені коливання при різанні виникають внаслідок періодичної зміни сили різання, наприклад, при переривчастому точінні або внаслідок врзання та виходу з контакту з заготовкою зуба фрези при фрезеруванні. Іншою причиною виникнення вимушених коливань може бути биття різального інструменту, оправки, шпинделя.

Вільні коливання при різанні мають місце, наприклад, при виході зуба фрези з контакту із заготовкою, коли на систему не діють сили різання. Вільні коливання характеризуються певною частотою – частотою власних коливань системи.

Випадкові коливання мають найменше значення при різанні, а виникають вони внаслідок дії випадкових факторів, серед яких неоднорідні включення в матеріалі зрізаного шару, потрапляння зрізаної стружки в зону різання.

Автоколивання, як відомо з теорії коливань, підтримуються за рахунок внутрішніх джерел енергії, а їхня частота залежить від амплітуди. Автоколивання притаманні нелінійним динамічним системам. В теорії різання механіка виникнення автоколивань до кінця не вивчена, проте вважається, що

їхнім джерелом є сили тертя та пружні деформації, що обов'язково мають місце при зрізуванні припуску.

Автоколивання прийнято розділяти на первинні, що порушується при першому проході інструменту, і на вторинні, які виникають при різанні по хвилястому сліду [4].

Первинне порушення автоколивань обумовлено впливом сукупності кількох взаємозалежних причин, при цьому одна або дві з них домінують в залежності від умов процесу різання. Причини первинних автоколивань розглянуті в роботах [5].

Найбільш істотними з них більшість вважають:

- «падаючу» залежність коефіцієнта тертя по передній поверхні інструменту від швидкості переміщення по ній стружки [6, 7]. Однак з огляду на те, що залежність сили різання від швидкості вельми інерційна, нелінійна залежність сили тертя стружки від швидкості різання не може бути причиною виникнення вібрацій при різанні [8, 9];

- відставання зміни сили різання від зміни товщини зрізаного слою [10, 11];

- координатні зв'язки переміщень інструменту по взаємно перпендикулярним осям координат (рух інструменту по замкнутій еліпсоподібної траєкторії) [12];

- зміна кінематичних кутів інструменту при коливаннях [12].

До цих причин для процесів фрезерування також відносять періодичні імпульсні навантаження при вході і виході зубів з заготовки і зміна сили різання по величині в межах довжини контакту зуба фрези із заготовкою [13].

Вторинні причини збудження автоколивань викликані хвилястістю на поверхні різання, що залишилася при попередньому проході інструменту. При цьому, якщо існує зсув фази коливань, спостерігається, що товщина стружки, і, відповідно, сила різання періодично змінюється. Дані коливання називають регенеративними автоколиваннями [13].

Автоколивання можуть бути низькочастотними і високочастотними. Перші викликають на обробленій поверхні заготовки хвилястість, другі – дрібну бриж. Виникнення автоколивань можна усунути, змінюючи режими різання і геометрію інструмента, правильно встановлюючи заготовку і інструмент на верстаті, а також обробляючи заготовки на більших швидкостях різання.

Для зменшення автоколивань підвищують жорсткість технологічної системи ВПД, головним чином, верстатів і різального інструмента; зменшують маси коливальних систем, особливо масу оброблюваної заготовки; застосовують віброгасники. Для гасіння автоколивань використовують динамічні, пружні, гідравлічні і інші вібросистеми [14].

Вібрації, що виникають процесі різання, вважають результатом вимушених коливань або автоколивань, що виникають в пружній ТОС [15]. Ці коливання можуть спричинити втрату стійкості процесу різання і тому потребують врахування їх можливої негативної дії як на стадії експлуатації, так і проектування ТОС.

Проте вібрації при обробці можна використовувати таким чином, щоб вони позитивно впливали на процес різання і якість оброблюваних поверхонь. Для полегшення різання деталей з важкооброблювальних матеріалів іноді застосовують вібрації.

Вибір оптимальних амплітуди і частоти коливань залежить від технологічного методу обробки і режиму різання. Коливання задають по напрямку подачі або по напрямку швидкості різання [3].

Вібраційне різання в порівнянні із звичайним має такі переваги: забезпечує стійке дроблення стружки на окремі елементи, знижує опір металу деформації і ефективну потужність різання. При вібраційному різанні не утворюється наріст на різальному інструменті і задирки на обробленій поверхні, проте в деяких випадках стійкість інструмента трохи знижується. Вібраційне різання застосовують при точінні, свердленні, нарізуванні різьб плашками і мітчиками, шліфуванні, фрезеруванні та інших методах обробки.

1.2 Методи побудови діаграм стійкості на прикладі ортогонального точіння

Прогнозування стійкості при різанні важлива задача, вирішення якої необхідно для вибору оптимальних режимів обробки, які з одного боку забезпечать високу продуктивність, а з іншого не приведуть до появи неприпустимих вібрацій. Результатом аналізу вібростійкості обробки часто є побудова пелюсткової діаграми стійкості [16].

Існує кілька основних методів побудови діаграм стійкості, кожен з яких має свої переваги і недоліками:

1) Аналітичний метод. Найбільш швидкий метод. Однак він не підходить для аналізу переривчастого різання, наприклад, фрезерування з малим кутом контакту.

2) Чисельні методи, серед яких потрібно виділити:

- метод напівдискретизації – дозволяє аналізувати вібростійкість переривчастого різання, але вимагає великого часу для розрахунку;

- метод повної дискретизації – схожий з методом напівдискретизації. Вимагає меншої часу для розрахунку, ніж метод полудискретизації, проте його точність трохи нижче, ніж у методу напівдискретизації;

- методи імітаційного моделювання у тимчасовій області – дозволяють врахувати реальну кінематику процесу, механіку різання, геометрію інструменту, радіальне биття, внутрішню і зовнішню хвилястість на поверхні різання і інші нелінійності. Однак витрати часу занадто великі для побудови повної діаграми стійкості.

3) Експериментальні методи. Найбільш витратні за часом і вартості методи. Крім того, аналіз стійкості можна провести тільки для конкретної заготовки, інструменту і верстата.

Незважаючи на те, що методи напівдискретизації і повної дискретизації частіше використовуються для аналізу процесів фрезерування, для простоти

розгляду їх основних особливостей, вони застосовуються для побудови діаграм стійкості при ортогональному різанні (точіння). Простий випадок ортогонального різання. Схема процесу показана на рисунку 1.1.

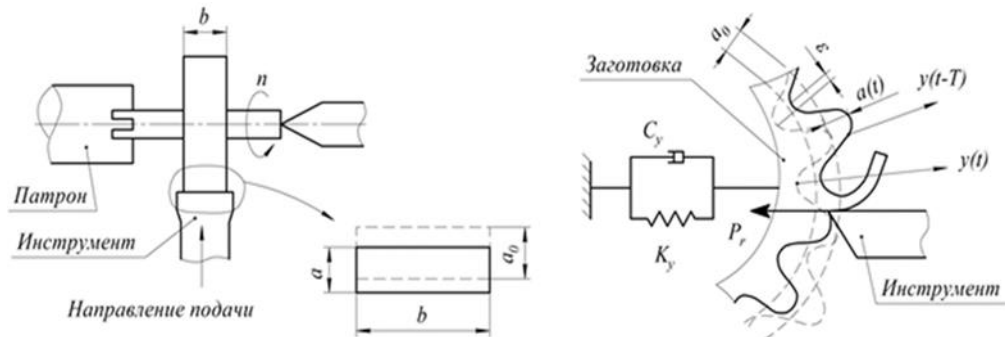


Рисунок 1.1 – Динаміка ортогональної системи різання [17]

Рівняння руху коливальної системи виражається в наступному вигляді:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dx(t)}{dt} + \omega_n^2 x(t) = F(t) = \frac{\omega_n^2}{k_x} K_f a [h_0 - x(t) + x(t - T)], \quad (1.1)$$

де $\zeta = c_x / (2m_x\omega_n)$ – коефіцієнт демпфірування;

m_x – приведена маса коливальної системи;

$\omega_n = \sqrt{k_x/m}$ – кутова частота власних коливань;

$F(t)$ – сила різання;

k_x – жорсткість системи;

K_f – коефіцієнт різання;

a – ширина зрізаного шару;

h_0 – номінальна товщина шару, що зрізається;

$T = \frac{1}{n}$ – період одного обороту деталі, або період запізнювання;

n – частота обертання шпинделя.

Побудуємо спочатку пелюсткову діаграму стійкості методом безрозмірного аналізу, запропонованого Т. Insperger і G. Stépán в роботі [18].

Це дозволить побачити основні властивості пелюсткової діаграми стійкості.

На стійкість процесу різання впливає тільки динамічна товщина шару, що зрізається. Тому прийнемо, що $h_0 = 0$. Тоді рівняння (1.1) набуде вигляду:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dx(t)}{dt} + \omega_n^2 x(t) = F(t) = \frac{\omega_n^2}{k_x} K_f a [-x(t) + x(t - T)], \quad (1.2)$$

Для приведення рівняння (1.2) до безрозмірного вигляду, зробимо заміну $t = \tau/\omega_n$, $\tau \rightarrow \omega_n t$, $\delta = \omega_n T$, $d\tau = \omega_n dt \rightarrow \frac{d\tau}{dt} = \omega_n$:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{d\tau} \frac{d\tau}{dt} = \frac{dy}{d\tau} \omega_n + \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dy}{d\tau} \omega_n \right) = \frac{d^2y}{d\tau^2} \omega_n^2, \quad (1.3)$$

Підставляючи кутова відстань $\delta = \omega_n T$ та $\tau = \omega_n t$ в рівняння динаміки різання (1.2), отримаємо:

$$\begin{aligned} \omega_n^2 \frac{d^2x(t)}{d\tau^2} + 2\zeta\omega_n^2 \frac{dx(t)}{d\tau} + \omega_n^2 x(t) &= \frac{\omega_n^2}{k_x} K_f a [-x(\tau) + x(\tau - \delta)] \\ \frac{d^2x(t)}{d\tau^2} + 2\zeta \frac{dx(t)}{d\tau} + [1 + w]x(t) &= w[-x(\tau) + x(\tau - \delta)], \end{aligned} \quad (1.4)$$

де w – безрозмірна ширина зрізу $w = K_f a/k_y$.

Застосовуючи перетворення Лапласа, отримаємо:

$$p^2 x(p) + 2\zeta p x(p) + [1 + w]x(p) = w e^{-5p} x(p), \quad (1.5)$$

Яке призводить до наступного характеристичного рівняння:

$$p^2 + 2\zeta p + [1 + w] - w e^{-5p} = 0, \quad (1.6)$$

де p – комплексна частота.

Для знаходження межі стійкості (методом D-розбиття [19]), коріння характеристичного рівняння (1.6) повинні дійсну частину прирівняти к нулю, а уявна частина повинна вказувати на відповідну частоту коливань (ω_c) під час обробки.

Підставляємо $p = ir$, де $r = \omega_c/\omega_n$ – співвідношення кругових частот регенеративних коливань і власної кругової частоти системи і враховуючи $e^{-i\delta r} = \cos \delta r - i \sin \delta r$ отримуємо характеристичне рівняння:

$$-r^2 + i2\zeta r + [1 + w] - w \cos \delta r + i w \sin \delta r = 0, \quad (1.7)$$

Прирівнюючи нулю окремо дійсну і уявну частини, отримуємо: дійсна частина $-1 - r^2 + w = w \cos \delta r$; уявна частина $-2\zeta r = -w \sin \delta r$.

Звівши в квадрат дійсну і уявну частину, і підсумувавши їх $((1 - r^2 + w)^2 + (2\zeta r)^2 = w^2)$, отримаємо вираз для безрозмірною ширини зрізу:

$$w = \frac{(1-r^2)^2 + 4\zeta^2 r^2}{2(1-r^2)}, \quad (1.8)$$

Товщина зрізу на кордоні стійкості, виражена в одиницях довжини, тоді буде:

$$a = -\frac{k_x}{K_f} \frac{(1-r^2)^2 + 4\zeta^2 r^2}{2(1-r^2)} a = -\frac{k_x}{K_f} \frac{(1-r^2)^2 + 4\zeta^2 r^2}{2(1-r^2)}, \quad (1.9)$$

Підставляючи $(\sin \delta r = 2tg \frac{\delta r}{2} / [1 + tg^2(\frac{\delta r}{2})])$ в уявну частину $(2\zeta r = -w \sin \delta r)$ характеристичного рівняння (1.7), отримуємо:

$$1 - r^2 - \frac{1 + tg^2\left(\frac{\delta r}{2}\right)}{tg\left(\frac{\delta r}{2}\right)} \zeta r = - \frac{1 + tg^2\left(\frac{\delta r}{2}\right)}{tg\left(\frac{\delta r}{2}\right)} \zeta r \frac{1 - tg^2\left(\frac{\delta r}{2}\right)}{1 + tg^2\left(\frac{\delta r}{2}\right)}, \quad (1.10)$$

Після перетворень, отримаємо:

$$\delta = \frac{2}{r} \left[\arctg \left(\frac{1-r^2}{2\zeta r} \right) + k\pi \right], \quad (1.11)$$

де $k=1,2,\dots$ – ціле число хвиль, що утворюються на поверхні різання при регенеративних коливаннях.

Відповідна швидкість обертання шпинделя на кордоні стійкості можна знайти, перейшовши від безрозмірного запізнювання до запізнювання, вираженого в секундах:

$$T = \frac{\delta}{\omega_n} = \frac{2}{\omega_n r} \left[\arctg \left(\frac{1-r^2}{2\zeta r} \right) + k\pi \right], [\text{с}] - \text{запізнювання};$$

$$n = \frac{\omega_n r}{2 \left[\arctg \left(\frac{1-r^2}{2\zeta r} \right) + k\pi \right]}, [\text{об/с}] - \text{число оборотів шпинделя}, \quad (1.12)$$

Діаграма стійкості, побудована за параметричним рівнянням (1.12) для коефіцієнта демпфірування $\zeta = 0,05$, представлено на рисунку 1.2.

Серед причин виникнення автоколивань при різанні основною причиною нестійкості різання вважається обробка по попередньому хвилястому сліду з виникненням так званих «регенеративних коливань».

Теоретичні основи цього процесу вперше висвітлено в роботах [20], [21].

Прогнозування стійкості процесу різання проводиться по діаграмам стійкості.

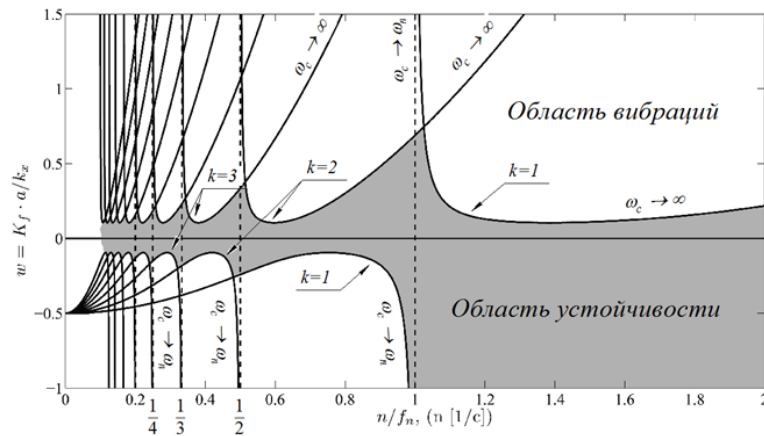


Рисунок 1.2 – Діаграма стійкості в безрозмірних координатах [18]

Ширина шару, що зрізається не може бути негативною. Тому відкинувши частину діаграми, відповідну від'ємних показників товщини зрізу, і об'єднавши області вібрацій, отримаємо діаграму, представлено на рисунку 1.3.

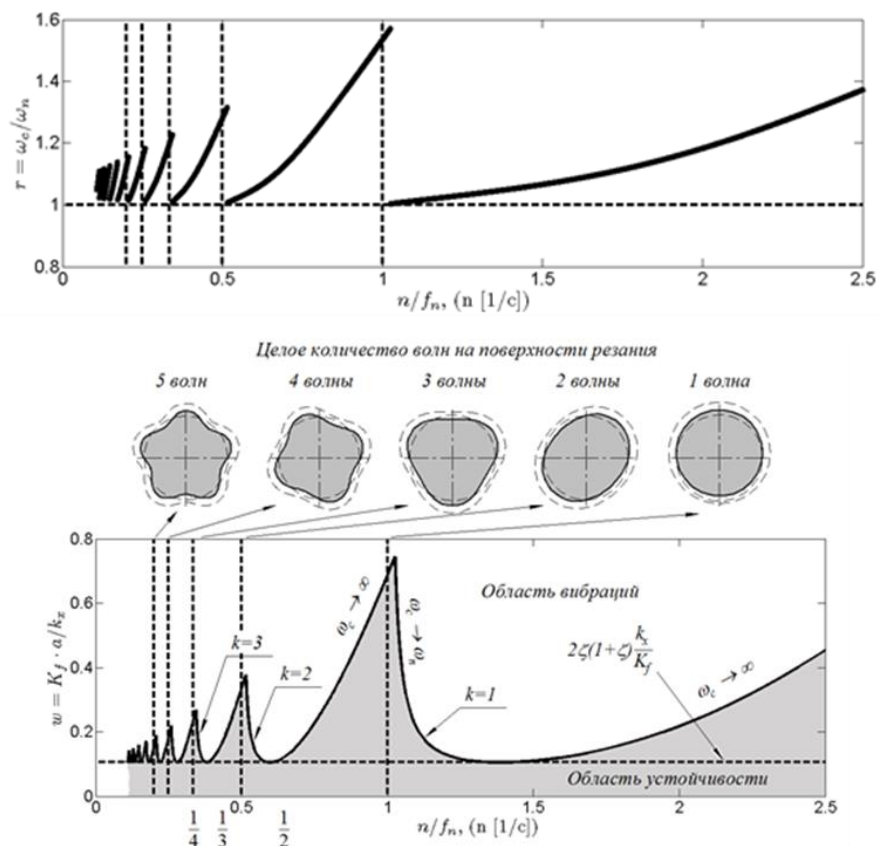


Рисунок 1.3 – Діаграма стійкості в безрозмірних координатах і відповідні частоти регенеративних коливань ω_c [18]

На рисунку 1.3, також показані частоти регенеративних коливань ($\omega_c = 2\pi f_c$), відповідні частоті обертання шпинделя.

Спосіб зниження регенеративних коливань модуляцією швидкості головного руху під час фрезерування деталей є найбільш технологічним і ефективним [21] порівняно з іншими відомими способами.

Однак практична реалізація принципу модуляції швидкості головного руху на верстатах з ЧПК ускладнена. Основна проблема зумовлена тим, що функція модуляції частоти обертання шпинделя у сучасних системах ЧПК верстатів не передбачена. Відомі способи здійснення модуляції здебільшого припускають втручання у структуру системи ЧПК і її конструктивних змін.

Сьогодні це також є проблемою, тому що фірми-виробники, як правило, не допускають втручання у структуру ЧПК, що обмежує можливості її модернізації. Зміну цієї проблеми тільки через вибору оптимальних режимів різання.

Проаналізуємо побудовану діаграму стійкості. При співвідношенні частоти регенеративних коливань до власної частоти коливальної системи дорівнює $r = \frac{\omega_c}{\omega_n} = \sqrt{1 + 2\zeta}$ критична глибина різання набуває своє мінімальне значення, відповідно простої формули Тлусте [22]:

$$a = \frac{2k_x\zeta(1+\zeta)}{K_t} \approx \frac{2k_x\zeta}{K_t}, \text{ якщо } \zeta^2 \approx 0, \quad (1.13)$$

Підставивши $r = \frac{\omega_c}{\omega_n} = \sqrt{1 + 2\zeta}$ в рівняння (1.13), знайдемо швидкості обертання шпинделя, відповідні значенням a :

$$n \approx \frac{\omega_n}{2\pi} \left(\frac{4}{4k-1} \right) = f_n \left\{ \frac{4}{3}, \frac{4}{7}, \frac{4}{11}, \dots \right\}, [\text{об/с}] \quad (1.14)$$

Кожен виступ на пелюсткової діаграмі стійкості має вертикальну асимптоту, відповідну частоті обертання шпинделя

$n = \frac{\omega_n}{2\pi k} = \frac{f_n}{k} = f_n \left\{ 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \dots \right\}$. При даній частоті обертання шпинделя на поверхні різання укладається ціле число хвиль регенеративних коливань і спостерігається максимальне значення критичної ширини зрізу.

Розглянемо наступний метод побудови діаграм стійкості, запропонований Tobias [23], Тлусте [21] і Merrit [22]. Це аналітичний метод в якому використовуються методи лінійної теорії стійкості.

Рівняння динаміки ортогональної системи різання (1.2) можна представити у вигляді блок-схеми, представлено на рисунку 1.4, в якій параметри процесу різання показані в частотній області.

Перехід з тимчасової області в частотну область здійснюється за допомогою перетворення Лапласа ($x(p) \rightarrow L(x(t))$), де L – символ перетворення Лапласа, p – комплексна частота). Входом в систему задається товщина зрізу h_0 , а виходом системи зі зворотним зв'язком – регенеративні коливання, що залишають хвилястість на внутрішній поверхні стружки. Хвилястість на зовнішній поверхні стружки утворилася на попередньому обороті шпинделя, що відповідає $e^{-pT}x(p) = L(x(t - T))$.

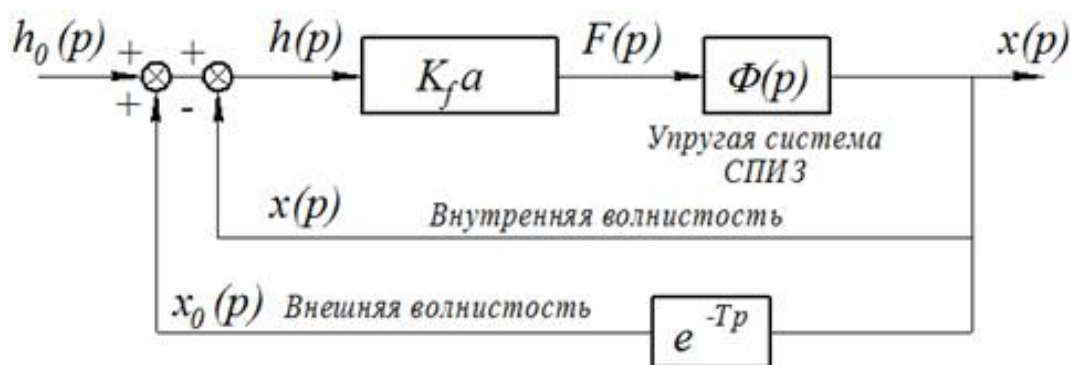


Рисунок 1.4 – Блок схема динаміки ортогональної системи різання [17]

Передавальна функція замкнутої системи, зображеної на рисунку 1.4:

$$\frac{h(p)}{h_0(p)} = \frac{1}{1 + (1 - e^{-pT})K_f a \Phi(p)}, \quad (1.16)$$

де $\Phi(p)$ – передавальна функція пружної системи ВПЗ з одним ступенем свободи:

$$\Phi(p) = \frac{x(p)}{F} = \frac{\omega_n^2}{k_y(p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2)}, \quad (1.17)$$

Стійкість передавальної функції замкнутої системи (1.16) визначається корінням характеристичного рівняння:

$$1 + (1 - e^{pT})K_f a \Phi(p) = 0, \quad (1.18)$$

Уявімо корінь характеристичного рівняння у вигляді $-p = \sigma + i\omega_c$, де i – уявна одиниця, $\omega_c = 2\pi f_c$ – кругова частота регенеративних коливань. Якщо дійсна частина кореня більше нуля ($\sigma > 0$), рішення рівняння (1.2) в тимчасовій області матиме експоненціальний доданок з позитивною ступенем ($e^{+\sigma|t}$). У цьому випадку коливання будуть необмежено зростати з плином часу і система, відповідно, буде нестійкою. Навпаки якщо дійсна частина кореня буде менше нуля ($\sigma < 0$), то коливання системи будуть з часом затухати ($e^{-\sigma|t}$). Якщо дійсна частина кореня дорівнює нулю ($p = i\omega_c$), система знаходиться на межі стійкості і коливання відбуваються з постійною амплітудою з круговою частотою $\omega_c = 2\pi f_c$.

Частота регенеративних коливань (f_c) не дорівнює частоті власних коливань системи (f_n), однак близька до неї. На кордоні стійкості ($p = i\omega_c$), характеристичне рівняння (1.17) набуває вигляду:

$$1 + (1 - e^{-j\omega_c T})K_f a_{lim} \Phi(j\omega_c) = 0, \quad (1.19)$$

де a_{lim} – максимальна ширина зрізу для вібростійкого різання.

Передавальна функція пружної системи може бути представлена як сума її дійсної та уявної частини ($\Phi(j\omega_c) = G + jH$).

Згрупуємо доданки характеристичного рівняння (1.18) в дійсну і уявну частини:

$$\left(1 + K_f a_{lim} (G(1 - \cos(\omega_c T) - H \sin \omega_c T))\right) + j \left(K_f a_{lim} (G \sin \omega_c T + H(1 - \cos \omega_c T))\right) = 0, \quad (1.20)$$

Дійсна і уявна частина рівняння (1.20) повинні дорівнювати нулю. Розглянь спочатку уявну частину:

$$K_f a_{lim} (G \sin \omega_c T + H(1 - \cos \omega_c T)) = 0, \quad (1.21)$$

Або в іншому вигляді:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{H(\omega_c)}{G(\omega_c)} = \frac{\sin \omega_c T}{\cos \omega_c T - 1}, \quad (1.22)$$

де ψ – фазовий зсув передавальної функції пружної системи.

Використовуючи тригонометричне співвідношення $\cos \omega_c T = \cos^2\left(\frac{\omega_c T}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{\omega_c T}{2}\right)$ і $\sin \omega_c T = 2\sin\left(\frac{\omega_c T}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega_c T}{2}\right)$ отримаємо:

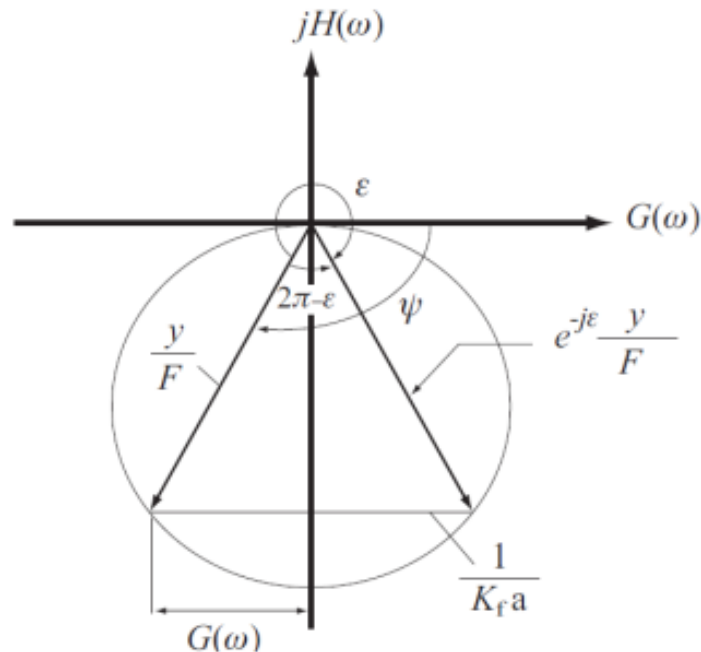
$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\cos\left(\frac{\omega_c T}{2}\right)}{-\sin\left(\frac{\omega_c T}{2}\right)} = \operatorname{tg}\left(\frac{\omega_c T}{2} - \frac{3\pi}{2}\right), \quad (1.23)$$

І тоді:

$$\omega_c T = 3\pi + 2\psi \rightarrow \psi = \operatorname{arctg} \frac{H}{G}, \quad (1.24)$$

Необхідно відзначити, що кут зсуву фаз ψ повинен бути коректно обчислений при використанні математичних програм.

На рисунку 1.5 показано обчислення кута зсуву фаз ψ .



$$\begin{aligned}
 G > 0, H < 0 &\rightarrow \psi = -\arctg|(H/G)|; \\
 G < 0, H < 0 &\rightarrow \psi = -\pi + \arctg|H/G|; \\
 G < 0, H > 0 &\rightarrow \psi = -\pi - \arctg|H/G|; \\
 G > 0, H > 0 &\rightarrow \psi = -2\pi + \arctg|H/G|.
 \end{aligned}$$

Рисунок 1.5 – Обчислення кута зсуву фаз ψ згідно з графіком $\Phi(j\omega_c = G + jH)$ на комплексній площині [17]

Число вібраційних хвиль, залишених на поверхні різання, залежить від двох параметрів: частоти обертання шпинделя n [об/с] і частоти регенеративних коливань ω_c [рад/с] або f_c [Гц]:

$$f_c \cdot T = \frac{f_c}{n} = k + \frac{\varepsilon}{2\pi}, \quad (1.25)$$

де k – ціле число хвиль;

$\varepsilon/2\pi$ – дробове число хвиль.

Тоді період і відповідна частота обертання шпинделя:

$$T = \frac{2k\pi + \varepsilon}{2\pi f_c} \rightarrow n = \frac{1}{T}, \left[\frac{\text{об}}{с} \right], \quad (1.26)$$

де $\varepsilon = 3\pi + 2\psi$ – кут зсуву фаз між внутрішньою і зовнішньою хвилястістю, відповідно на поверхні різання і вільної поверхні стружки.

Критичну товщину зрізу можна знайти, прирівнявши нулю дійсну частину характеристичного рівняння (1.20):

$$\left(1 + K_f a_{lim} (G(1 - \cos(\omega_c T) - H \sin \omega_c T)) \right) = 0, \quad (1.27)$$

Тоді:

$$a_{lim} = \frac{-1}{2K_f G(\omega_c)}. \quad (1.28)$$

Оскільки товщина шару, що зрізається величина позитивна, то рівняння (1.28) дійсно тільки для негативних значень дійсної частини передавальної функції пружної системи $G(\omega_c)$. Вираз (1.28) означає, що критична товщина шару, що зрізається обернено пропорційна піддатливості пружної системи та коефіцієнту радіальної сили різання.

Алгоритм побудови пелюсткової діаграми стійкості включає наступні етапи:

- вибір частоти коливань (ω_c) на негативній частині дійсної частини передавальної функції пружної системи $G(\omega_c)$;
- обчислення кута зсуву фаз ψ передавальної функції пружної системи при ω_c по формулі (1.24);
- обчислення критичної ширини зрізу a_{lim} по формулі (1.28);
- визначення частоти обертання шпинделя n по формулі (1.26) для кожної пелюстки діаграми стійкості $k = 0, 1, 2 \dots$

На рисунку 1.6 показана побудована по даному алгоритму діаграма стійкості і графік дійсної частини передавальної функції пружної системи $G(\omega_c)$. Видно, що в разі простою пружної системи з одним ступенем свободи

вона не відрізняється від діаграми, побудований за допомогою безрозмірного аналізу, яка приведена на рисунку 1.3.

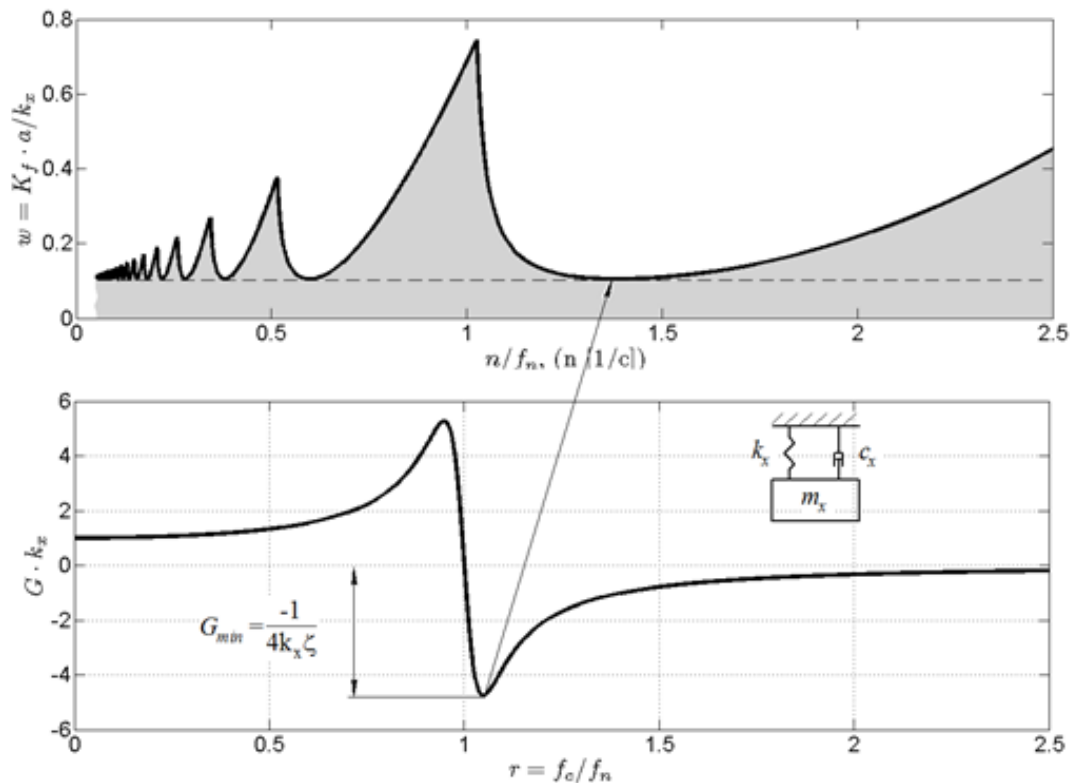


Рисунок 1.6 – Діаграма стійкості і графік дійсної частини передавальної функції пружної системи ($\zeta = 0,05$)

Наступний розглянутий метод побудови діаграм стійкості називається методом напівдискретизації. Він був запропонований Т. Insperger і G. Stépán [18]. Основна ідея методу полудискретизації полягає в апроксимації безкінечного простору станів диференціального рівняння із запізненням (1.2) (ДРЗ) кінцевомірні простором станів багатовимірних звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР).

Скористаємося висновком рівнянь методу напівдискретизації, наведеними в роботі [28]. Перетворимо ДР другого порядку (1.1) в систему ДР першого порядку заміною змінних:

$$x_2(t) = \frac{dx(t)}{dt} x_2(t) = \frac{dx(t)}{dt},$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = \frac{dx_2(t)}{dt} = -\omega_n^2 \left(1 + \frac{K_f a}{k_x}\right) x_1(t) - 2\zeta\omega_n x_2(t) + \frac{\omega_n^2}{k_x} K_f, \quad (1.29)$$

Після заміни змінних рівняння (1.2) стає системою двох диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\underbrace{\begin{Bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{Bmatrix}}_{\dot{y}(t)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 \left(1 + \frac{K_f a}{k_x}\right) & -2\zeta\omega_n \end{bmatrix}}_{\mathbf{L}} \underbrace{\begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{Bmatrix}}_{y(t)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{\omega_n^2}{k_x} K_f a & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{R}} \underbrace{\begin{Bmatrix} x_1(t-T) \\ 0 \end{Bmatrix}}_{y(t-T)}, \quad (1.30)$$

Або в матричній формі:

$$y(t) = L_y(t) + R_y(t - T), \quad (1.31)$$

Час запізнювання T ділиться на m дискретних інтервалів часу Δt , таким чином $T = m \cdot \Delta t$. Позначимо значення $y(t)$ в поточний момент часу t_i як y_i , а в момент часу $t_i - T$ як $y(t_i - T) = y[(i - m)\Delta t] = y_{i-m}$. Якщо крок дискретизації Δt досить малий, значення $y(t - T)$ можна наближено визначити, знаючи значення на двох послідовних інтервалах дискретизації $y(t_i - T)$ і $y(t_i - T + \Delta t)$:

$$y(t - T) \approx \frac{y(t_i - T) + y(t_i - T + \Delta t)}{2} = \frac{y_{i-m+1} + y_{i-m}}{2} \rightarrow t \in [t_i, t_{i+1}), \quad (1.32)$$

Формула (1.32) відповідає поліпшеною напівдискретизації нульового порядку приведено на рисунку 1.5

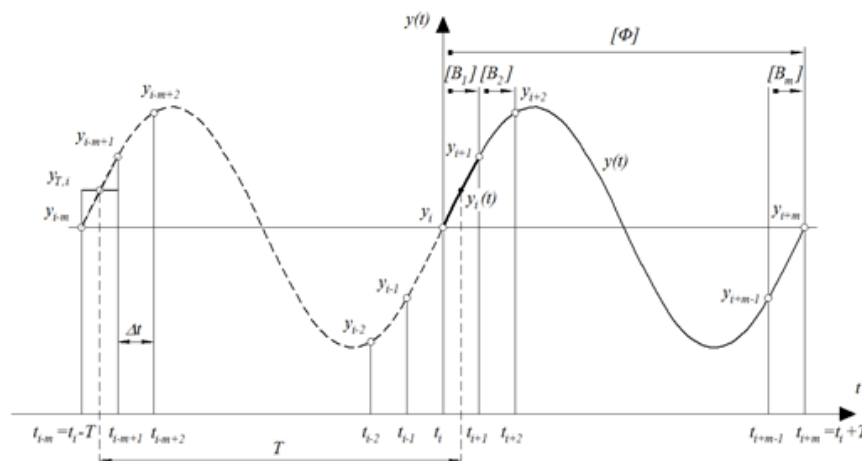


Рисунок 1.5 – Напівдискретизація періодичної функції [17]

. Крім того, в роботі [18] розглянуто також напівдискретизація нульового, першого і більш високих порядків. Підставляючи рівняння (1.32) в (1.31) отримаємо:

$$y(t) = L_y(t) + R\left(\frac{y_{i-m+1} + y_{i-m}}{2}\right), t \in [t_i, t_{i+1}), \quad (1.33)$$

Загальне рішення ДР (1.32) на малому інтервалі часу ($t \in [t_i, t_{i+1})$) виражається сумою загального рішення ЗДР ($y_{ih}(t)$) і приватного рішення неоднорідного ДР ($y_{ip}(t)$):

$$y(t) = y_{ih}(t) + y_{ip}(t), \quad (1.34)$$

Загальне рішення ЗДР запишеться у вигляді [24]:

$$y_{ih}(t) = L y_{ih}(t) \rightarrow y_{ih}(t) = C_0 e^{L(t-T)}, \quad (1.35)$$

де C_0 – залежить від початкових умов.

Приватне рішення визначається як:

$$y_{ip}(t) = u(t)e^{L(t-T)} \rightarrow \frac{d}{dt}y_{ip}(t) = e^{L(t-T)} \frac{du(t)}{dt} + Le^{L(t-T)}u(t), \quad (1.36)$$

Підставляючи $y_{ip}(t) = u(t)e^{L(t-T)}$ і взявши похідну $\frac{dy_{ip}(t)}{dt}$ отримуємо:

$$e^{L(t-T)}u(t) + Le^{L(t-T)}u(t) = Ly_{ip}(t) + R\left(\frac{y_{i-m+1} + y_{i-m}}{2}\right), \quad (1.37)$$

Яке призводить до наступних виразів:

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{2}e^{-L(t-T)}R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \\ u(t) &= -\frac{1}{2}L^{-1}e^{-L(t-T)}R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \end{aligned} \quad (1.38)$$

Підставляючи $u(t)$ у $y_i(t) = e^{L(t-T)}u(t)$ отримуємо:

$$y_{ip}(t) = e^{L(t-T)}u(t) = -\frac{1}{2}e^{L(t-T)}L^{-1}e^{-L(t-T)}R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \quad (1.39)$$

Використовуючи властивість експоненти матриці $Ye^XY^{-1} = e^{YXY^{-1}}$ [24]:

$$y_{ip}(t) = -\frac{1}{2}L^{-1}R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \quad (1.40)$$

Тоді загальне рішення ДР (1.33) $y_i(t)$:

$$y_i(t) = y_{ih}(t) + y_{ip}(t) = C_o e^{L(t-T)} - \frac{1}{2}L^{-1}R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \quad (1.41)$$

У момент часу $t = t_i$ рівняння (1.41) стає:

$$C_o = y_i + \frac{1}{2}L^{-1}R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \quad (1.42)$$

Так як рішення дійсно на кроці дискретизації Δt , то різницю в часі між сусідніми інтервалами дискретизації можна замінити на $t_{i+1} - t_i = \Delta t$. У цьому випадку рівняння (1.41) набуде вигляду:

$$y_{i+1} = C_o e^{L\Delta t} - \frac{1}{2} L^{-1} R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \quad (1.43)$$

Підставляючи початкові умови C_o з рівняння (1.42), лінійне рішення ДРЗ на дискретній інтервалі часу Δt запишеться як:

$$\begin{aligned} y_{i+1} &= e^{L\Delta t} y_i + e^{L\Delta t} \frac{1}{2} L^{-1} R(y_{i-m+1} + y_{i-m}) - \frac{1}{2} L^{-1} R(y_{i-m+1} + y_{i-m}) = \\ &= e^{L\Delta t} y_i + \frac{1}{2} (e^{L\Delta t} - I) L^{-1} R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \end{aligned} \quad (1.44)$$

Слід зазначити, що якщо визначник матриці L дорівнює нулю ($|L| = 0$) і L^{-1} не існує, то y_{i+1} слід обчислювати, використовуючи чисельне інтегрування, за формулою:

$$y_{i+1} = e^{L\Delta t} y_i + \frac{1}{2} \int_0^{\Delta t} e^{L(\Delta t-s)} ds R(y_{i-m+1} + y_{i-m}), \quad (1.45)$$

Для знаходження значення y_{i+1} на поточному кроці дискретизації $(i + 1)$ необхідно знати значення на попередньому кроці y_i і значення, запізнілі на один період обертання шпинделя T , y_{i-m} і y_{i-m+1} .

Значення змінних стану в дискретних інтервалах часу можуть бути виражені в матричній формі:

$$Y_i = B Y_{i-1} \rightarrow B = B_1 + B_2, \quad (1.46)$$

У вираженні (1.46) символом I позначена одинична матриця, а символом O – матриця, заповнена нулями.

Перший рядок у цій матриці відповідає рівнянню (1.44), а інші представляють собою просто рівності, $y_{i-2} = y_{i-2}y_{i-2} = y_{i-2}, \dots y_{i-m} = y_{i-m}$.

Приклад представлений на рисунку 1.6.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y_i \\ y_{i-1} \\ \vdots \\ y_{i-(m-1)} \\ y_{i-m} \end{bmatrix}}_{Y_i} = \underbrace{\begin{bmatrix} e^{L\Delta t} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \mathbf{I} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{I} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} & \cdot & \dot{\mathbf{I}} & \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{I} & \mathbf{O} \end{bmatrix}}_{B_1} \underbrace{\begin{bmatrix} y_{i-1} \\ y_{i-2} \\ \vdots \\ y_{i-m} \\ y_{i-(m+1)} \end{bmatrix}}_{Y_{i-1}} +$$

$$+ \frac{1}{2}(e^{L\Delta t} - \mathbf{I})L^{-1}\mathbf{R} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{I} & \mathbf{I} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} & \cdot & \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \end{bmatrix}}_{B_2} \underbrace{\begin{bmatrix} y_{i-1} \\ y_{i-2} \\ \vdots \\ y_{i-m} \\ y_{i-(m+1)} \end{bmatrix}}_{Y_{i-1}}$$

Рисунок 1.6 – Матриця змінних стану в дискретних інтервалах часу

ДРЗ, яке описує динаміку ортогонального різання, дискретизується в часі на m інтервалів і представляється у вигляді системи рівнянь (1.46). Оцінка кожної вібрації y_i в момент часу $t = i\Delta t$ вимагає значення вібрації на попередньому кроці y_{i-1} , вібрації на попередньому обороті шпинделя ($y_{i-m} \rightarrow t_{i-m} = t_i - m\Delta t = t_i - T$), і на кроці безпосередньо перед ним ($y_{i-(m+1)} \rightarrow t_{i-(m+1)} = t_i - (m+1)\Delta t = t_i - T - \Delta t$).

Іншими словами, системі необхідно «пам'ятати» вібрації на попередньому обороті.

Отже, для вирішення системи (1.46) необхідно знати m початкових значень вібрацій, викликаних на попередньому обороті шпинделя, але вони невідомі.

Однак, так як перехідні коливання в кінцевому рахунку затухнуть, як початкових умов можна прийняти значення рівні статичним відхиленням, викликаним силою різання, тощо ($x = 0, \dot{x} = 0, \ddot{x} = 0, \ddot{\dot{x}} = 0$).

Точність рішення залежить кількості m кроків дискретизації, що припадають на один оборот шпинделя. Крок дискретизації повинен бути меншим, ніж половина періоду коливань ($\Delta t \leq \frac{\pi}{\omega_c}$) та ($m \geq 2$).

Оскільки матриця B не залежить від часу і постійна для заданої частоти обертання шпинделя і товщини зрізу, дискретизованої система рівнянь (1.46) може використовуватися для визначення стійкості точіння, шляхом перевірки її власних значень:

$$Y_i = BY_{i-1} \rightarrow |\lambda \cdot I - B| = 0, \quad (1.47)$$

Якщо хоча б один зі своїх значень λ матриці B , знаходиться за межами одиничному колі, $|\lambda| > 1$, система буде нестійкою і будуть виникати регенеративні коливання [25].

Якщо матриця B залежить від часу, то для аналізу стійкості необхідно аналізувати власні значення матриці Φ , званої матрицею монодромії системи (1.31), (теорема Флоке, [25]):

$$\Phi = B_m \cdot B_{m-1} \dots B_2 \cdot B_1, \quad (1.48)$$

Пелюсткова діаграма стійкості будується шляхом перебору значень швидкості обертання шпинделя n [об/с] ($T = \frac{1}{n}$) с кроком Δn і ширини шару, що зрізається (глибини різання) a [м], с кроком Δa . Пелюсткова діаграма стійкості, побудована методом напівдискретизації показана на рисунку 1.7.

У цій діаграмі число кроків по n дорівнює 200, по $a = 150$, і дозвіл періоду становить $m = 200$. Метод напівдискретизації досить витратний з точки зору часу обчислень. Але його переваги проявляються тоді, коли аналізується стійкість обробки з залежною від часу матрицею B , наприклад обробка зі змінною товщиною стружки (фрезерування) або різання з модулюванням швидкості обертання шпинделя. Однак для простоти розгляду особливостей

методу полудискретизації в цій статті він використаний для аналізу стійкості ортогонального точіння.

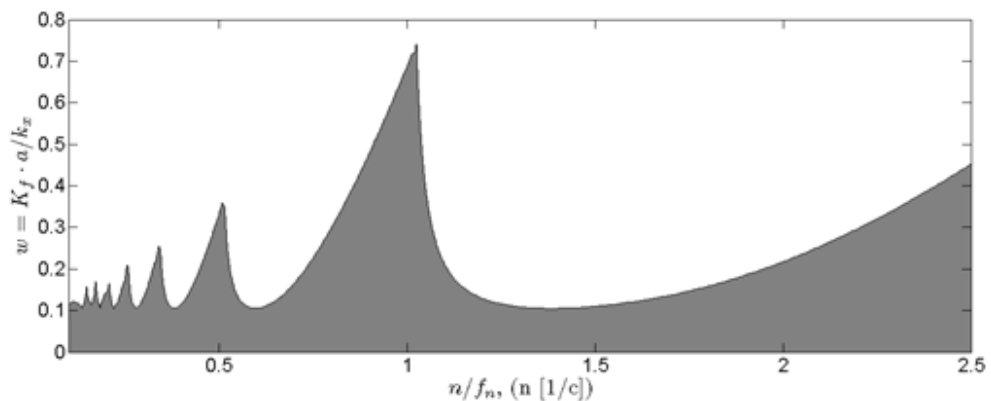


Рисунок 1.7 – Пелюсткова діаграма стійкості, побудована методом напівдискретизації

Останнім, що розглядаються в цьому огляді методів побудови діаграм стійкості, є метод повної дискретизації [26]. Основною відмінністю методу повної дискретизації від методу полудискретизації, є наступне. У методі полудискретизації апроксимується тільки доданок з запізненням $y(t - T)$ на інтервалі $t \in [t_i, t_{i+1})$. У методі повної дискретизації апроксимуються доданок $y(t)$, а також коефіцієнти R і L (1.31). В роботі [26] розглядається застосування методу повної дискретизації для побудови діаграм стійкості при фрезеруванні. Тому рівняння динаміки різання розглядається у вигляді:

$$\dot{y}(t) = A_o y(t) + A(t)y(t) + Ry(t - T), \quad (1.49)$$

де A_o – матриця коефіцієнтів, які залежать від часу;

$A(t) = A(t + T)$ – матриця періодичних коефіцієнтів;

R – матриця коефіцієнтів, аналогічна матриці R по формулі (1.30).

У разі токарного оброблення A не залежить від часу. Для системи з одним ступенем свободи і ортогонального точіння коефіцієнти A_o і A :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\omega_n^2 \frac{K_f}{k_x} a & 0 \end{bmatrix} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\omega_n^2 \frac{K_f}{k_x} a & 0 \end{bmatrix}, \quad (1.50)$$

Зауважимо, що якщо скласти A_o і A , то отримуємо $L = A_o + A$ і рівняння (1.49), стане аналогічним рівнянням (1.31).

Опускаючи подробиці виведення рівнянь методу полудискретизації (докладніше [10]), запишемо підсумкове вираз для B_i :

$$\mathbf{B}_i = \begin{bmatrix} [1 - \Gamma_{i+1}]^{-1} (\Gamma_o + \Gamma_{o,1}) & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & [\mathbf{I} - \Gamma_{m+1}]^{-1} \Gamma_{m-1} & [\mathbf{I} - \Gamma_{m+1}]^{-1} \Gamma_m \\ \mathbf{I} & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{I} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} & \cdot & \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} & \dot{\mathbf{O}} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{I} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \cdot & \mathbf{O} & \mathbf{I} & \mathbf{O} \end{bmatrix}, \quad (1.51)$$

Звідси виходить:

$$\begin{aligned} \Gamma_o &= \psi_o; \\ \Gamma_{o,1} &= \left(\frac{\psi_2}{\Delta t}\right) A_o + \left(\frac{\psi_3}{\Delta t}\right) A_1; \\ \Gamma_{k+1} &= \left(\psi_1 - \frac{\psi_2}{\Delta t}\right) A_o + \left(\psi_2 - \frac{\psi_3}{\Delta t}\right) A_1; \\ \Gamma_{m-1} &= \left(\psi_1 - \frac{\psi_2}{\Delta t}\right) R_o + \left(\psi_2 - \frac{\psi_3}{\Delta t}\right) R_1; \\ \Gamma_m &= \left(\frac{\psi_2}{\Delta t}\right) R_o + \frac{\psi_3}{\Delta t} R_1; \\ R_1 &= \frac{R_i - R_{i+1}}{\Delta t} R_1 = \frac{R_i - R_{i+1}}{\Delta t}; \\ A_1 &= \frac{A_i - A_{i+1}}{\Delta t} A_1 = \frac{A_i - A_{i+1}}{\Delta t}; \\ \psi_2 &= \int_0^{\Delta t} \xi e^{A_o \xi} d\xi \psi_2 = \int_0^{\Delta t} \xi e^{A_o \xi} d\xi \psi_2 = \int_0^{\Delta t} \xi e^{A_o \xi} d\xi \psi_2 = \int_0^{\Delta t} \xi e^{A_o \xi} d\xi, \end{aligned} \quad (1.52)$$

Якщо $|A_o| \neq 0$, вираз для ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 можна обчислити за формулами:

$$\begin{aligned}
\psi_1 &= A_0^{-1}(\psi_0 - I); \\
\psi_2 &= A_0^{-1}(\Delta t \psi_0 - \psi_1); \\
\psi_3 &= A_0^{-1}(\Delta t^2 \psi_0 - 2\psi_2),
\end{aligned}
\tag{1.53}$$

На рисунку 1.8 показана діаграма стійкості, побудована методом повної дискретизації. У цій діаграмі число кроків по n дорівнює 200, по $a = 150$, і дозвіл періоду становить $m = 200$.

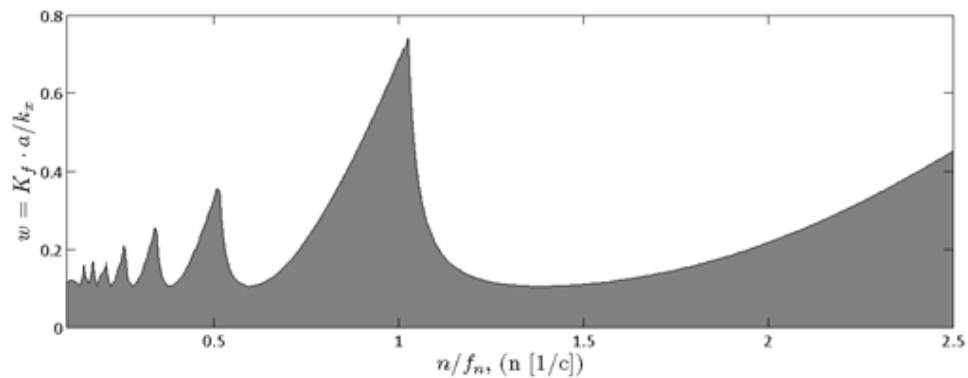


Рисунок 1.8 – Пелюсткова діаграма стійкості, побудована методом повної дискретизації

Вона практично збігається з діаграмою, побудованою методом полудискретизації з рисунком 1.7, відрізняючись, трохи менш чіткими кордонами. Час, що витрачається на побудову діаграми методом повної дискретизації, приблизно в 2 рази менше, ніж час на побудову методом полудискретизації.

Отже, розглянуті найбільш поширені методи побудови діаграм стійкості для простого випадку ортогонального різання і технологічної системи, що моделюється коливальною системою з одним ступенем свободи. Кожен з методів має свої особливості, переваги і недоліки. Сфера їх застосування залежить від конкретного випадку і виду обробки. Методи аналізу стійкості обробки розглянуті досить докладно, для того, щоб можна було відтворити

побудова діаграм без використання додаткових джерел. Крім того, для зручності, використовується єдині позначення для всіх методів.

1.3 Методика реєстрації параметрів технологічної оброблювальної системи (ТОС)

1.3.1 Відомості проведення модального аналізу технологічної оброблювальної системи

Щоб отримати діаграму стійкості потрібно провести модальний аналіз та перетворити сигнали у частотну функцію. Існують два методи модального аналізу – традиційний та операційний [26].

При традиційному модальному аналізі створюється контрольоване періодичне збурення певної частоти (вхідний сигнал) і виконується аналіз передавальної функції між ним та вихідним сигналом (відгуком). Такий метод є зручним при проектуванні конструкцій, що можуть бути допрацьовані, або ж при проведенні різного роду експериментальних досліджень.

Операційний модальний метод передбачає аналіз тільки вихідного сигналу (відгуку конструкції) і не дає відомості про його зв'язок із вхідним збуренням, тому його доцільно використовувати у виробничих умовах, в процесі експлуатації машин.

Для проектування конструкції або досліджень береться традиційний модальний аналіз. Виконання аналізу таким методом регламентується міжнародним стандартом ISO 10055:1996.

У більшості випадків модальний аналіз з використанням електродинамічного збурювача провести неможливо. Тому для створення вхідного збурення використовується ударний молоток (ударник) із вбудованим датчиком сили або акселерометром. Відгук конструкції може бути виміряний контактним або безконтактним способом. Контактний спосіб передбачає

використання різного роду вібродатчиків, безконтактний спосіб передбачає використання мікрофонів, індукційних датчиків, лазерних віброметрів тощо. Безконтактний спосіб експериментального визначення відгуку конструкції без кріплення збурювача до конструкції регламентується міжнародним стандартом ISO 7626-5:1994 (Вібрація та удар. Експериментальне визначення механічної рухливості. Частина 5. Вимірювання, що використовують ударне збудження збудником, що не прикріплюється до конструкції»).

До недоліків методу ударного збудження відносяться можливий вплив нелінійності конструкції, зменшення співвідношення сигнал/шум, обмежена роздільна здатність по частоті, вплив демпфування на результати та залежність отримуваних результатів від кваліфікації оператора. Дослідження відгуку ТОС здійснюється методом ударного збудження з урахуванням указаних недоліків.

Вібродатчики (наприклад, п'єзоелектричні акселерометри) встановлюються на елементах конструкції так, щоб вони, за можливості, не вносили похибки за рахунок прикріплення додаткової маси. Вісь датчика повинна бути паралельною до напрямку найбільшої зміни амплітуди коливань.

За допомогою ударника здійснюються удари в різних місцях конструкції під різними кутами для дослідження різних мод вібрацій. Відбувається одночасна реєстрація вхідного та вихідного сигналів. На рисунку 1.10 представлено приклад п'єзоелектричного акселерометра.



Рисунок 1.10 – П'єзоелектричний акселерометр

Ринкова вартість ударника може сягати десятків тисяч гривень, в залежності від виробника. Тому доцільно розглядати можливість самостійного виготовлення ударника. Як показує досвід, описаний в роботах [27], [28], створення недорогого ударника із використанням відносно дешевої елементної бази, що забезпечує прийнятну точність модального аналізу, є цілком реальним і економічно доцільним. Вартість такого ударника буде щонайменше на порядок нижчою вартості фірмового аналога.

Так, в [28] оцінюються переваги та недоліки використання саморобного ударника, фірмового ударника та електромагнітного вібратора при проведенні модального аналізу будівельних конструкцій. Автор аргументовано доводить, що саморобний ударник не поступається в характеристиках фірмовому і має значно меншу вартість. Приклад ударника приведено на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Фірмовий ударник

Конструкція ударника включає в себе звичайний слюсарний молоток відомої ваги. На одній зі сторін головки молотка епоксидним клеєм приклеєна алюмінієва пластина. До цієї пластини через шпильку кріпиться акселерометр фірми Bruel&Kjaer тип 4394. Для реєстрації відгуку конструкції використаний акселерометр Bruel&Kjaer тип 8318. Їхні основні характеристики наведені в таблиці 1.1.

Обидва акселерометри підключені до АЦП, так що сигнали з них реєструються одночасно. Сила удару визначається з маси молотка та

zareєстрованого акселерометром прискорення під час тестового удару по гумовій плиті.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики п'єзоелектричних вібродатчиків

Параметр	Тип 4394	Тип 8318
Резонансна частота, кГц	52	6
Діапазон, Гц $\pm 10\%$	1 ... 25000	0,1 ... 1800

У [28] описується створення ударника не на основі вже готового фірмового акселерометру, а з використанням п'єзоелектричного елемента. Такий підхід хоча й заощадить додаткові фінансові ресурси, проте потребуватиме виготовлення компонентів датчика, а також його точного калібрування. При дослідженні параметрів тріщини з використанням такого саморобного ударника автори відмічають точність отриманих результатів на одному рівні з фірмовим ударником.

При безконтактному способі визначення параметрів моди вібрацій ТОС за допомогою лазерного Допплерівського віброметру (ЛДВ) лазерний промінь від віброметра спрямовується на елемент ТОС, динамічні параметри якого слід визначити, приклад приведений на рисунку 1.10.

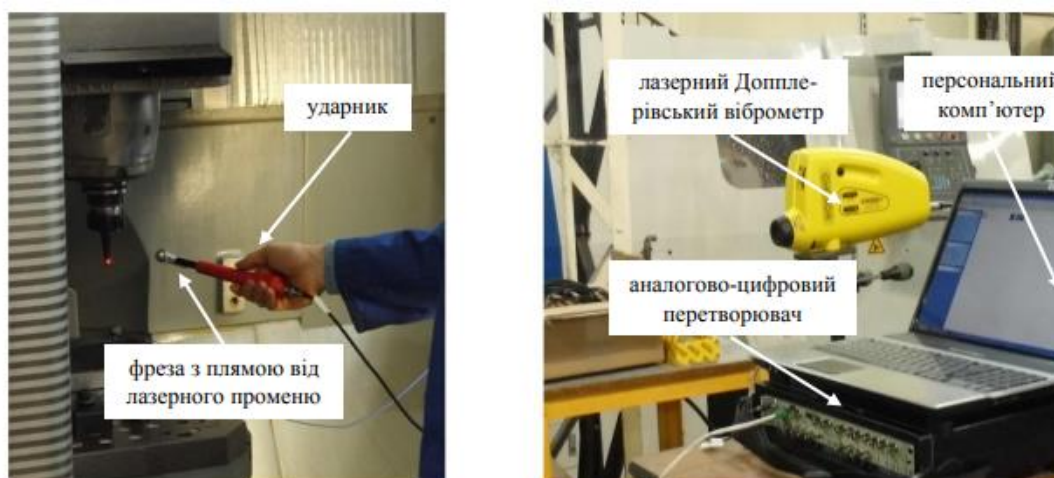


Рисунок 1.10 – Безконтактний спосіб визначення параметрів моди вібрацій

За допомогою ударника здійснюється збудження фрези шляхом нанесення удару по її корпусу в зоні, наближеної до робочої частини різальної кромки. При цьому ЛДВ реєструє зміщення фази відбитого лазерного променя по відношенню до початкового та передає ці дані до аналогово-цифрового перетворювача, звідки перетворений аналоговий сигнал потрапляє до персонального комп'ютера у вигляді цифрових даних. У спеціальному програмному середовищі аналізується файл вібросигналу та визначаються необхідні параметри моди вібрацій ТОС.

1.3.2 Перетворення сигналів в частотну функцію

Аналогові сигнали від акселерометра та від акселерометра, встановленого на ударнику, після проходження через АЦП у цифровому вигляді записуються у спеціальний файл на персональному комп'ютері. Аналоговий сигнал, що реєструється датчиками на випробувальному стенді, перетворюється у цифровий сигнал в АЦП для його подальшої обробки на персональному комп'ютері. На відміну від безперервного аналогового сигналу, що описується неперервною функцією (або кусково-лінійною функцією), цифровий сигнал є дискретним сигналом, що в дискретні моменти часу має певні дискретні значення. Інтервал часу (або період дискретизації), в який дискретна функція є визначеною, обумовлюється характеристиками апаратної частини експериментальної установки.

Це призводить до того, що записаний цифровий сигнал може не містити повної інформації про високочастотні складові початкового аналогового сигналу у часовій області.

У спеціальному програмному середовищі (Matlab 2013b) будується спектр сигналу у частотній області та визначаються домінуючі в ньому гармоніки. По-друге, будується спектр сигналу у частотно-часовій області та

визначається присутність тих чи інших домінуючих частот на різних ділянках сигналу.

Методика аналізу вібраційного сигналу використовує методи аналізу у частотній області (швидке перетворення Фур'є) та частотно-часовій області (віконне перетворення Фур'є) [29].

Перетворення Фур'є (ПФ), при частотному аналізі лінійних стаціонарних (і в меншій степені нестационарних) сигналів. Ідея ПФ полягає у представленні функції дійсної змінної (сигналу) іншою функцією дійсної змінної шляхом її розкладання на елементарні складові – гармоніки. Таким чином, довільні коливання репрезентуються у вигляді суперпозиції декількох гармонічних синусоїдальних коливань з різними амплітудами та періодами.

При виконанні дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) дискретний сигнал $x_{\text{сигн}}(n)$ деякої довжини $N_{\text{сигн}}$ з кроком дискретизації $\Delta n_{\text{дскр}}$ розкладається в ряд синусоїдальних сигналів, кількістю $\frac{N_{\text{сигн}}}{2} + 1$. Приклад та формули дійсної та уявної частини ДПФ представлені на рисунку 1.11.

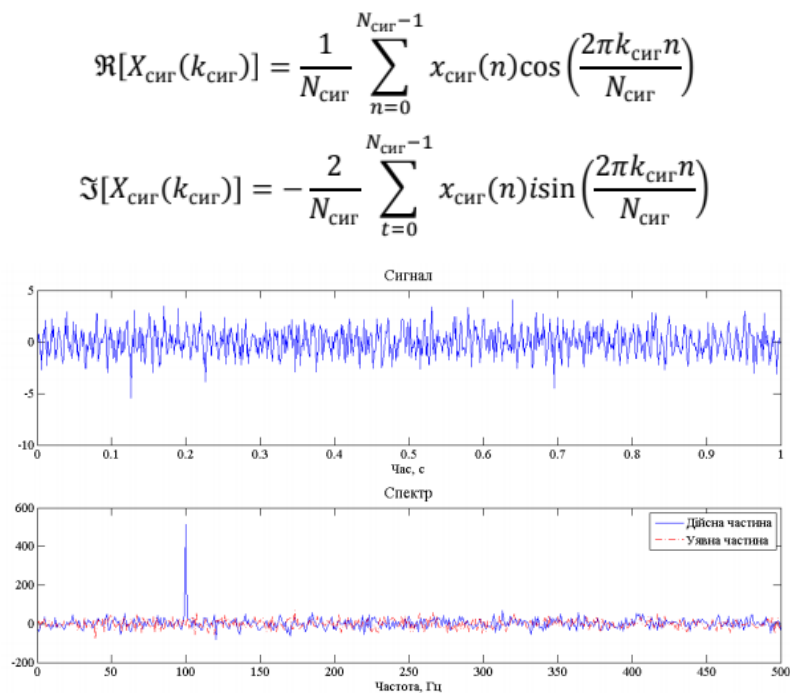


Рисунок 1.11 – Формули дійсної і уявної частини та приклад сигналу та його спектру, отриманого шляхом швидкого перетворення Фур'є

ДПФ має недоліки, що накладають обмеження на його використання – спектр сигналу не дає інформації про те, як змінюються гармоніки вздовж усього сигналу, а дозволяє лише виділити частоти, коливання на яких має найбільшу амплітуду. При цьому кратні гармоніки втрачаються на спектрі в частотній області.

Для отримання інформації про те, як змінюється спектр сигналу у часі, його аналіз виконується у частотно-часовій області. Для проведення такого аналізу використовується метод віконного перетворення Фур'є (ВПФ). Даний метод спектрального аналізу сигналу є інформативним також і при роботі з нестационарними лінійними сигналами. Алгоритм здійснення ВПФ наступний. Віконна функція $W(t)$ є фінитною (має компактний носій) та «переміщується» вздовж сигналу в часовій області. У процесі її «переміщення» виконується ДПФ для кожної ітерації та в результаті утворюється образ Фур'є у вигляді функції від двох змінних – частоти $\omega_{\text{сиг}}$ та часу τ положення вікна [30–34] по формулі:

$$F(\omega_{\text{сигн}}, \tau) = \int_{-}^{+} W(t - \tau) f(t) e^{-i\omega_{\text{сигн}} t} dt, \quad (1.54)$$

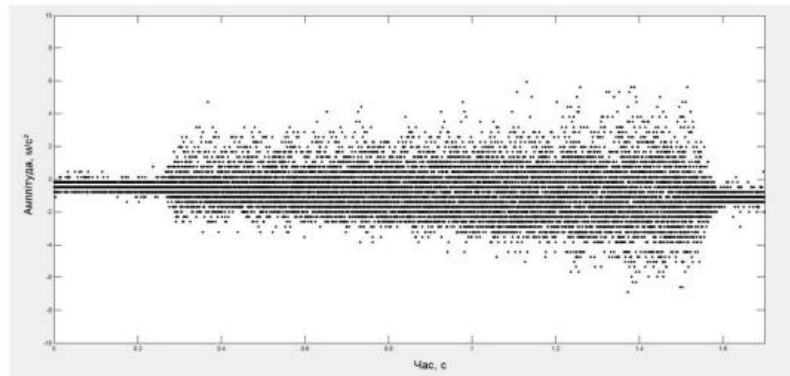
На практиці коректний вибір компактного носія відчутно впливає на точність представлення образу в частотно-часовій області [35]. У якості таких функцій використовуються функції Хемінга, Хенінга, Чебишева та інші.

Власне ДПФ може вважатися окремим випадком ВПФ, при якому ширина вікна дорівнює довжині сигналу.

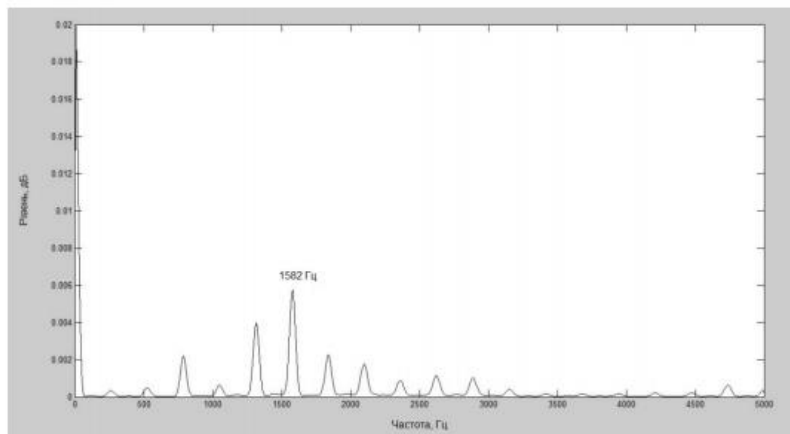
На рисунку 1.12 зображений дискретний сигнал (а), його спектр у частотній області (б) та у частотно-часовій області (в). При ВПФ цього сигналу в якості віконної функції використовується функція Хемінга.

Зростання амплітуди сигналу з часом прослідковується в його спектрі в частотно-часовій області, при цьому за спектром у частотній області можна зробити лише висновки про деякі гармоніки сигналу.

а)



б)



в)

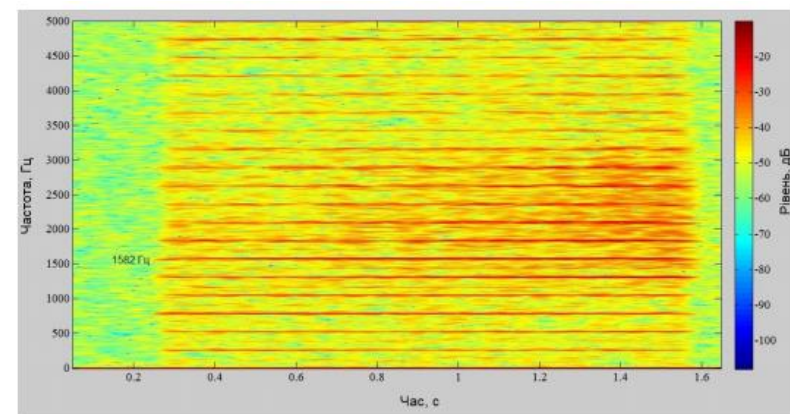


Рисунок 1.12 – Дискретний сигнал (а), спектр сигналу у частотній області (б) та спектр сигналу у частотно-часовій області (в)

2 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Перед розробкою NX-plugin'a, перш за все, потрібно підготувати необхідне програмне забезпечення – це Microsoft Visual Studio та Siemens NX.

2.1 Інсталяція Siemens NX

Необхідно встановити безпосередньо систему Siemens NX на комп'ютер. Повне керівництво з початку роботи знаходиться в інсталяційному пакеті, тому нижче будуть наведені основні рекомендації щодо інсталяції:

- директорія для встановлення Siemens NX обов'язково повинна мати назву виключно з латинських літер;
- бажано використовувати версії Siemens NX 8 і вище з міркувань оновленості класів і методів NX Open;
- для написання NX-plugin'ів може бути потрібна ліцензія автора, яка відкриває доступ до повного спектру можливостей.

2.2 Інсталяція Microsoft Visual Studio

Встановити безпосередньо систему Microsoft Visual Studio на комп'ютер. Як і у випадку з Siemens NX, детальне керівництво знаходиться в інсталяційному пакеті, але є декілька специфічних кроків.

Після завершення інсталяції Microsoft Visual Studio необхідно настроїти шаблони NX Templates. NX Templates являють собою шаблони для написання програм користувача. В ньому попередньо вже написані команди звернення

будучого NX-plugin до програми. Щоб додати шаблони NX Templates в Microsoft Visual Studio необхідно виконати наступні кроки:

а) у директорії [...]\\Siemens\\NX\\UGOPEN\\NXOpenTemplates знаходимо папку із назвою, що відповідає назві обраної мови програмування (NX Open підтримує велику кількість мов програмування. Тому дуже важливо обрати шаблони для тієї мови, якою буде написаний NX-plugin);

б) у цій директорії знаходиться папка Templates, яка містить два ZIP-архіви (NXOpenTemplate.zip та NXOpenWinFormTemplate.zip). Необхідно скопіювати ці архіви і вставити їх у директорію з шаблонами Microsoft Visual Studio: [My Documents]\\Visual Studio\\Templates\\ProjectTemplates, представлено на рисунку 2.1;

в) знаходимо папку відповідної мови програмування і вставляємо скопійовані архіви. Важливо не розархівовувати їх, а тільки розмістити;

г) Після настройки NX Templates, у стартовому вікні створення проекту з'являться 2 шаблони, представлено на рисунку 2.2:

- NX Open Application. Цей шаблон містить команди звернення плагіну до сесії NX. Інструменти розробки інтерфейсу у цьому модулі відсутні;

- NXOpen WinForm Application. Цей шаблон містить не тільки команди звернення плагіну до сесії NX, але й дозволяє користувачу розробляти інтерфейс будучого плагіну.

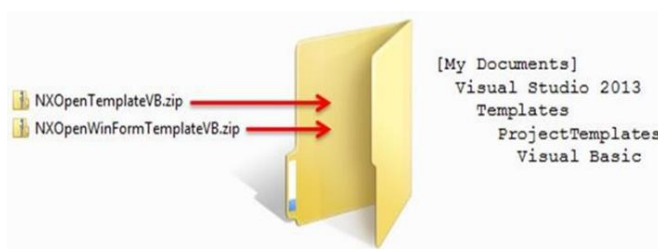


Рисунок 2.1 – Додавання шаблонів NX Open

Незалежно від обраного шаблону, при створенні нового проекту, користувачу обов'язково необхідно вказати посилання на бібліотеки NX Open.

Шлях до них, приведений на рисунку 2.3:

- [...]Siemens\NX\NXBIN\managed\NXOpen.dll;
- [...]Siemens\NX\NXBIN\managed\NXOpenUI.dll;
- [...]Siemens\NX\NXBIN\managed\NXOpen.UF.dll;
- [...]Siemens\NX\NXBIN\managed\NXOpen.Guide.dll;
- [...]Siemens\NX\NXBIN\managed\NXOpen.Utilities.dll;
- [...] – шлях користувача до директорії, де встановлено Siemens NX.

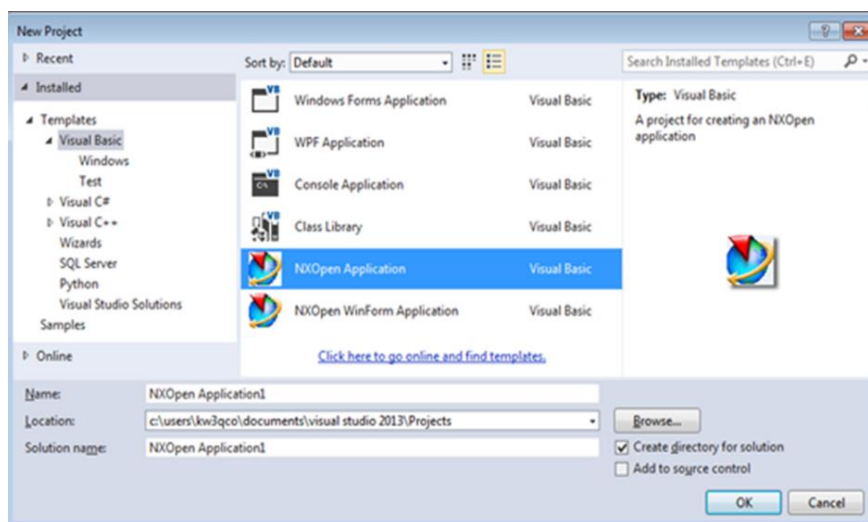
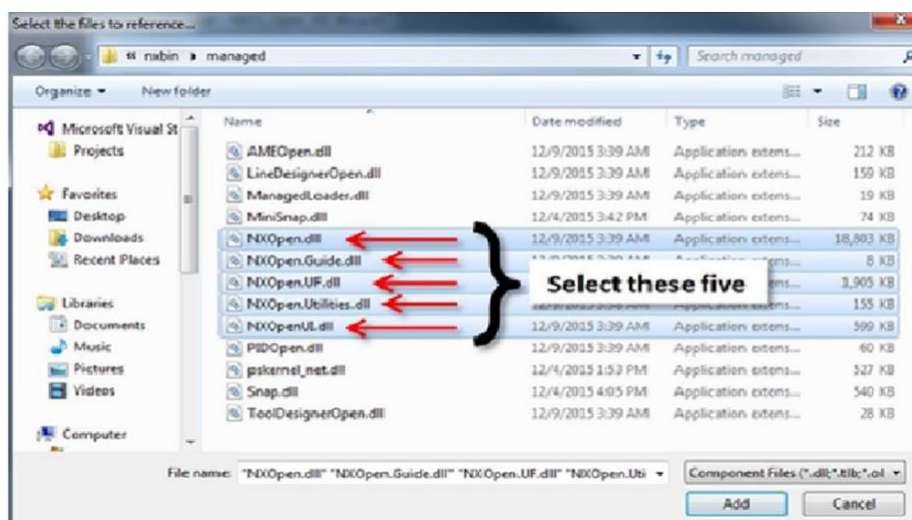


Рисунок 2.2 – Шаблони NX Open у стартовому вікні Microsoft Visual Studio



Рисунку 2.3 – Бібліотеки NX Open

3 МОВА ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОЗРОБКИ

Була вибрана мова Visual Basic.NET, як мова програмування для написання NX-plugin'y.

VB.NET – це мова програмування, що розробляється корпорацією Microsoft. VB поєднує в собі процедури та елементи об'єктно-орієнтованих і компонентно-орієнтованих мов програмування.

Працює ця мова на базі .NET-фреймворку (працює за допомогою Common Language Runtime (CLR)) для роботи з яким також розроблена мова програмування C#, до 2005 року існувала J#, а починаючи з 2010 додана F#.

У даній мові є безліч готових компонентів, що поставляються разом із середовищем, покликані допомогти програмісту відразу ж почати розробляти код і алгоритми додатків, не відволікаючи його увагу на написання коду запуску програми, підписки на події та інших механізмів, які VB реалізує автоматично.

Проста взаємодія між об'єктами є однією з базових складових парадигми Microsoft Visual Basic. Сам об'єкт називається екземпляром класу. Об'єктна модель VB надає різні класи для роботи з формами, елементами управління, буфером обміну, колекціями, екраном. Для взаємодії з іншими об'єктами клас надає розробнику інтерфейс, що складається з властивостей, методів і подій. Visual Basic підтримує концепції об'єктно-орієнтованого програмування з конструкторами і деструкторами, спадкуванням, перекриттям методів.

VB в даний час є одним з найбільш популярних мов програмування. Хоча він поступається у популярності таким мовам, як C#, C++, Java в силу різних причин, однак за можливостями і своїм потенціалом вище перерахованим мов мало в чому поступається. Про потужність мови VB говорить широкий спектр можливого програмного забезпечення, яке може бути написано на цій мові: це і найпростіші консольні утиліти і графічні програми, і ігрові програми, і складні високонавантажені веб-сервіси.

Мова VB.NET була створена спеціально для роботи на платформі .NET.

Характерні риси:

- підтримка різних мов – це середовище підтримує ряд мов VB.NET, C #, C ++, F #, а також різні діалекти інших мов, прив'язані до .NET, наприклад, Delphi.NET. Подібний механізм працює завдяки загальномовному середовищу виконання (CLR), яке лежить в основі платформи .NET. При компіляції код на будь-якому з цих мов компілюється в збірку спільною мовою CIL (Common Intermediate Language). Мова CIL є свого роду анкером для платформи .NET;
- потужна бібліотека класів. Ще однією ключовою особливістю .NET є єдина для всіх підтримуваних мов бібліотека класів. І при написанні програми на VB.NET так чи інакше задіється бібліотека класів .NET.;
- різноманітність технологій. .NET представляє цілий стек технологій, застосовуваний при написанні додатків. Наприклад, для роботи з базами даних призначені технологія ADO.NET і платформа Entity Framework. Для створення графічних програм з багатим насиченим інтерфейсом – технологія WPF. Для більш простих – Windows Forms. Для створення веб-сайтів і веб-сервісів – ASP.NET і т.д.

Переваги Visual Basic.NET.:

- автоматичне визначення типу змінних в залежності від значення, що присвоюється (вигідне при використанні у невеликих фрагментах коду таких, як наприклад, методи);
- поєднання простоти та зрозумілості синтаксису з широкими можливостями .NET;
- наявність зручних BASIC-подібних конструкцій (яких не було у попередніх мовах);
- легка інтеграція з офісними програмами (аналогічний базовий синтаксис);
- легкість переходу з інших мов при потребі.

Недоліки Visual Basic.NET.:

- успадковане від предка розхлябане приведення типів по замовчуванню та пізнє зв'язування (треба вимикати, режимом Option Strict);
- досить велика але рідко потрібна (для забезпечення належної роботи код необхідно переписувати) бібліотека сумісності з Visusl Basic, починаючм з 2010 (10.0, .NET 4.00) – відсутня;
- с-подібні конструкції, що не вписуються у синтаксис (даний недолік – умовність, до якої досить швидко звикається).

Приклад коду представлений на рисунку 3.1.

```
Module MainModule
  Sub Main
    Console.WriteLine("Hello World!")
  End Sub
End Module
```

Рисунок 3.1 – Приклад коду написаний на мові програмування Visual Basic.NET

4 ЕТАПИ СТВОРЕННЯ РОЗРОБКИ НА ОСНОВІ ТЕОРЕТИЧНИХ ВИКЛАДОК

4.1 Розробка програмного інтерфейсу

Для розробки необхідне програмне забезпечення – Siemens NX. Весь інтерфейс у програмі Siemens NX побудований на «блоках». Мається на увазі, що ці блоки обираються із внутрішньої колекції елементів діалогу Siemens NX. Було використано інструмент NX Block UI Styler.

Кожен блок має тип і призначення, за допомогою якого і розробляється діалогове вікно, представлено на рисунку 4.1.

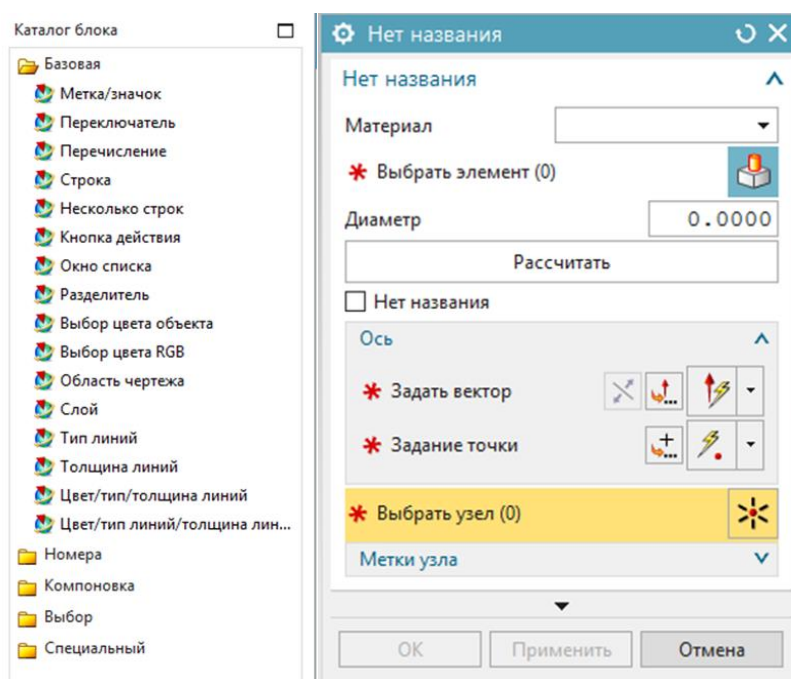


Рисунок 4.1 – Розробка діалогового вікна

В залежності від необхідної дії, обирається конкретний блок, який дозволяє її виконати.

Також користувач може налаштувати необхідні властивості блоків, такі як: назва, розмір, відображення. Використання таких блоків дозволяє зменшити

зусилля користувача на створення власного діалогу і гарантує узгодженість розробленого інтерфейсу з програмним.

NX Block UI Styler генерує два файли із розширеннями .vb та .dlx. Використовуючи такі блоки, отримуємо інтерфейс, який буде вести себе однаково з іншими діалогами у Siemens NX, представлено на рисунку 4.2.

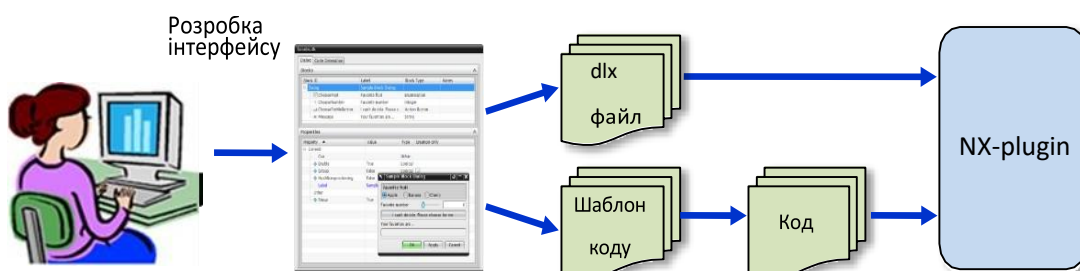


Рисунок 4.2 – Розробка програмного інтерфейсу

У файлі із розширенням .vb, міститься код, який включає в себе обрані користувачем блоки інтерфейсу (із посиланням на .dlx файл) і розміщує їх в логічній послідовності. Також генеруються необхідні програмні змінні, які користувач може використовувати для обміну даними з програмою.

Кожен із блоків має функцію зворотного зв'язку, який дозволяє обробляти отриману інформацію і закладати шляхи обміну даними з основною програмою.

Також, як і у кожному діалозі в Siemens NX, Block UI Styler створює так звані «події» (кнопки). Тут користувач може розмістити код, який буде обробляти інформацію при натисканні на ту чи іншу програмну кнопку (ОК, Відміна, Застосувати).

Файл із розширенням .dlx містить у собі безпосередньо сам діалог, згенерований у Block UI Styler.

Як вже описувалось раніше, у .vb файлі є посилання на цей файл, але немає повного шляху до місця розміщення цього файлу, отже Siemens NX, при запуску плагіну не зможе знайти його.

Перш за все, необхідно створити директорію, в якій за замовчуванням Siemens NX буде шукати необхідний .dlx файл. Для цього у [...]Siemens\NX\UGII необхідно створити папку з назвою UGII_USER_DIR. Далі, у створеній директорії, розмістити ще одну із назвою “application”. І вже в цю папку необхідно помістити, згенерований Block UI Styler, .dlx файл.

Наступним кроком необхідно створити змінну середовища у операційній системі комп’ютера, яка буде вказувати на створену директорію. Для цього створюємо нову змінну середовища із назвою UGII_USER_DIR і прописуємо шлях до [...]Siemens\NX\UGII\ UGII_USER_DIR. Необхідно вказати шлях тільки до UGII_USER_DIR, а не до директорії “application”.

Після цього при запуску файлу .vb, код зможе звернутися до файлу діалогу і вивести його на екран для подальшої роботи з ним.

Отже виходить, що файл .vb представляє собою логіку будучого плагіну, а .dlx файл містить у собі інтерфейс, через який користувач зможе взаємодіяти із додатком (діалог).

4.2. Створення NX-plugin’у

За допомогою вже другого програмного забезпечення Microsoft Visual Studio розробляється код програми. Безпосередньо код і є та логіка, за якою буде працювати будучий NX-plugin, який розрахує оптимальні режими різання.

Вихідні дані:

а) заготовка – пластина (титан BT8). Висока міцність, мала вага і відмінна корозійна стійкість, якою володіють титанові сплави привели до широкого спектру їх застосування в аерокосмічній, автомобільній, медичної, хімічної та інших галузях промисловості. Через високу затребуваність використання титанові сплави приваблюють багатьох дослідників. Вони були розглянуті в різних областях знань: розвиток ріжучого інструменту для ефективної їх

обробки [36, 37], дослідження з механіки формування стружки [38,39], якість поверхні і механізм зносу інструменту [40, 41]. У літературі існує кілька загальних рекомендацій для обробки титанових сплавів, які можуть допомогти в подоланні труднощів, пов'язаних з їх обробкою, такі як: низька швидкість різання є кращою і допомагає звести до мінімуму температури на ріжучої кромки інструменту, яка в першу чергу залежить від швидкості різання; необхідно використовувати інструмент з гострими ріжучими крайками; швидкість подачі несуттєво впливає на температуру в зоні різання; використання пристроїв, що збільшують жорсткість заготовки і запобігають її вібрації в процесі обробки; не зупиняти подачу, коли інструмент і заготовка знаходяться в зачепленні;

б) ріжучий інструмент – фреза $d=16$ мм, $z=5$ (твердий сплав ВК8). В роботі використовується фреза кінцева з циліндричним хвостовиком, оснащена гвинтовими твердосплавними пластинами ВК8;

в) подача на зуб – $S_{\text{зуб}} = 0,03$ мм/зуб з довідника [42];

г) вид обробки – фрезерування (неприривне);

д) верстат – вертикально-фрезерний обробляючий центр Huron CX 5. Паспорт верстата [42].

4.2.1 Шаблон коду

Коли зберігається діалог в Block UI Styler, створюється файл Visual Basic, що містить код шаблону.

Ідея полягає в тому, що користувач «заповнює прогалини» в цьому шаблоні коду, щоб визначити спосіб, яким діалог буде себе вести. Вміст файлу VB буде залежати від параметрів, які користувач обрав в Block UI Styler.

Саме ці змінні отримують данні введені користувачем для подальшої їх обробки.

Ці змінні відповідають тим блокам діалогу, які були обрані під час розробки діалогового вікна, представлено на рисунку 4.3.

Далі, у коді розташовані події, за допомогою яких код оброблює отримані дані. Цю частину коду редагувати не потрібно.

В ці функції необхідно помістити код, який буде відповідати на «події» в діалоговому вікні, представлено на рисунку 4.4.

```
Private Shared theSession As Session
Private Shared theUI As UI
Private theDlxFileName As String
Private theDialog As NXOpen.BlockStyler.BlockDialog
Private group0 As NXOpen.BlockStyler.Group' Block type: Group
Private toggle0 As NXOpen.BlockStyler.Toggle' Block type: Toggle
Private face_select0 As NXOpen.BlockStyler.FaceCollector' Block type: Face Collector
Private double0 As NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock' Block type: Double
Private enum0 As NXOpen.BlockStyler.Enumeration' Block type: Enumeration
```

Рисунок 4.3 – Змінні діалогового блоку

```
theSession = Session.GetSession()
theUI = UI.GetUI()
theDlxFileName = "example.dlx"
theDialog = theUI.CreateDialog(theDlxFileName)
theDialog.AddApplyHandler(AddressOf apply_cb)
theDialog.AddOkHandler(AddressOf ok_cb)
theDialog.AddUpdateHandler(AddressOf update_cb)
theDialog.AddInitializeHandler(AddressOf initialize_cb)
theDialog.AddDialogShownHandler(AddressOf dialogShown_cb)
```

Рисунок 4.4 – Оголошення обробників подій

Наприклад, коли користувач натискає кнопку «Застосувати» в діалоговому вікні, код звертається до функції «apply_cb».

Після цього буде виконано код, який знаходиться в цій функції.

Також у цьому блоку вказується ім'я .dlx файлу, який був описаний у попередньому розділі.

4.2.2 Файл діагностики інструменту

Діагностика інструментів відбувалася за допомогою модального аналізу технологічної оброблювальної системи (ТОС).

Для проектування конструкції або досліджень береться традиційний модальний аналіз. Виконання аналізу таким методом регламентується міжнародним стандартом ISO 10055:1996.

Для проведення діагностики фрези для створення вхідного збурення використовується ударний молоток (ударник) із акселерометром ДН-4-М1, приведено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Збурення за допомогою ударника із акселерометром ДН-4-М1

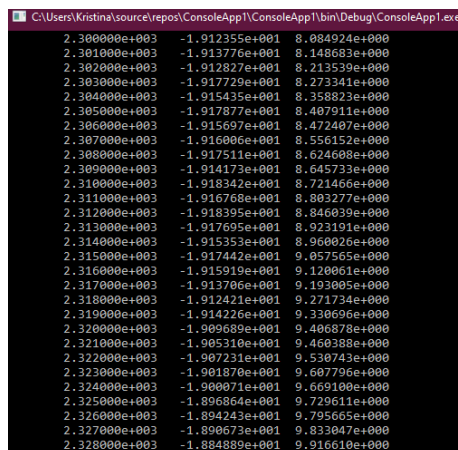
У роботі використовується безконтактний спосіб визначення відгуків інструмента з одним ступенем вільності, як найбільш піддатливий елемент ТОС.

До досліджуваного інструменту (фреза) підводиться індуктивний датчик.

За допомогою ударника та закріплювального на ньому акселерометра здійснюється збудження інструмента.

При збудженні інструменту виникають аналогові сигнали. Які від індуктивного датчика, який вимірює переміщення інструменту та від

акселерометра встановленого на ударнику, після проходження через аналого-цифрового перетворювача у цифровому вигляді записуються у спеціальний файл на персональному комп'ютері, приклад на рисунку 4.6.



2.300000e+003	-1.912355e+001	8.084924e+000
2.301000e+003	-1.913776e+001	8.148683e+000
2.302000e+003	-1.912827e+001	8.213539e+000
2.303000e+003	-1.917729e+001	8.273341e+000
2.304000e+003	-1.915435e+001	8.358823e+000
2.305000e+003	-1.917877e+001	8.407911e+000
2.306000e+003	-1.915697e+001	8.472407e+000
2.307000e+003	-1.916006e+001	8.556152e+000
2.308000e+003	-1.917511e+001	8.624608e+000
2.309000e+003	-1.914173e+001	8.645733e+000
2.310000e+003	-1.918342e+001	8.721466e+000
2.311000e+003	-1.916768e+001	8.803277e+000
2.312000e+003	-1.918395e+001	8.846839e+000
2.313000e+003	-1.917695e+001	8.923101e+000
2.314000e+003	-1.915353e+001	8.960026e+000
2.315000e+003	-1.917442e+001	9.057565e+000
2.316000e+003	-1.915919e+001	9.120061e+000
2.317000e+003	-1.913706e+001	9.193005e+000
2.318000e+003	-1.912421e+001	9.271734e+000
2.319000e+003	-1.914226e+001	9.330696e+000
2.320000e+003	-1.909689e+001	9.406878e+000
2.321000e+003	-1.905310e+001	9.460388e+000
2.322000e+003	-1.907231e+001	9.530743e+000
2.323000e+003	-1.901970e+001	9.607706e+000
2.324000e+003	-1.900071e+001	9.660100e+000
2.325000e+003	-1.896864e+001	9.729611e+000
2.326000e+003	-1.894243e+001	9.795665e+000
2.327000e+003	-1.890673e+001	9.833047e+000
2.328000e+003	-1.884889e+001	9.916610e+000

Рисунок 4.6 – Файл даних діагностики інструментів

Для відкриття файлу у програмі Siemens NX записується кодом у програмі Microsoft Visual Studio на рисунку 4.7.

При створенні коду, ми зробили дві можливості:

а) перша можливість – це вибір файлу даних з діагностикою інструмента на рисунку 4.8;

б) друга можливість – це введення параметрів ріжучого інструменту в ручну на рисунку 4.9.

```
// Read each line of the file into a string array. Each element
// of the array is one line of the file.
string[] lines = System.IO.File.ReadAllLines(@"C:\Users\Kristina\Downloads\y_axis_Channel 1_CH1.frf");

//1 - lines.Length

// Display the file contents by using a foreach loop.
System.Console.WriteLine("Contents of y_axis_Channel 1_CH1.frf");
foreach (string line in lines)
{
    // Use a tab to indent each line of the file.
    //line.IndexOf("+")
    Console.WriteLine("\t" + line);
}

// Keep the console window open in debug mode.
Console.WriteLine("Press any key to exit.");
System.Console.ReadKey();
```

Рисунок 4.7 – Код відкриття файлу даних діагностики інструменту

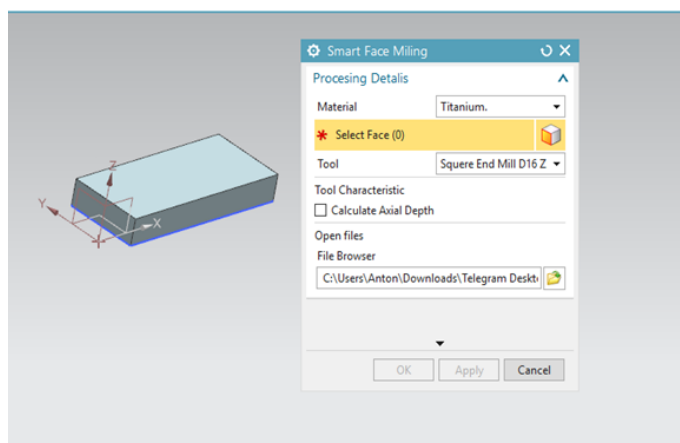


Рисунок 4.8 – Функція вибору файлу даних діагностики інструменту

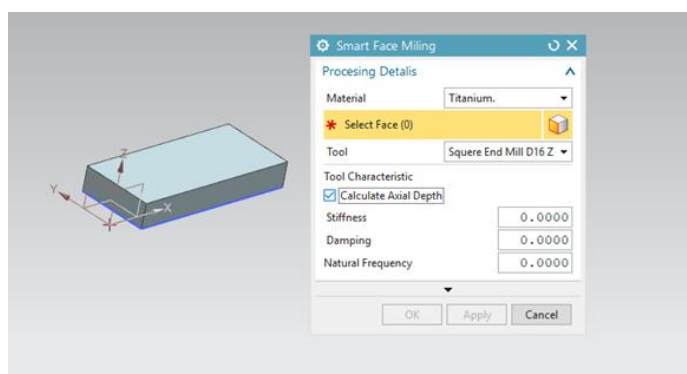


Рисунок 4.9 – Функція введення параметрів інструменту в ручну

Далі вибираємо поверхню деталі, що буде оброблятися на рисунку 4.10.

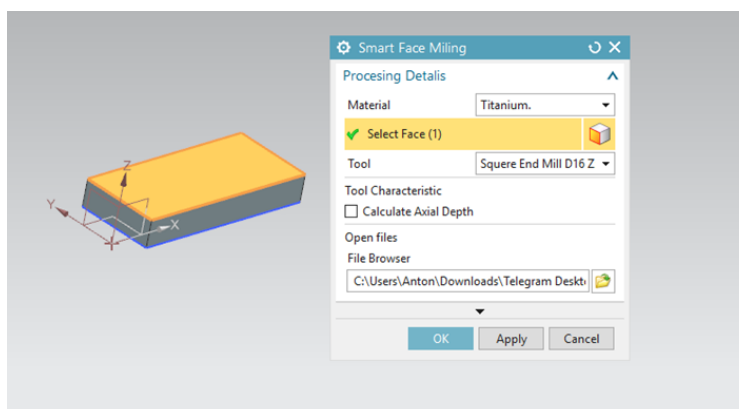


Рисунок 4.10 – Вибір оброблювальної поверхні

Після того, як користувач обрав у діалогові поверхню, що буде обробляється, ця інформація присвоюється відповідній змінній.

Після цього необхідно отримати координати крайніх точок обраної поверхні.

Саме ці точки в подальшому і будуть слугувати опорними для розробки траєкторії ріжучого інструменту. Для цього спочатку у програмі Microsoft Visual Studio за допомогою методу GetEdges, отримуємо грані обраної поверхні, представлено на рисунку 4.11.

```
'отримання крайніх точок обраної поверхні
Dim i As Integer
Dim one(10) As Point3d
Dim two(10) As Point3d
For Each tempObj As TaggedObject In face_select0.GetSelectedObjects

    Dim tempFace As Face = CType(tempObj, Face)

    For Each tempEdg As Edge In tempFace.GetEdges

        tempEdg.GetVertices(one(i), two(i))
        i = i + 1
    Next

    tempFace.GetEdges()

Next
```

Рисунок 4.11 – Отримання крайніх точок

Так як грані представляють собою звичайні лінії, то з них завжди можна отримати координати крайніх точок за допомогою методу GetVertices у координатній площині XYZ: А (-48; 48; 20); В (-48; -62; 20); С (59; -62; 20); D (59; 48; 20). Ці координати поміщаються у масив змінних для подальшої їх обробки.

4.2.3 Перетворення сигналів

Перетворення сигналів в частотну функцію відбувається за допомогою перетворення Фур'є (ПФ). Перетворення Фур'є – інтегральне перетворення однієї комплексної функції дійсної змінної на іншу.

Це перетворення розкладає дану функцію на осциляторні функції. Ідея ПФ полягає у представленні функції дійсної змінної (сигналу) іншою функцією дійсної змінної шляхом її розкладання на елементарні складові – гармоніки.

Таким чином, довільні коливання репрезентуються у вигляді суперпозиції декількох гармонічних синусоїдальних коливань з різними амплітудами та періодами.

Перетворення сигналів в частотну функцію файлу даних діагностики інструменту виконується за допомогою коду у програмному середовищі Microsoft Visual Studio, де вже програма сама будує спектр сигналу у частотній області та визначає домінуючі в ньому гармоніки, за допомогою формул дійсної та уявної частини ДПФ:

$$\kappa[X_{\text{сиг}}(k_{\text{сиг}})] = \frac{1}{N_{\text{сиг}}} \sum_{n=0}^{N_{\text{сиг}}-1} x_{\text{сиг}}(n) \cos\left(\frac{2\pi k_{\text{сиг}} n}{N_{\text{сиг}}}\right) - \text{дійсна частина ДПФ}, \quad (4.1)$$

$$\vartheta[X_{\text{сиг}}(k_{\text{сиг}})] = -\frac{2}{N_{\text{сиг}}} \sum_{t=0}^{N_{\text{сиг}}-1} x_{\text{сиг}}(n) i \sin\left(\frac{2\pi k_{\text{сиг}} n}{N_{\text{сиг}}}\right) - \text{уявна частина ДПФ}, \quad (4.2)$$

Розрахунок програмою Microsoft Visual Studio передавальної функції представлено на рисунку 4.13. На рисунку розраховується передавальна функція та програма розкладає сигнал на уявну та дійсну частину:

- Im – уявна частина;
- Re – дійсна частина;
- Frequency – частота.

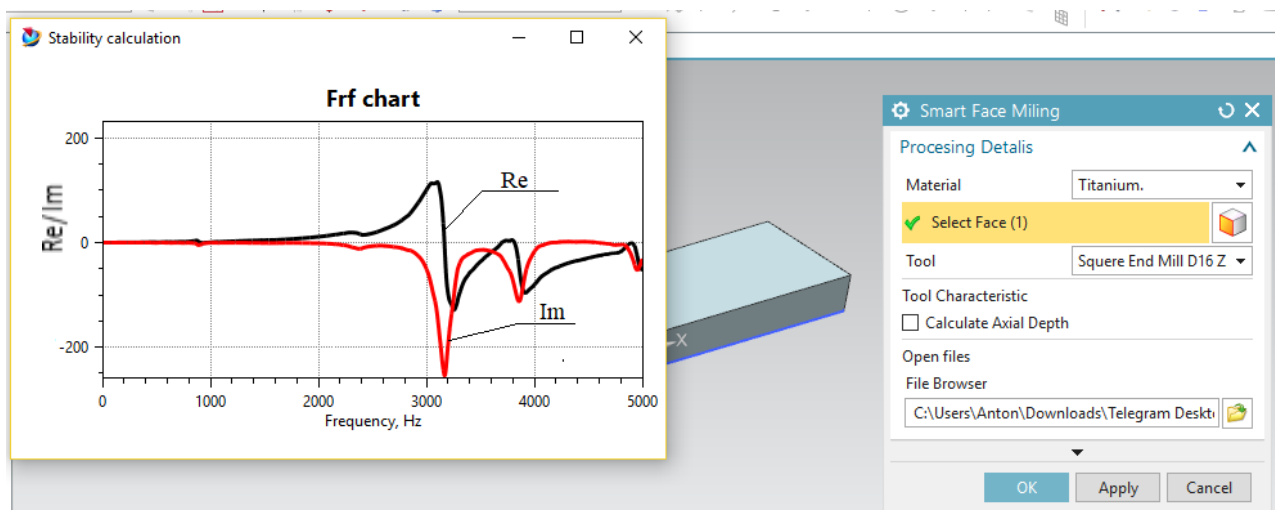


Рисунок 4.13 – Розрахунок передавальної функції, розкладання сигналу на уявну і дійсну частину (Im – уявна частина; Re – дійсна частина; Frequency – частота)

4.2.4 Діаграма стійкості

Прогнозування стійкості при різанні важлива задача, вирішення якої необхідно для вибору оптимальних режимів обробки, які з одного боку забезпечать високу продуктивність, а з іншого не приведуть до появи неприпустимих вібрацій.

Результатом аналізу вібростійкості обробки часто є побудова пелюсткової діаграми стійкості [25].

NX-plugin розраховує діаграму стійкості методом повної дискретизації. Він був запропонований Т. Insperger і G. Stépán [26].

Основна ідея методу повної дискретизації полягає в апроксимації безкінечного простору станів ДРЗ кінцевомірним простором станів багатовимірних звичайних диференціальних рівнянь ЗДР.

Плагін вже автоматично розраховує повної дискретизацію в матричній формі за формулою:

$$y(t) = Ly(t) + Ry(t - T), \quad (4.3)$$

Час запізнювання T ділиться на m дискретних інтервалів часу Δt , таким чином $T = m \cdot \Delta t$.

Якщо крок Δt дискретизації малий, значення $y(t - T)$ плагін наближено визначає, знаючи значення на двох послідовних інтервалах дискретизації $y(t_i - T)$ і $y(t_i - T + \Delta t)$:

$$y(t - T) \approx \frac{y(t_i - T) + y(t_i - T + \Delta t)}{2} = \frac{y_{i-m+1} + y_{i-m}}{2} \rightarrow t \in [t_i, t_{i+1}), \quad (4.4)$$

Значення змінних y стану в дискретних інтервалах часу виражені в матричній формі:

$$Y_i = BY_{i-1} \rightarrow B = B_1 + B_2, \quad (4.5)$$

Оцінка кожної вібрації y_i в момент часу $t = i\Delta t$ вимагає значення вібрації на попередньому кроці y_{i-1} , вібрації на попередньому обороті шпинделя ($y_{i-m} \rightarrow t_{i-m} = t_i - m\Delta t = t_i - T$), і на кроці безпосередньо перед ним ($y_{i-(m+1)} \rightarrow t_{i-(m+1)} = t_i - (m+1)\Delta t = t_i - T - \Delta t$).

Іншими словами, системі необхідно «пам'ятати» вібрації на попередньому обороті.

Пелюсткова діаграма стійкості будується шляхом перебору значень швидкості обертання шпинделя n [об/с] ($T=1/n$) з кроком Δn і ширини шару, що зрізується (глибини різання) a [м], з кроком Δa .

Приклад матриці повної повної дискретизації, як плагін розраховує представлений на рис. 4.14.

Після розрахунку передавальної функції, розкладання сигналу на уявну і дійсну частину, NX-plugin розраховує діаграму стійкості, який також записується кодом (рис. 4.15).

$$\begin{aligned}
 \underbrace{\begin{bmatrix} y_i \\ y_{i-1} \\ \vdots \\ y_{i-(m-1)} \\ y_{i-m} \end{bmatrix}}_{Y_i} &= \underbrace{\begin{bmatrix} e^{L\Delta t} & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdot & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdot & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}}_{B_1} \underbrace{\begin{bmatrix} y_{i-1} \\ y_{i-2} \\ \vdots \\ y_{i-m} \\ y_{i-(m+1)} \end{bmatrix}}_{Y_{i-1}} + \\
 &+ \frac{1}{2}(e^{L\Delta t} - I)L^{-1}R \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdot & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdot & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{B_2} \underbrace{\begin{bmatrix} y_{i-1} \\ y_{i-2} \\ \vdots \\ y_{i-m} \\ y_{i-(m+1)} \end{bmatrix}}_{Y_{i-1}}
 \end{aligned}$$

Рисунок 4.14 – Матриця змінних стану в дискретних інтервалах часу

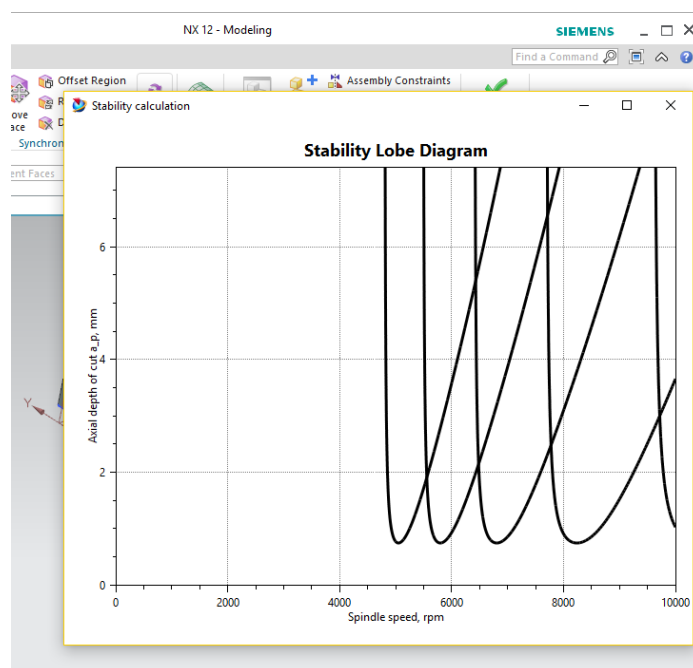


Рисунок 4.15 – Діаграма стійкості NX-plugin'у

На основі діаграми стійкості визначається оптимальна (найбільша) осьова глибина різання при максимальних оборотах шпинделя. Діапазон частот обертання шпинделя визначається NX-plugin'ом від характеристики верстата. В даній діаграмі по осі X – обертання шпинделя (об/хв), по осі Y – осьова глибина різання.

За розрахунковою діаграмою програма визначає оптимальну частоту обертання інструменту та осьову глибину.

Для даних умов програма визначила осьову глибину ($ap_{max} = 3$ мм) та обертання шпинделя ($n = 9600$ об/хв).

Допустиме обертання шпинделя на версаті Huron CX 5, $n = 10000$ об/хв.

Діаграма будується виходячі з вхідних даних подачі на зуб, геометричних параметрів різального інструменту та матеріалу, матеріалу для обробки.

4.2.5 Траєкторія руху різального інструменту

Сучасні фрезерні верстати з числовим програмним управлінням мають високий «запасом міцності», це стосується і механічної, і обчислювальної здатності. Але все ж варто відзначити, що обробка деталей все ж залежить більшою мірою від людського фактора.

Будь-яка помилка в налаштуванні програми може привести до того, що обладнання не буде працювати на повну потужність.

Незважаючи на всі переваги систем числового програмного керування і тієї продуктивності, яку вони показують, їх траєкторію варто час від часу оптимізувати.

Оптимізація – це і є NX-plugin, який зменшить помилки розрахунку режимів різання людиною, але код плагіну, також створює людина і це не гарантує 100% результат.

За допомогою правильного підбору траєкторії руху різального інструменту, можна мінімізувати негативний вплив фізико-механічних властивостей титану на процес його обробки, випуск якісного виробу, а знос верстата при цьому зменшується. У той же час значно збільшується продуктивність, це тягне і підвищення доходів.

Після діаграми стійкості і визначення частоти обертання шпинделя та осьової глибини, NX-plugin регенерує траєкторію руху різального інструмента – фрези по поверхні, яка обробляється, що до керівництва Сандрика [23].

Так, як ми отримали значення крайніх точок заготовки, то далі у коді записуються нові умови, які буду відповідати значенню осьовій глибині, значенню врізанню та відведенню різального інструменту:

Dim q As Integer (глибина різання);

q = 20 мм (врізання та відведення різального інструменту);

Dim q1 As Integer;

q1 = 3 мм (перший прохід);

Dim q2 As Integer;

q2 = 3 мм (другий прохід);

Так, як максимальна осьова глибина 3 мм, то взяли також максимальний припуск при обробці 3 мм.

На рисунку 4.16 та рисунку 4.17 представлено код програмування площини безпеки, врізання, відведення різального інструмента.

```
'Building trajectory
'begin cutting
Dim pt333 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z + q)
Dim pt33 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z + q1)
Dim l111 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt33, pt333)
Dim pt44 As New Point3d(C.X, C.Y + (0.2 * diam), C.Z + q1)
Dim l11 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt33, pt44)
l11.SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S11 As New Point3d(C.X, C.Y + (0.2 * diam), C.Z + q1)
Dim F11 As New Point3d(C.X - (0.2 * diam), C.Y, C.Z + q1)
Dim centr11 As New Point3d(C.X - (0.365 * diam), C.Y + (0.365 * diam), C.Z + q1)
Dim arc11 As NXOpen.Arc = workPart.Curves.CreateArc(S11, centr11, F11, True, False)
```

Рисунок 4.16 – Код врізання різального інструменту з площини безпеки

```
Dim pt10 As New Point3d(D.X - 53.5, D.Y - 55, D.Z + q1)
Dim l115 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt10, lastPoint)
Dim pt11 As New Point3d(D.X - 53.5, D.Y - 55, D.Z + q)
Dim l112 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt10, pt11)
Dim pt12 As New Point3d(D.X - 53.5, D.Y - 55, D.Z + q)
Dim pt13 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z + q)
Dim l113 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt12, pt13)

Dim pt21 As New Point3d(D.X - 53.5, D.Y - 55, D.Z - q2)
Dim l117 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt21, lastPoint1)
Dim pt22 As New Point3d(D.X - 53.5, D.Y - 55, D.Z + q)
Dim l113 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt21, pt22)
Dim pt23 As New Point3d(D.X - 53.5, D.Y - 55, D.Z + q)
Dim pt24 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z + q)
Dim l114 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt23, pt24)
```

Рисунок 4.17 – Код відведення різального інструменту в площину безпеки

Фрагмент коду траєкторії руху інструменту (рис. 4.18). Сама траєкторія руху інструменту представлена у виді зверху, відкривається через програму Siemens NX (рис. 4.19).

```

- dialog
Dim pt9 As New Point3d(D.X - kk, D.Y - (0.2 * diam) - kk, D.Z + q1)
Dim off As New Point3d(C.X - kk, C.Y + (0.2 * diam) + (0.365 * diam) + kk + 1.35, C.Z + q1)
l(4) = workPart.Curves.CreateLine(pt9, off)
l(4).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S As New Point3d(C.X - kk, C.Y + (0.2 * diam) + (0.365 * diam) + kk + 1.35, C.Z + q1)
Dim F As New Point3d(C.X - (0.2 * diam) - kk, C.Y + (diam / 2) + kk, C.Z + q1)
Dim centr As New Point3d(C.X - (0.365 * diam) - kk, C.Y + (0.865 * diam) + kk, C.Z + q1)
cur(0) = workPart.Curves.CreateArc(S, centr, F, True, False)
lastPoint = F
Dim pt334 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z + q)
Dim pt34 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z - q2)
Dim l114 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt34, pt334)
Dim pt45 As New Point3d(C.X, C.Y + (0.2 * diam), C.Z - q2)
Dim l115 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt34, pt45)
l11.SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S12 As New Point3d(C.X, C.Y + (0.2 * diam), C.Z - q2)
Dim F12 As New Point3d(C.X - (0.2 * diam), C.Y, C.Z - q2)
Dim centr12 As New Point3d(C.X - (0.365 * diam), C.Y + (0.365 * diam), C.Z - q2)
Dim arc12 As NXOpen.Arc = workPart.Curves.CreateArc(S12, centr12, F12, True, False)
Dim pt14 As New Point3d(C.X - (0.2 * diam) - kk + ((diam / 2 * psi)), C.Y + kk, C.Z - q2)
Dim pt15 As New Point3d(B.X + (0.2 * diam) + kk, B.Y + kk, B.Z - q2)
l(5) = workPart.Curves.CreateLine(pt14, pt15)
l(5).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S13 As New Point3d(B.X + (0.2 * diam) + kk, B.Y + kk, B.Z - q2)
Dim F13 As New Point3d(B.X + kk, B.Y + (0.2 * diam) + kk, B.Z - q2)
Dim centr13 As New Point3d(B.X + (0.365 * diam) + kk, B.Y + (0.365 * diam) + kk, B.Z - q2)
Dim arc13 As NXOpen.Arc = workPart.Curves.CreateArc(S13, centr13, F13, True, False)
Dim pt16 As New Point3d(B.X + kk, B.Y + (0.2 * diam) + kk, B.Z - q2)
Dim pt17 As New Point3d(A.X + kk, A.Y - (0.2 * diam) - kk, A.Z - q2)
l(6) = workPart.Curves.CreateLine(pt16, pt17)
l(6).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S14 As New Point3d(A.X + kk, A.Y - (0.2 * diam) - kk, A.Z - q2)
Dim F14 As New Point3d(A.X + (0.2 * diam) + kk, A.Y - kk, A.Z - q2)
Dim centr14 As New Point3d(A.X + (0.365 * diam) + kk, A.Y - (0.365 * diam) - kk, A.Z - q2)

```

Рисунок 4.18 – Фрагмент коду траєкторії руху інструмента

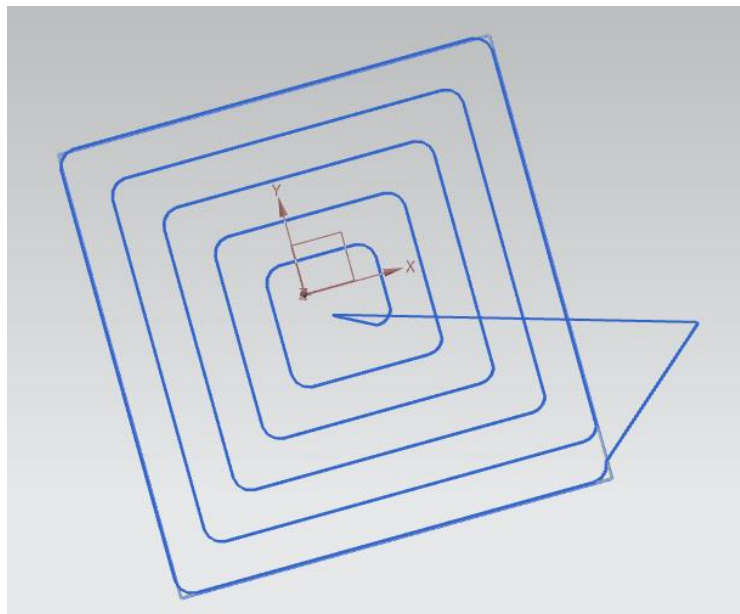


Рисунок 4.19 – Траєкторія руху інструменту, вид зверху

Обробка виконується у два проходи: знімання інструментом перший припуск на осьову глибину, а потім інструмент опускається на осьову глибину і знімає другий припуск (рис. 4.20).

Повний код розробки NX-plugin'у представлено в додатку А.

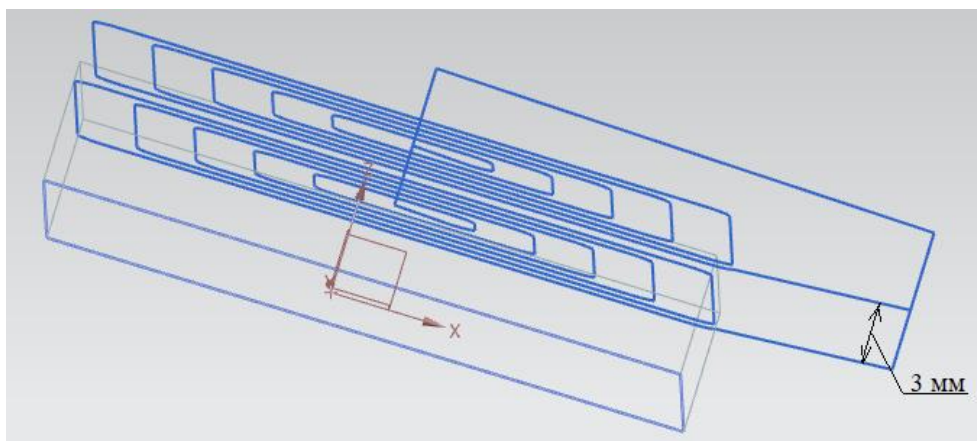


Рисунок 4.20 – Траєкторія руху різального інструменту у два проходи

Фрезерування з вкрай малою площею контакту і гостро заточеним ріжучою кромкою при високій швидкості і мінімальній подачі на зуб може забезпечити неперевершену якість чистової обробки.

Формування стружки «від товстої до тонкої». Дана ідея пов'язана з терміном «попутне фрезерування» і передбачає таке розташування інструменту, при якому кромка врізається в матеріал в напрямку подачі.

При роботі з титаном, як і з іншими матеріалами, термін служби інструменту скорочується в моменти різких коливань зусилля, особливо при вході в заготовку.

При прямому врізанні в матеріал (що характерно практично для будь-якої траєкторії інструменту) ефект можна порівняти з ударом по ріжучої кромці молотком. Замість цього слід акуратно проходити ріжучою кромкою по дотичній. При фрезеруванні від товстої стружки до тонкої дуга врізання повинна співпадати з напрямом обертання інструменту (за годинниковою або проти годинникової стрілки).

Тому плагін вибрав таку траєкторію руху, щоб інструмент входив в матеріал по дузі, а не під прямим кутом, представлено на рисунку 4.21.

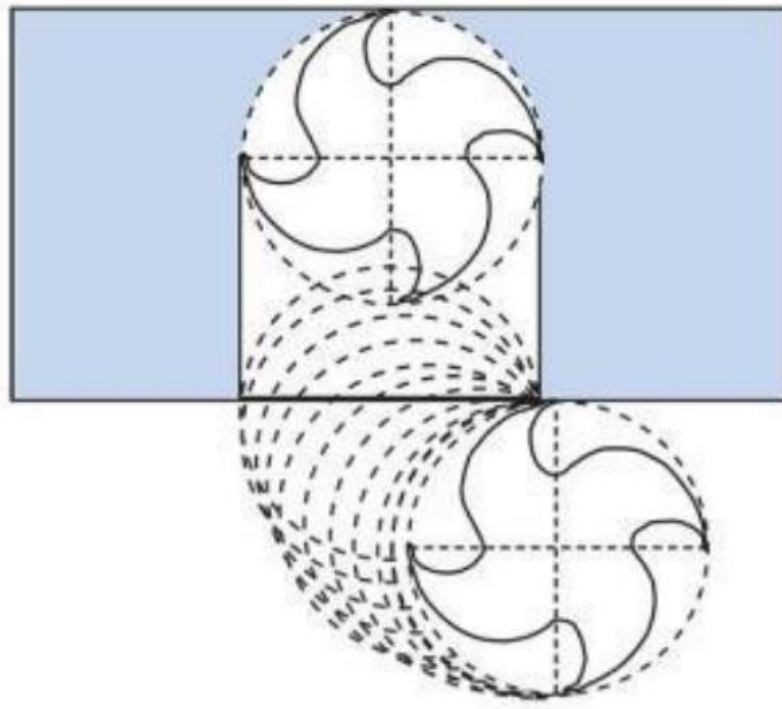


Рисунок 4.21 – Врізання фрези по дузі

Отже, дугова траєкторія забезпечує поступове збільшення сили різання, запобігаючи ривки і підвищуючи стійкість інструменту. При цьому виділення тепла і товщина стружки також поступово зростають до моменту повного занурення інструменту в заготовку.

5 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

При розробці NX-plugin'у необхідно обґрунтувати принципову схему створення та економічну доцільність розробки.

Якщо деякі витрати (на ріжучій інструмент, амортизаційні витрати, витрати на електроенергію, на налаштування пристроїв) рахувати однаковим, то вибір конструкції можна проводити по слідуєчій методиці [43].

Порівняємо собівартість виготовлення однієї деталі при її обробці у двох варіантах:

- а) при створенні плагіну та наладку розробки по формулі 5.1;
- б) при розрахунку аналітичним методом режимів різання та наладку пристроїв по формулі 5.2.

$$C_a = L_a \left(1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{S_a}{N} \left(\frac{1}{i_a} + \frac{q}{100} \right), \quad (5.1)$$

$$C_6 = L_6 \left(1 + \frac{z}{100} \right) + \frac{S_6}{N} \left(\frac{1}{i_6} + \frac{q}{100} \right), \quad (5.2)$$

де C – собівартість виготовлення однієї деталі в грн.;

L – штучна заробітня плата, грн.;

z – цехові накладні на заробітну плату;

S – час на розрахунки режимів різання та наладку пристроїв;

N – річна програма випуску або число делатей в партії;

i – термін амортизації пристроїв в роках;

q – витрати, зав'язані з утриманням, експлуатації, %.

Умовно деталь – пластина (титан ВТ8) з розмірами 107x110x15. Так, як точні дані відсутні, викорисовуємо приблизний метод, в грн.

Серійне виробництво.

Для розрахунку штучної заробітної плати L необхідно знати штучний, чи штучно калькуляційний час на заробітну плату 1 робітника, який відповідає кваліфікації (завдання робітника входить розрахунок режимів різання, але дві різні кваліфікації: інженер-технолог; інженер-програміст) за формулою:

$$L = L_{\text{шт.}} \cdot 1 \text{ (грн.)}, \quad (5.3)$$

$$L_a = 60 \cdot 1 = 70 \text{ (грн.)}$$

$$L_6 = 95 \cdot 1 = 80 \text{ (грн.)}$$

Цехові накладні витрати Z залежать від типу виробництва, технологічного оснащення цеху, рівня заробітної плати та інших факторів.

Час та затрати на розрахунок режимів різання аналітичним методом та через плагін бажано брати на підприємстві. У випадку відсутності даних використовуємо приблизний метод по формулі:

$$S = C, \quad (5.4)$$

де C – максимальний час створення та написання;

$$S_a = 15 \text{ (хв)}$$

$$S_6 = 5 \text{ (хв)}$$

При виборі терміну використання розрахунку i виходять із виробництва та затрати на виготовлення, розрахунок:

$i = 1$ рік – використання розрахунку для створення деталі;

$i = 3$ рік – використання розрахунку для створення деталі;

$i = 5$ рік – використання розрахунку для створення деталі.

Витрати на підтримку працездатності плагіну продовж терміну його експлуатації можна брати рівним 20% вартості його виготовлення.

В умовах серійного виробництва, при відомій кількості деталей N необхідно використати слідуєчу методичку: визначити число деталей в партії, коли собівартість обробки однієї деталі равнозначна, усі значення берем максимальні по формулі:

$$N = \frac{(S_6 - S_a)(\frac{1}{i} + \frac{q}{100})}{(L_a - L_6)(1 + \frac{z}{100})}, \quad (5.5)$$

Розрахунок виконується при умові, що $S_a > S_6$ і $L_6 > L_a$.

$$N = \frac{(5-15)(\frac{1}{3} + \frac{500}{100})}{(60-95)(1 + \frac{10}{100})} \cdot 100\% = 138,5 \approx 139 \text{ (шт.)}$$

Порівняння собівартості однієї деталі при її обробці та при при розрахунку аналітичним методом режимів різання та наладку пристроїв по формулі 5.1:

$$C_a = 70 \left(1 + \frac{10}{100}\right) + \frac{15}{139} \left(\frac{1}{3} + \frac{500}{100}\right) = 77,57 \text{ (грн.)}$$

$$C_6 = 80 \left(1 + \frac{10}{100}\right) + \frac{5}{139} \left(\frac{1}{1} + \frac{200}{100}\right) = 88,107 \text{ (грн.)}$$

Отже, собівартість виготовлення однієї деталі менша, де розрахунок режимів різання проводить комп'ютер, а саме розробка NX-plugin і становить 77,57 грн.

Економічно доцільно використовувати NX-plugin, так як термін експлуатації 3 роки, а також за допомогою коду можна редагувати всі параметри, які використовуються у фрезерних обробках.

Однак, одна із головних проблем підприємців – підрахунок так званих непрямих витрат (це ремонт, амортизація і решта, що побіжно стосується виробництва). Якщо виготовляється один вид продукції, всі витрати – прямі.

Непрямі витрати неможливо розподілити на окремі види продукції, оскільки вони пов'язані з виготовленням різних товарів. Часто підрахунок на малих підприємствах проводять лише за однією базою (наприклад, матеріали і зарплата), що призводить до помилкових управлінських рішень, які влетять у копійку.

Тому необхідно переглянути усі витрати, які ви мали за певний період, проаналізувати і згрупувати їх, а тоді вже порахувати, скільки коштує продукт чи послуга, аби не втратити гроші.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

При виконанні дипломної роботи на тему «Розробка модуля програми Siemens NX для визначення режимів різання і траєкторії руху інструменту при кінцевому фрезеруванні шляхом розрахунку пелюсткових діаграм сталості» основні науково-дослідні розрахунки та обробку науково-технічної документації виконували за допомогою комп'ютерної техніки. Дипломна робота виконувалась у комп'ютерному класі університету. Враховуючи, що у комп'ютерному класі є сучасне технічне обладнання, робота на яких вимагає заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки, тому розглянемо нижче.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Працівники, задіяні на роботах, пов'язаних з періодичною або постійною роботою за комп'ютером, піддаються впливу факторів виробничої небезпеки, основними з яких є:

а) Потенційні небезпеки, фізичного характеру:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

- кістково-м'язові порушення, у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг, що призводить до ушкодження опорно-рухового апарату;

- негативний вплив електромагнітних випромінювань при використанні моніторів персональних комп'ютерів з електронно-променевою трубкою, що

призводить до погіршень зору, зниження імунітету, хвороб серцево-судинної системи та кишково-шлункового тракту;

- негативний вплив інфрачервоного випромінювання при використанні моніторів персональних комп'ютерів більш старої моделі та тривалого періоду часу призводить до прояви тепла, яке потрапляє на тіло людини, перш за все, на незахищені його ділянки (обличчя, руки, шию, очі, груди) впливає на нервову систему, серцево-судинну систему, порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до потовиділення, втрати необхідних для організму людини солей;

- тривала діє ультрафіолетового випромінювання при використанні моніторів персональних комп'ютерів призводить до враження очей та шкіри.

б) Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру:

- запиленість повітря робочого приміщення внаслідок недосконалої або застарілої системи кондиціонування призводить до різноманітності хвороб дихальної системи;

- незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну можуть привести до загальних захворювань;

- постійне навантаження зору внаслідок недосконалої системи освітлення робочого місця призводить до порушення зору та різних хвороб очей;

- підвищений рівень шуму, який створюється перетворювачем напруги електричним обладнанням, її технічною периферією, а також людьми, що працюють у приміщенні, і який призводить до погіршення слуху;

в) Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру:

- психологічне навантаження, що викликані постійним стресом при вирішенні виробничих питань призводить до нервових зривів, тривалих депресій;

- незадовільна організація робочого місця студента, вчителя, що може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, зокрема зашарашеність робочої зони призводить до зменшення темпу роботи;

- негативні відносини у колективі в наслідок постійних емоційних зривів, які призводять до підвищених емоційних навантажень;

г) Потенційні небезпеки, що пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки:

- вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

- коротке замикання, тертя поверхонь, несправності системи охолодження процесорів та інші причини можуть призвести до пожеж.

г) Потенційні небезпеки, що пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій:

- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей;

- невідповідність персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

До роботи за комп'ютером допускаються особи, які пройшли навчання за професією, вступний та первинний інструктажі і перевірку знань з охорони праці та питань пожежної безпеки згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» в закладах, установах, організаціях, підприємствах, підпорядкованих Міністерству освіти і науки України затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України від 18 квітня 2006 року № 304, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07 липня 2006 року за № 806/12680 (із змінами).

Згідно ПУЕ, приміщення типу комп'ютерного класу відносяться до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Персональні комп'ютери є споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі із заземленою нейтраллю, та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання. За способом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з ДСТУ 7237:2011 «СБП. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» І (стаціонарні комп'ютери,) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Для виключення можливого ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу, в роботі передбачені:

- організаційні заходи (проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НАПБ А.01.001-14 «Правил пожежної безпеки в Україні»;

- технічні заходи (враховуючи, що електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц., відповідно до вимог «ПУЕ-2014», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ».

При організації праці, що пов'язана з використанням візуальних дисплейних терміналів електронно-обчислювальних машин (ВДТ ЕОМ), для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку.

Відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»:

- розміщення робочих місць з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах заборонено;

- площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м², а об'єм не менше ніж 20,0 м³;

- приміщення для роботи з ВДТ повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2018;

- виробничі приміщення можуть обладнуватись шафами для зберігання документів, магнітних дисків, полицями, стелажими, тумбами тощо з урахуванням вимог до площі приміщень;

- стіни, стеля і підлога та обладнання кабінетів комп'ютерної техніки повинні мати покриття із матеріалів з матовою фактурою з коефіцієнтом відбиття: стін – 40-50 %, стелі – 70-80 %, підлоги – 20-30 %, предметів обладнання – 40-60 % (робочого столу – 40-50 %, корпуса дисплею та клавіатури – 30-50 %, шаф та стелажів – 40-60 %);

Додатково для приміщення обладнаного персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами (далі ПК з ВДТ), визначаються ергономічними характеристиками моніторів. Відповідно до вимог директиви ЕС 90/270 ЕЕС виконані основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блиманням;
- яскравість або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

Також слід відмітити, що планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні необхідно проводити із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менша за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

З метою захисту здоров'я працівників відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час рас роботи з ВДТ» забезпечити навчання і перевірку знань працівників з питань охорони праці та безпечного використання екранних пристроїв до початку роботи з ними, а також у випадках модифікації та організації роботи обладнання; рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм. Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм; робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги – ніж 650 мм; для забезпечення безпеки та захисту здоров'я працівників усе випромінювання від екранних пристроїв має бути зведене до гранично допустимого рівня (вплив на людину факторів довкілля – шуму, вібрації, забруднювачів, температури тощо, який не спричиняє соматичних або психічних розладів, а також змін стану здоров'я, працездатності, поведінки, що виходять за межі пристосувальних реакцій) з погляду безпеки та охорони здоров'я працівників.

Вимоги до режимів праці і відпочинку при роботі з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»:

- внутрішньозмінні режими праці і відпочинку мають передбачати додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак втомлення і зниження працездатності;

- у всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години.

- при 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній

робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від характеру трудової діяльності, через кожен годину тривалістю 15 хвилин;

- з метою зменшення негативного впливу монотонності є доцільним застосовувати чергування операцій усвідомленого тексту і числових даних (зміна змісту роботи). Чередування вводу даних та редагування текстів;

- для зниження нервово-емоційного напруження, втомлення зорового аналізатору, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі доцільні деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ.

- для психофізіологічного розвантаження рекомендується використовувати деякі елементи методу автогенного тренування, який ґрунтується на свідомому застосуванні комплексу взаємопов'язаних прийомів психічної саморегуляції й виконанні нескладних фізичних вправ із словесним самонавіюванням. Головна увага при цьому приділяється набуванню й закріпленню навичок м'язового розслаблення.

Також слід відміти, що під час перерв та інколи під час роботи необхідно робити працівнику комплекс вправ для поліпшення кровообігу та розминання м'язів. Тривалість кожного комплексу 2-3 хв, інтервал між комплексами приблизно 45 хв.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Для покращення працездатності працівників впливають мікрокліматичні умови та їх забезпечення відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» приміщення відноситься до Іб – легка робота, тому встановлені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40- 60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

- у приміщеннях із значними площами застелених поверхонь передбачаються заходи щодо захисту від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року (орієнтація віконних прорізів схід – захід, улаштування жалюзі та ін.), від радіаційного охолодження – в зимовий (екранування робочих місць). При температурі внутрішніх поверхонь огорожуючих конструкцій, застелення нижче або вище допустимих величин робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Допустимий рівень шуму в комп'ютерному класі – 65 дБ згідно вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»:

- для шуму, утворюваного у приміщенні установками кондиціонування повітря, вентиляції та повітряного опалення, допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні шуму та еквівалентні рівні звукового тиску на робочих місцях встановлюються на 5 дБ менше ніж фактичні рівні шуму у приміщенні;

Зниження рівня шуму в приміщенні досягається за рахунок:

- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;

- використанням ПК, в яких термодавачі вмонтовані в блоці живлення та в критичних точках материнської плати (процесор, мікросхеми чіпсету), які

дозволяють програмним шляхом регулювати як моменти ввімкнення вентиляторів, так і їх швидкість обертання;

- переведення жорсткого диска в режим сплячки (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу. Цей час встановлюється в опціях керування напругою в операційних системах Windows 9x та Windows 2000. Якщо в режимі Standby немає необхідності, його можна вимкнути в BIOS материнської плати;

- використанням ПК, в яких вентилятор на процесорі встановлено виробником (BOX-процесор);

- застосуванням материнських плат формату ATX та ATX – корпусів, що дозволяє регулювати автономну швидкість та моменти часу відмикання вентилятора блока живлення від електромережі;

- застосуванням принтерів колективного користування, розташованих на значній відстані від більшості робочих місць користувачів ПК;

- зменшенням шуму на шляху його поширення через розміщення звукоізолюючого відгородження у вигляді стін, перетинок, кабін;

- акустичною обробкою приміщень – зменшення енергії відбитих звукових хвиль шляхом збільшення площі звукопоглинання (розміщення на поверхнях приміщення облицювань, що поглинають звук, розташування в приміщеннях штучних поглиначів звуку).

Виробничі вібрації згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» є в нормі, завдяки більш новому комп'ютерному обладнанню.

Випромінювання моніторів, іонізуючі випромінювання і неіонізуючі електромагнітні поля згідно МРР II, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»:

- у приміщеннях з ВДТ передбачено щоденно робити вологе прибирання;
- у приміщеннях з ВДТ передбачено щоденно передбачено два рази на день провітрювати приміщення.

Заходи щодо забезпечення освітленості робочої зони відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-20018 «Природне і штучне освітлення»:

- для робочих місць, обладнаних персональним комп'ютерами або моніторами, допустимі значення яскравості ОП, що відбивається в екранах моніторів при нормальному напрямку лінії зору, в залежності від яскравості екранів/моніторів;

- для освітлення приміщень виробничих і складських будівель слід використовувати найбільш економічні розрядні джерела світла та світлодіодні лампи та світильники. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості використання розрядних ламп і світлодіодних джерел світла. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється;

- природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%.

Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення.

Для розрахунку найбільш точним методом рівномірного освітлення, що враховує прямий світловий потік світильників та відбите світло від стін і стелі, являється метод світлового потоку (або коефіцієнта використання світлового потоку). Метод дозволяє визначити оптимальну кількість ламп та потужність освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення.

Вибір системи освітлення

Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. Використання на виробництві тільки місцевого освітлення заборонено.

У якості системи освітлення обираю комбіноване (загальне поєднане з місцевим). Характеристика зорової роботи – найвища точність; розряд та підрозділ зорової роботи – Іб.

Визначення рівня нормованої освітленості

За кількісну характеристику освітленості у приміщенні береться найменша освітленість.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 освітленість дорівнює $E_n = 400$ лк.

Вибір джерела світла

У якості джерела світла обираю люмінесцентні лампи, які рекомендовані у приміщеннях висотою до 6 м. Комп'ютерний клас висотою 4,5 м.

Ці лампи мають наступні переваги: висока світловіддача (до 75 лм/Вт), висока стабільність світлового потоку, термін експлуатації до 10000 годин, високий індекс кольоропередачі.

Недоліки: висока вартість, повинні обслуговуватись фахівцями, мають складну пускову апаратуру, можливі шум та миготіння, значна пульсація при однофазній схемі підключення.

Вибір типу світильника.

Згідно умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлюваного приміщення за вибухопожежонебезпекою обираю компактні люмінесцентні лампи типу ЛПО.

Ступінь захисту IP 23, коефіцієнт світильника $[L/h] = 1,4$.

Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності (мінімального) освітлення.

Коефіцієнт запасу k_3 враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов:

$$k_3 = 1,5$$

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості) для люмінесцентних ламп низького тиску дорівнює:

$$z = 1,1$$

Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення

Згідно завдання, розрахунки проводяться для світлого приміщення:
 $\rho_c = 70\%$; $\rho_{ст} = 50\%$; $\rho_{п} = 30\%$.

Чисельне значення індексу приміщення визначається за формулою (6.1):

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (6.1)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею визначається за формулою (6.2), м.

$$h = H - h_p - h_z \quad (6.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

h_z – висота звисання світильника від стелі, м.

Для знаходження h_z розрахунок необхідно проводити за наступними кроками:

Кількість рядів світильників у приміщенні визначають за формулою (6.3):

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot [L/h]} \quad (6.3)$$

$$N_p = \frac{8}{(4,5 - 0,8) * 1,4} = 1,54 \approx 2$$

Результат необхідно округлити до цілого у більшу сторону.

Максимально припустиму відстань між рядами світильників визначають за формулою (6.4):

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} \quad (6.4)$$

$$L_{max} = \frac{8}{2} = 4 \text{ (м)}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею визначається за формулою (6.5):

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} \quad (6.5)$$

$$h = \frac{4}{1,4} = 2,85 \text{ (м)}$$

Висота звисання світильника від стелі визначається за формулою (6.6):

$$h_3 = H - h_p - h \quad (6.6)$$

$$h_3 = 4,5 - 0,8 - 2,85 = 0,85 \text{ (м)}$$

За формулою 6.1 знаходимо чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{8*8}{2,85(8+8)} = 1,40$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку

Значення коефіцієнта використання світлового потоку вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення.

Згідно отриманих даних та за допомогою інтерполяції, обираємо коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta = 0,50$$

Визначення світлового потоку лампи та загальної кількості світильників

Сумарний світловий потік освітлювальної установки у виробничому приміщенні визначається за формулою (6.7):

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot Z}{\eta} \quad (6.7)$$

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 64 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,50} = 84480 \text{ (лм)}$$

Умовна загальна кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата визначається за формулою (6.8):

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} \quad (6.8)$$

$$N^* = \frac{64}{4^2} = 4$$

Світловий потік умовного джерела світла визначається за формулою (6.9):

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}} \quad (6.9)$$

де $N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, за формулою (6.10).

$$N_{\text{л}} = N^* * n \quad (6.10)$$

де n – кількість ламп у світильнику

$$N_{\text{л}} = 4 * 4 = 16$$

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{84480}{16} = 5280 \text{ (лм)}$$

За отриманим значенням обрати тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку.

Обираю компактні люмінесцентні лампи типу ЛБ:

- потужність: $P_{\text{л}} = 80 \text{ Вт}$;
- світловий потік: $\Phi_{\text{л}} = 5400 \text{ лм}$.

Коефіцієнт співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи визначається за формулою (6.11):

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}} \quad (6.11)$$

$$m = \frac{5280}{5400} = 0,97$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні за формулою:

$$N = N^* * m \quad (6.12)$$

$$N = 4 * 0,97 = 3,88$$

Результат необхідно округлити до цілого у більшу сторону: $N_{\text{ф}} = 4 \text{ шт.}$

Загальна розрахункова освітленість у приміщені, що створюється при застосуванні стандартних ламп визначається за формулою (6.13):

$$E_p = (\Phi_{\text{л}} * N_{\text{л}} * \eta) / (S * k_z * z) \quad (6.13)$$

$$E_p = (5400 * 4 * 4 * 0,50) / (64 * 1,5 * 1,1) = 409 \text{ (лк)}$$

Перевірка виконується за формулою (6.14):

$$E_p = (-10\% \dots +20\%) * E_n \quad (6.14)$$

$$409 = (-10\% \dots +20\%) * 400 = 360 \dots 480 \text{ (лк)}$$

Умова виконується. Розрахунок вірний.

Загальна потужність освітлювальної установки розраховується за формулою (6.15):

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} * P_{\text{л}} \quad (6.15)$$

$$P_{\Sigma} = 16 * 80 = 1280 \text{ (Вт)}$$

Освітлення потребує систематичного догляду, правильної експлуатації освітлювальної установки та контролю освітленості на робочих місцях не менше одного разу на рік.

При загальному рівномірному освітленні стандартні лампи, як правило, розташовують у вершинах квадратних полів, як зображено на рисунку 6.1.

Очищення світильників належить проводити не рідше одного разу на три місяці. Очищення шибок світлових отворів проводиться не рідше двох разів на рік для приміщень із незначним виділенням пилу, і не менше чотирьох разів із значним виділенням пилу.

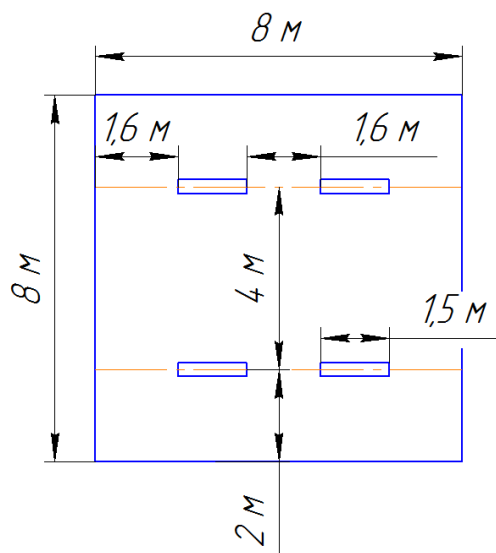


Рисунок 6.1 – Ескіз розташування світильників

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для комп'ютерного класі обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ:

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

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали. Оскільки приміщення обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної безпеки, тому

згідно вимог ДБН В.1.1-7:201 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

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

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:5014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

У відповідності до встановленого класу та категорії вибухопожежної та пожежної небезпеки в офісі підприємства площею 36 м² повинно бути 1 порошковий вогнегасник місткістю 5л згідно наказу 15.01.2018 № 25 «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Основні норми поведження і дії при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин

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

Вирішальне значення при аваріях на ХНО має швидкість виконання заходів щодо захисту населення. При загрозі чи виникненні аварії негайно, відповідно до діючих планів, здійснюється оповіщення працюючого персоналу і населення, що проживає поблизу. Населенню даються вказівки про порядок

поводження. Про аварію керівник об'єкта або черговий диспетчер доповідає начальнику ЦЗ міста, області.

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

За сигналом оповіщення:

- населення вдягає засоби захисту органів дихання (табельні або найпростіші) і виходить із зони зараження в зазначений район;
- органів керування збирається на пунктах керування;
- підрозділів рятувальних служб прибуває до місця аварії;
- спеціалізовані невоєнізовані формування, формування медичної служби й охорони громадського порядку прибувають у призначені пункти збору.

У першочерговому порядку організовується розвідка, що встановлює місце аварії, вид СДОР, ступінь зараження нею території і повітря, стан людей у зоні зараження, межі зон зараження, напрямки і швидкість вітру, напрямки поширення забруднення. Розвідка ведеться розвідувальними підрозділами газорятувальної служби і спеціалізованих формувань.

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

У зоні зараження намічаються ділянки й об'єкти, на які вводяться рятувальні і медичні формування. Уражені після надання їм допомоги доставляються на незаражену територію. Населення, яке опинилося в зоні зараження, евакуюється за її межі. Роботи проводяться з дотриманням запобіжних заходів, використовуються ЗІЗ, передбачається страхівка особового складу, що виконує роботи в незручних та ізольованих місцях. На виході із зон зараження організовується санітарна обробка населення і формувань, дегазація

транспорту та майна. Ці роботи проводяться на ПуСО, СОП і СЗТ. Заражений одяг збирається для наступної дегазації чи знищення.

З метою найшвидшої ліквідації наслідків аварії здійснюється дегазація території, споруджень, устаткування, техніки та інших об'єктів зовнішнього середовища. Повернення населення в зону зараження допускається після проведення контролю зараженості. Харчова сировина, продукти харчування і фураж, що опинилися в зоні зараження, перевіряють на зараженість. Запаси води і джерела водопостачання також перевіряються на зараженість.

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

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

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

Працівники, що входять у невоєнізовані формування ЦЗ, за сигналом про аварію прибувають на пункт збору формування і беруть участь у локалізації і ліквідації осередку хімічного ураження. Люди, що проживають поблизу ХНО, за сигналом оповіщення повинні вдягти дітей, надіти протигази, закрити вікна і квартирки, відключити електронагрівальні і побутові прилади, газ, погасити

вогонь у печах (при опаленні за допомогою грубки), узяти необхідне з теплого одягу і харчування (триденний запас продуктів, що не псуються), попередити сусідів, швидко, але без паніки вийти з житлового масиву у вказаному напрямку чи в бік, перпендикулярний до напрямку вітру, бажано на високу, добре провітрювану ділянку місцевості, на відстань не менше 1,5 км від попереднього місця перебування, де і чекати подальших розпоряджень.

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

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

Після виходу із зони зараження потрібно пройти санітарну обробку. Потерпілі, у тому числі і незначно (у яких з'явилися кашель, нудота і т. п.), повинні звернутися в медичні установи для визначення ступеня ураження і проведення профілактичних та лікувальних заходів. Про усунення небезпеки хімічного ураження і про порядок подальших дій населення оповіщається штабами ЦЗ чи органами міліції. В усіх випадках вхід у житлові й інші приміщення, підвали і виробничі будівлі дозволяється тільки після контрольної перевірки вмісту СДОР у повітрі цих приміщень. Як відзначалося раніше, на підприємствах зі СДОР найчастіше зустрічаються хлор і аміак. Хлор – газ жовто-зеленого кольору з різким запахом, його щільність 3,214 г/л; температура

кипіння – $34,05^{\circ}\text{C}$; при тиску 600 000 паскалів (Па), тобто 6 атм – зріджується при кімнатній температурі. Застосовують у виробництві хлоровмісних органічних і неорганічних сполук, для відбілювання целюлози і тканин, для санітарних потреб і знезаражування (хлорування) води. За видом ураження належить до СДОР переважно задушливої дії. Ознаки: різкий біль у грудях, задишка, блювання.

Перша допомога ураженому хлором: надягти на потерпілого промисловий протигаз марки «В» чи цивільний – ЦП-5 (ЦП-7); винести потерпілого на носилках на незаражену територію і зняти протигаз; звільнити від одягу, що стримує дихання; при відсутності дихання провести штучне, переважно методом «рот у рот»; забезпечити повний спокій, а в холодну пору року — і відігрівання потерпілого; для пом'якшення подразнення органів дихання дати подихати парою 0,5-процентного розчину питної соди і, по можливості, киснем; промити шкіру і слизові оболонки 2-процентним содовим розчином; забезпечити вживання потерпілим теплої води з содою, чаю чи кави; запобігти можливості самостійного пересування потерпілого, подальше транспортування його повинне проводитися тільки в лежачому стані.

Аміак – безбарвний газ з різким задушливим запахом; його щільність за нормальних умов 0,771 г/л; температура кипіння – $33,35^{\circ}\text{C}$, при тиску 900 000 Па (9 атм) зріджується при кімнатній температурі. Вибухонебезпечний, отруйний, добре розчиняється у воді; 10-процентний водяний розчин аміаку називають нашатирним спиртом. Аміак застосовують у виробництві азотної і синильної кислот, соди, добрив; у рідкому вигляді використовують як робоче тіло в холодильних агрегатах. За видом ураження належить до СДОР задушливої і нейротропної дії; основна ознака ураження – утруднене дихання. Звичайні фільтруючі протигazi від аміаку не захищають. Перша допомога ураженому аміаком: надягти на постраждалого промисловий протигаз марки К чи М, при дуже високих концентраціях аміаку – ізолюючий протигаз; винести із зони зараження, зняти протигаз і заражений одяг; при ослабленні чи зупинці подиху зробити штучне дихання переважно методом «рот у рот»; дати

подихати водяними парами і попити теплого молока; при потраплянні аміаку в шлунок викликати штучне блювання; при потраплянні аміаку в очі промити їх водою; при великих опіках – ввести знеболюючі засоби і зробити перев'язки; забезпечити потерпілому повний спокій і тепло.

Отримавши інформацію про викид в атмосферу сильнодіючих отруйних речовин і про небезпеку хімічного зараження, необхідно надіти засоби індивідуального захисту органів дихання, найпростіші засоби захисту шкіри (плащі, накидки) і покинути район аварії. Якщо відсутні засоби індивідуального захисту і вийти з району аварії неможливо, залишайтеся у приміщенні, включіть гучномовець місцевого радіомовлення (радіоприймач, телевізор); чекайте повідомлень відділу (управління) з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення (району, міста обласного підпорядкування, області). Щільно закрийте вікна і двері, димоходи, вентиляційні віддушини (люки). Вхідні двері завісити шторою, використовуючи ковдри і будь-які щільні тканини. Заклейте щілини в вікнах і стики рам плівкою, лейкопластиром або звичайним папером від проникнення в приміщення пару (аерозолів) сильнодіючих отруйних речовин. Надійна герметизація житла виключає проникнення сильнодіючих отруйних речовин у приміщення.

Залишаючи квартиру (будинок), виключіть джерела електроенергії, візьміть з собою особисті документи, необхідні речі, надіньте протигаз або ватяну марлеву пов'язку, накидку або плащ, гумові чоботи. Виходьте із зони хімічного зараження в сторону, яка перпендикулярна напрямку вітру. Обходьте переходи через тунелі, яри, лощини – в низьких місцях може бути висока концентрація сильнодіючих отруйних речовин.

Почувши розпорядження про евакуацію, будьте уважні до вказівок управління (відділу, штабу ЦЗ) з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення області (міста обласного підпорядкування, району) і ретельно виконуйте їх. При евакуації транспортом уточніть час і місце посадки. Не запізнюйтесь і не приходьте раніше призначеного строку. Попередьте про евакуацію і від'їзд сусідів. Вийшовши із зони зараження, зніміть верхній одяг і

провітріть його на вулиці, прийміть душ, умийтесь з милом, ретельно вимийте очі і прополощіть рот. При підозрі на ураження сильнодіючими отруйними речовинами виключіть будь-які фізичні навантаження, прийміть велику кількість пиття (чай, молоко і т. д.) та зверніться до медичного працівника або в медичний заклад. Почувши розпорядження про евакуацію, будьте уважні до вказівок управління (відділу, штабу ЦЗ) з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення області (міста обласного підпорядкування, району) і ретельно виконуйте їх.

Таким чином, у даному розділі дипломної роботи були виявлені основні небезпечні та шкідливі чинники при організації праці робочого в комп'ютерному класі, з'ясовано додаткові небезпеки в даному приміщенні.

Запропоновано заходи щодо усунення потенційних небезпек. Розраховано штучне освітлення робочого приміщення, визначено необхідна кількість рядів світильників у приміщенні, максимально припустима відстань між ними та умовна загальна кількість світильників у приміщенні. Обґрунтовано заходи забезпечення пожежної безпеки, виявлено клас та категорію відповідності вибухопожежної безпеки робочого приміщення, дано обґрунтування шляхів евакуації, запропоновано використання в приміщенні сповіщувачів пожежі, з'ясовано доцільна кількість вогнегасників на дану площу. Охарактеризовано заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях, а саме розкрито основні норми поведіння і дії при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин.

ВИСНОВКИ

В ході роботи було проаналізовано вплив коливань на поверхню, що обробляється, причини появи коливань, методи та способи управління ними.

Також було виявлено, що в залежності від фізико-механічних властивостей, титан, потребує окремого підходу до траєкторії руху інструменту. Для рішення цієї проблеми було розроблено плагін, який дозволяє враховувати вплив оброблюємого матеріалу на траєкторію руху інструменту.

В роботі наведені стислі рекомендації щодо встановлення необхідного програмного забезпечення та роботи з ним.

В процесі створення плагіну, була обрана мова програмування, розглянуті її основні характеристики. Був розроблений інтерфейс будучого плагіну за допомогою Block UI Styler.

Був створений код, який на основі отриманих від користувача даних, дозволяє отримати необхідну траєкторію руху інструменту, а також вивести оптимальні режими різання за допомогою діаграми стійкості.

Була проаналізована економічна ефективність та собівартість виготовлення однієї деталі, через розрахунок режимів різання використовуючи NX-plugin.

Виходячи з усього вищезазначеного, можна зробити висновок, що за допомогою розробленого плагіну можливо не тільки скоротити час на розробку управляючої програми, але і підібрати оптимальні режими різання, що в свою чергу, дозволить використовувати ресурс різального інструменту максимально ефективно та отримати якісну поверхню.

А також, було виявлені основні небезпечні та шкідливі чинники при організації праці робочого в комп'ютерному класі та запропоновано заходи щодо усунення потенційних небезпек. Розраховано штучне освітлення робочого приміщення, визначено необхідна кількість рядів світильників у приміщенні, максимально припустима відстань між ними та умовна загальна

кількість світильників у приміщенні. Обґрунтовано заходи забезпечення пожежної безпеки, шляхи евакуації, запропоновано використання в приміщенні сповіщувачів пожежі, з'ясовано доцільна кількість вогнегасників на дану площу. Охарактеризовано заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях, а саме розкрито основні норми поведження і дії при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин.

За результатами роботи опубліковано тези у збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів та студентів «Тиждень науки-2019».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Taylor F.W. On the art of cutting metals / Frederick Winslow Taylor. – New York: Published by the American society of mechanical engineers, 1907. – P. 242-248.
2. Рыжков Д.И. Вибрации при резании металлов и методы их устранения / Д.И. Рыжков. – М.: Машгиз, 1961. – 172 с.
3. Дроздов Н.А. К вопросу о вибрациях станка при токарной обработке / Н.А. Дроздов // Станки и инструмент. – Одесса.: Астропринт, 1937. – 25 с.
4. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В.Н. Подураев. – М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
5. Городецкий Ю.И. Анализ и синтез динамического качества фрезерных станков: дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Ю. И. Городецкий – Горький, 1986. – 237 с.
6. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
7. Кабалдин Ю.Г. Самоорганизующиеся процессы в технологических системах обработки резанием. Диагностика, управление / Ю.Г. Кабалдин, А.М. Шпилев. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 296 с.
8. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков / С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.
9. Кудинов В.А. Теория вибраций при резании (трении) / В.А. Кудинов // Передовая технология машиностроения: сб. научн. тр. – М.: АН СССР, 1955. – 642 с.
10. Кучма Л.К. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения/ Л.К. Кучма. – М.: СССР, 1959. – 122 с.
11. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании металлов / А.И. Каширин. – М.: Издательство АН СССР, 1944. – 132 с.
12. Мурашкин Л.С. Прикладная нелинейная механика станков /

Л.С. Мурашкин, С.Л. Мурашкин. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 192 с.

13. Журавлев В.Н. Снижение веса машиностроительных конструкций. [2-е изд. перераб. и доп.] / В.Н. Журавлев. – Свердловск, Машгиз. 1961. – 239 с.

14. Свинин В.М. Управление регенеративными автоколебаниями при фрезеровании на основе модуляции скорости резания: Дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / В.М. Свинин. – Иркутск, 2008. – 342 с.

15. Liu X., Cheng K. Modelling the machining dynamics of peripheral milling // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2005. – Т. 45. – No. 11. – P. 1301-1320.

16. Altintas, Y. Chatter stability of metal cutting and grinding / Y. Altintas, M. Weck // {CIRP} Annals - Manufacturing Technology. – 2004. – Vol. 53, No. 2. – P. 619-642.

17. Altintas, Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vi-brations, and cnc design / Y. Altintas. – Cambridge University Press, 2012. – 381 p.

18. Insperger, T. Semi-discretization for time-delay systems – stability and engineering applications / T. Insperger, G. Stépán. – Springer, 2011. – 174 p.

19. Воронов, А.А. Теория автоматического управления. часть 1. теория линейных систем автоматического управления / А.А. Воронов. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.

20. Ozel T. Process simulation using finite element method prediction of cutting forces, tool stresses and temperatures in high-speed flat end milling / T. Ozel, T. Altan // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2000. – Vol. 40/5. – P. 713-738.

21. Ozel T. Investigation of high speed flat end milling process: prediction of chip formation, cutting forces, tool stresses and temperatures: PhD. Thesis / Ozel T. – The Ohio State University, 1998. – P. 234-254.

22. Tlustý, J. Beispiele der behandlung der selbsterregten schwingung der werkzeugmaschinen / J. Tlustý, H. Polacek. – Munich : Fo Ko Ma, Hanser Verlag, 1957. – P. 123-125.
23. Tobias, S. A. A theory of regenerative chatter / S. A. Tobias, W. Fishwick // The Engineer. – 1958. – Vol. 205. – P. 139-239.
24. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц / Ф.Р. Гантмахер. – М.: Наука, 1988. – 546 с.
25. Йосс, Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж. Йосс, Д. Джозеф. – М. : Мир, 1983. – 301 с.
26. Ding, Y. A full-discretization method for prediction of milling stability / Y. Ding, L. Zhu, X. Zhang, H. Ding // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2010. – Vol. 50, No. 5. – P. 502-509.
27. Тиме И.А. Мемуары о строгании металлов / И.А. Тиме. – М.: Наука, 1877. – 345 с.
28. Taylor F. W. On the art of cutting metals / F. Taylor // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 1907. – Vol. 33, No. 4. – P. 168-171.
29. Sridhar R. A stability algorithm for the general milling process: contribution to machine tool chatter research / R. Sridhar, R. E. Hohn, G. W. Long // Journal of Engineering for Industry. – 1968. – T. 90. – No. 2. – P. 330-334.
30. Штейнберг В.С. Исследование вибраций при токарной обработке металлов / В.С. Штейнберг // Вестник металлопромышленности, 1936. – №12–13. – С. 83-87.
31. Дроздов Н.А. К вопросу о вибрациях при токарной обработке / Н.А. Дроздов // Станки и инструмент, 1937. – С. 10-17.
32. Piispanen V. Theory of chip formation / V. Piispanen // Teknillinen Aikauslenti, 1937. – T. 27. – P. 315-322.
33. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании металла / А.И. Каширин. – Л.: Изд-во АН СССР, 1944. – 133 с.
34. Merchant M.E. Basic mechanics of the metal cutting process / M.E. Merchant // Journal of Applied Mechanics. – 1944. – T. 11. – P. 168-175.

35. Кудинов В.А. Теория вибраций при резании (трении) / В.А. Кудинов // Передовая технология машиностроения: сб. научн. тр. – М.: АН СССР, 1955. – С.631-643.
36. Hartung P.D. Tool wear in titanium machining / P.D. Hartung, B.M. Kramer // Annals of CIRP, 1982. – Vol. 32 (1). – P. 75-80.
37. Min W. Diffusion wear in milling titanium alloys / W. Min, Z. Youzhen // Materials and Science Technology, 1988. – Vol. 4. – P. 548-553.
38. Macdougall D.A.S. A constitutive relation and failure criterion for Ti6Al4V alloy at impact rates of strain / D.A.S. Macdougall and J. Harding // Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1999. – Vol. 47. – P. 1157-1185.
39. Lee W.S. High-temperature deformation behaviour of Ti6Al4V alloy evaluated by high strain-rate compression tests / W.S. Lee, C.F. Lin // Journal of Materials Processing Technology, 1998. – Vol. 75 (1-3). – P. 127-136.
40. Wang Z.G. A hybrid cutting force model for high-speed milling of titanium alloys / Z.G. Wang, M. Rahman, Y.S. Wong, X.P. Li // CIRP Annals Manufacturing Technology, 2005. – Vol. 54. – No. 1. – P. 71-74.
41. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя Т2. / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 652 с.
42. Проникова А.С. Металлорежущие станки и автоматы / под ред. Проникова А.С. – М.: Машиностроение, 1981. – 308 с.
43. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Двигуни та енергетичні установи літальних апаратів» (7.100102) усіх форм навчання. / Склали: Яценко В.К., Ципак В.І., Коренєвський Е.Я., Гончар Н.В., Пухільська Г.В., Каліуш В.І., Савчук Н.О. – Запоріжжя, ЗДТУ, 2000. – 177 с.
44. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм

навчання /укл. В.І. Шмирко, О.В. Коробко, А.Є. Островська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011.

45. Стеблюк, М.І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст]: підручник. – К.: Знання-Прес, 2007. – 487 с.

46. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

47. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

48. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 / МЮУ 25.04.2018 р. за № 508/31960 <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18/conv>.

ДОДАТОК А

Програмний код NX-plugin'у

Option Strict Off

Imports System

Imports System.Windows

Imports NXOpen

Imports NXOpen.BlockStyler

Imports WpfApp1

Public Class Kristina

'class members

Private Shared theSession As Session

Private Shared theUI As UI

Private theDlxFileName As String

Private theDialog As NXOpen.BlockStyler.BlockDialog

Private group0 As NXOpen.BlockStyler.Group ' Block type: Group

Private enum0 As NXOpen.BlockStyler Enumeration ' Block type: Enumeration

Private face_select0 As NXOpen.BlockStyler.FaceCollector ' Block type: Face
Collector

Private enum01 As NXOpen.BlockStyler Enumeration ' Block type: Enumeration

Private separator0 As NXOpen.BlockStyler.Separator ' Block type: Separator

Private label0 As NXOpen.BlockStyler.Label ' Block type: Label

Private toggle0 As NXOpen.BlockStyler.Toggle ' Block type: Toggle

Private double0 As NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock ' Block type: Double

Private double01 As NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock ' Block type: Double

Private double02 As NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock ' Block type: Double

Private separator01 As NXOpen.BlockStyler.Separator ' Block type: Separator

Private label01 As NXOpen.BlockStyler.Label ' Block type: Label

Private nativeFileBrowser0 As NXOpen.BlockStyler.FileSelection ' Block type:
NativeFileBrowser

'Bit Option for Property: EntityType

Public Shared ReadOnly EntityType_AllowFaces As Integer = 16

Public Shared ReadOnly EntityType_AllowDatums As Integer = 32

Public Shared ReadOnly EntityType_AllowBodies As Integer = 64

'Bit Option for Property: FaceRules

Public Shared ReadOnly FaceRules_SingleFace As Integer = 1

Public Shared ReadOnly FaceRules_RegionFaces As Integer = 2

Public Shared ReadOnly FaceRules_TangentFaces As Integer = 4

Public Shared ReadOnly FaceRules_TangentRegionFaces As Integer = 8

Public Shared ReadOnly FaceRules_BodyFaces As Integer = 16

Public Shared ReadOnly FaceRules_FeatureFaces As Integer = 32

Public Shared ReadOnly FaceRules_AdjacentFaces As Integer = 64

Public Shared ReadOnly FaceRules_ConnectedBlendFaces As Integer = 128

Public Shared ReadOnly FaceRules_AllBlendFaces As Integer = 256

Public Shared ReadOnly FaceRules_RibFaces As Integer = 512

Public Shared ReadOnly FaceRules_SlotFaces As Integer = 1024

Public Shared ReadOnly FaceRules_BossandPocketFaces As Integer = 2048

Public Shared ReadOnly FaceRules_MergedRibFaces As Integer = 4096

Public Shared ReadOnly FaceRules_RegionBoundaryFaces As Integer = 8192

Public Shared ReadOnly FaceRules_FaceandAdjacentFaces As Integer = 16384

#Region "Block Styler Dialog Designer generator code"

'Constructor for NX Styler class

Public Sub New()

Try

 theSession = Session.GetSession()

 theUI = UI.GetUI()

 theDlxFileName = "Kristina.dlx"

 theDialog = theUI.CreateDialog(theDlxFileName)

 theDialog.AddApplyHandler(AddressOf apply_cb)

 theDialog.AddOkHandler(AddressOf ok_cb)

```

    theDialog.AddUpdateHandler(AddressOf update_cb)
    theDialog.AddInitializeHandler(AddressOf initialize_cb)
    theDialog.AddDialogShownHandler(AddressOf dialogShown_cb)
Catch ex As Exception
    '---- Enter your exception handling code here ----
    Throw ex
End Try
End Sub
#End Region

Public Shared Sub Main()
    Dim theKristina As Kristina = Nothing
    Try
        theKristina = New Kristina()
        ' The following method shows the dialog immediately
        theKristina.Show()
    Catch ex As Exception
        '---- Enter your exception handling code here ----
        theUI.NXMessageBox.Show("BlockStyler",NXMessageBox.DialogType.Error,
ex.ToString)
    Finally
        If theKristina IsNot Nothing Then
            theKristina.Dispose()
            theKristina = Nothing
        End If
    End Try
End Sub

Public Shared Function GetUnloadOption(ByVal arg As String) As Integer
    'Return CType(Session.LibraryUnloadOption.Explicitly, Integer)
    Return CType(Session.LibraryUnloadOption.Immediately, Integer)
    ' Return CType(Session.LibraryUnloadOption.AtTermination, Integer)

```

End Function

' Following method cleanup any housekeeping chores that may be needed.

' This method is automatically called by NX.

Public Shared Sub UnloadLibrary(ByVal arg As String)

Try

Catch ex As Exception

'---- Enter your exception handling code here ----

theUI.NXMessageBox.Show("BlockStyler",NXMessageBox.DialogType.Error,
ex.ToString)

End Try

End Sub

'This method shows the dialog on the screen

Public Sub Show()

Try

theDialog.Show()

Catch ex As Exception

theUI.NXMessageBox.Show("BlockStyler",NXMessageBox.DialogType.Error,
ex.ToString)

End Try

End Sub

'Method Name: Dispose

Public Sub Dispose()

If theDialog IsNot Nothing Then

theDialog.Dispose()

theDialog = Nothing

End If

End Sub

Public Sub initialize_cb()

Try

```

        group0          =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("group0"),
NXOpen.BlockStyler.Group)
        enum0           =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("enum0"),
NXOpen.BlockStyler.Enumeration)
        face_select0    =    CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("face_select0"),
NXOpen.BlockStyler.FaceCollector)
        enum01          =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("enum01"),
NXOpen.BlockStyler.Enumeration)
        separator0      =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("separator0"),
NXOpen.BlockStyler.Separator)
        label0          =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("label0"),
NXOpen.BlockStyler.Label)
        toggle0         =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("toggle0"),
NXOpen.BlockStyler.Toggle)
        double0         =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("double0"),
NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock)
        double01        =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("double01"),
NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock)
        double02        =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("double02"),
NXOpen.BlockStyler.DoubleBlock)
        separator01     =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("separator01"),
NXOpen.BlockStyler.Separator)
        label01         =          CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("label01"),
NXOpen.BlockStyler.Label)
        nativeFileBrowser0                                     =
CType(theDialog.TopBlock.FindBlock("nativeFileBrowser0"),NXOpen.BlockStyler.
FileSelection)
        Catch ex As Exception
theUI.NXMessageBox.Show("BlockStyler",NXMessageBox.DialogType.Error,
ex.ToString)

```

```

End Try
End Sub
Public Sub dialogShown_cb()
    Try
        double0.Show = False
        double01.Show = False
        double02.Show = False
        nativeFileBrowser0.Filter = ".frf"
    Catch ex As Exception
        theUI.NXMessageBox.Show("BlockStyler",NXMessageBox.DialogType.Error,
ex.ToString)
    End Try
End Sub
'Callback Name: apply_cb
Public Function apply_cb() As Integer
    Dim errorCode As Integer = 0
    Try
        Dim workPart As Part = theSession.Parts.Work
        Dim diam As Integer
        Dim TeethNumber As Integer
        Dim SelectedMaterial As String = enum0.ValueAsString
        Dim SelectedTool As String = enum01.ValueAsString
        Dim Stiffness As Double = double0.Value
        Dim Damping As Double = double01.Value
        Dim Frequency As Double = double02.Value
        'set tool diametr and number of teeth
        If SelectedTool = "Squere End Mill D16 Z5" Then
            diam = 16
            TeethNumber = 5
        ElseIf SelectedTool = "Squere End Mill D20 Z6" Then

```

```

    diam = 20
    TeethNumber = 6
ElseIf SelectedTool = "Square End Mill D12 Z4" Then
    diam = 12
    TeethNumber = 4
End If
If toggle0.Value = True Then
    ' constructor params: diameter, radial depth of cut, teeth number,
    ' stiffness, damping, natural frequency, material
    Dim view As Window = New MainWindow(diam, diam * 0.75,
TeethNumber, Stiffness,
        Damping, Frequency, SelectedMaterial)
    view.ShowDialog()
Else
    Dim filename As String =
nativeFileBrowser0.GetProperties().GetString("Path")
    Dim view As Window = New FrfWindow(filename)
    view.ShowDialog()
    Dim viewChart As Window = New MainWindow(diam, diam * 0.75,
TeethNumber, filename, SelectedMaterial)
    viewChart.ShowDialog()
End If
'getting faces/edges
Dim i As Integer
Dim one(10) As Point3d
Dim two(10) As Point3d
For Each tempObj As TaggedObject In face_select0.GetSelectedObjects
    Dim tempFace As Face = CType(tempObj, Face)
    For Each tempEdg As Edge In tempFace.GetEdges
        tempEdg.GetVertices(one(i), two(i))
    
```

```

        i = i + 1
    Next
    tempFace.GetEdges()
Next
'getting points
Dim A As Point3d
Dim B As Point3d
Dim C As New Point3d
Dim D As Point3d
Dim maxX(2) As Point3d
Dim minX(2) As Point3d
Dim indMax As Integer = 0
Dim indMin As Integer = 0
'x axis
If two(0).X >= two(1).X And two(0).X >= two(2).X And two(0).X >=
two(3).X Then
    maxX(indMax) = two(0)
    indMax = +1
Else
    minX(indMin) = two(0)
    indMin = +1
End I
If two(1).X >= two(0).X And two(1).X >= two(2).X And two(1).X >=
two(3).X Then
    maxX(indMax) = two(1)
    indMax = +1
Else
    minX(indMin) = two(1)
    indMin = +1
End I

```

If two(2).X >= two(0).X And two(2).X >= two(1).X And two(2).X >= two(3).X Then

maxX(indMax) = two(2)

indMax = +1

Else

minX(indMin) = two(2)

indMin = +1

End If

If two(3).X >= two(0).X And two(3).X >= two(2).X And two(3).X >= two(1).X Then

maxX(indMax) = two(3)

indMax = +1

Else

minX(indMin) = two(3)

indMin = +1

End If

'y axis

Dim maxY(2) As Point3d

Dim minY(2) As Point3d

Dim indMaxY As Integer = 0

Dim indMinY As Integer = 0

If two(0).Y >= two(1).Y And two(0).Y >= two(2).Y And two(0).Y >= two(3).Y Then

maxY(indMaxY) = two(0)

indMaxY = +1

Else

minY(indMinY) = two(0)

indMinY = +1

End If

If two(1).Y >= two(0).Y And two(1).Y >= two(2).Y And two(1).Y >= two(3).Y Then

maxY(indMaxY) = two(1)

indMaxY = +1

Else

minY(indMinY) = two(1)

indMinY = +1

End If

If two(2).Y >= two(0).Y And two(2).Y >= two(1).Y And two(2).Y >= two(3).Y Then

maxY(indMaxY) = two(2)

indMaxY = +1

Else

minY(indMinY) = two(2)

indMinY = +1

End If

If two(3).Y >= two(0).Y And two(3).Y >= two(2).Y And two(3).Y >= two(1).Y Then

maxY(indMaxY) = two(3)

indMaxY = +1

Else

minX(indMinY) = two(3)

indMinY = +1

End If

'point A

If minX(0).X = maxY(0).X And minX(0).Y = maxY(0).Y Then

A = minX(0)

End If

If minX(1).X = maxY(1).X And minX(1).Y = maxY(1).Y Then

A = minX(1)

End If

If $\min X(0).X = \max Y(1).X$ And $\min X(0).Y = \max Y(1).Y$ Then

$A = \min X(0)$

End If

If $\min X(1).X = \max Y(0).X$ And $\min X(1).Y = \max Y(0).Y$ Then

$A = \min X(1)$

End If

'point B

If $\min X(0).X = \min Y(0).X$ And $\min X(0).Y = \min Y(0).Y$ Then

$B = \min X(0)$

End If

If $\min X(1).X = \min Y(1).X$ And $\min X(1).Y = \min Y(1).Y$ Then

$B = \min X(1)$

End If

If $\min X(0).X = \min Y(1).X$ And $\min X(0).Y = \min Y(1).Y$ Then

$B = \min X(0)$

End If

If $\min X(1).X = \min Y(0).X$ And $\min X(1).Y = \min Y(0).Y$ Then

$\min X(1) = B$

End If

'point C

If $\max X(0).X = \min Y(0).X$ And $\max X(0).Y = \min Y(0).Y$ Then

$C = \max X(0)$

End If

If $\max X(1).X = \min Y(1).X$ And $\max X(1).Y = \min Y(1).Y$ Then

$C = \max X(1)$

End If

If $\max X(0).X = \min Y(1).X$ And $\max X(0).Y = \min Y(1).Y$ Then

$C = \max X(0)$

End If

```

If maxX(1).X = minY(0).X And maxX(1).Y = minY(0).Y Then
    C = maxX(1)
End If
'point D
If maxX(0).X = maxY(0).X And maxX(0).Y = maxY(0).Y Then
    D = maxX(0)
End If
If maxX(1).X = maxY(1).X And maxX(1).Y = maxY(1).Y Then
    D = maxX(1)
End If
If maxX(0).X = maxY(1).X And maxX(0).Y = maxY(1).Y Then
    D = maxX(0)
End If
If maxX(1).X = maxY(0).X And maxX(1).Y = maxY(0).Y Then
    D = maxX(1)
End If
Dim EndTr As Double
Dim EndTr1 As Double
Dim index As Integer = 0
Dim k As Integer = 1
Dim kk As Double
If SelectedMaterial = "Titanium." Then
'end cutting variable
    Dim EC1 As Point3d
    Dim EC2 As Point3d
    Dim lEC As NXOpen.Line
    Dim lEC2 As NXOpen.Line
    Dim q As Integer
    q = 20
    Dim q1 As Integer

```

```

q1 = 3
Dim q2 As Integer
q2 = 3
'Building trajectory
'begin cutting
Dim pt333 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z +
q)
Dim pt33 As New Point3d(C.X + (1.5 * diam), C.Y + (1.5 * diam), C.Z +
q1)
Dim l111 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt33, pt333)
Dim pt44 As New Point3d(C.X, C.Y + (0.2 * diam), C.Z + q1)
Dim l11 As NXOpen.Line = workPart.Curves.CreateLine(pt33, pt44)
l11.SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S11 As New Point3d(C.X, C.Y + (0.2 * diam), C.Z + q1)
Dim F11 As New Point3d(C.X - (0.2 * diam), C.Y, C.Z + q1)
Dim centr11 As New Point3d(C.X - (0.365 * diam), C.Y + (0.365 * diam),
End If
Dim pt3 As New Point3d(C.X - (0.2 * diam) - kk + ((diam / 2 * psi)),
C.Y + kk, C.Z + q1)
Dim pt4 As New Point3d(B.X + (0.2 * diam) + kk, B.Y + kk, B.Z + q1)
l(1) = workPart.Curves.CreateLine(pt3, pt4)
l(1).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S1 As New Point3d(B.X + (0.2 * diam) + kk, B.Y + kk, B.Z + q1)
Dim F1 As New Point3d(B.X + kk, B.Y + (0.2 * diam) + kk, B.Z + q1)
Dim centr1 As New Point3d(B.X + (0.365 * diam) + kk, B.Y + (0.365 *
diam) + kk, B.Z + q1)
cur(1) = workPart.Curves.CreateArc(S1, centr1, F1, True, False)
Dim pt5 As New Point3d(B.X + kk, B.Y + (0.2 * diam) + kk, B.Z + q1)
Dim pt6 As New Point3d(A.X + kk, A.Y - (0.2 * diam) - kk, A.Z + q1)
l(2) = workPart.Curves.CreateLine(pt5, pt6)

```

```

l(2).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S2 As New Point3d(A.X + kk, A.Y - (0.2 * diam) - kk, A.Z + q1)
Dim F2 As New Point3d(A.X + (0.2 * diam) + kk, A.Y - kk, A.Z + q1)
Dim centr2 As New Point3d(A.X + (0.365 * diam) + kk, A.Y - (0.365 *
diam) - kk, A.Z + q1)
cur(3) = workPart.Curves.CreateArc(S2, centr2, F2, True, False)
Dim pt7 As New Point3d(A.X + (0.2 * diam) + kk, A.Y - kk, A.Z + q1)
Dim pt8 As New Point3d(D.X - (0.2 * diam) - kk, D.Y - kk, D.Z + q1)
l(3) = workPart.Curves.CreateLine(pt7, pt8)
l(3).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim S3 As New Point3d(D.X - (0.2 * diam) - kk, D.Y - kk, D.Z + q1)
Dim F3 As New Point3d(D.X - kk, D.Y - (0.2 * diam) - kk, D.Z + q1)
Dim centr3 As New Point3d(D.X - (0.365 * diam) - kk, D.Y - (0.365 *
diam) - kk, D.Z + q1)
cur(4) = workPart.Curves.CreateArc(S3, centr3, F3, True, False)
End Try
End Function
End Class

```

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»



Магістерська робота

На тему: «Розробка модуля програми Siemens NX для визначення режимів різання і траєкторії руху інструменту при кінцевому фрезеруванні шляхом розрахунку пелюсткових діаграм сталості»

Виконала: студентка групи М-118м

Керівник: доцент, к.т.н.

Нормоконтролер: доцент

Пасічник К.В.

Гермашев А.І.

Кондратюк Е.В.

Метою магістерської роботи є розробка плагіну, який визначає оптимальні режими різання, скоротить час на розробку управляючої програми та максимально приведе до якісної обробленої поверхні.

Наукова новизна магістерської роботи полягає в тому, що для отримання оптимальних режимів різання для різних обробок не потрібно розраховувати аналітичним методом, весь розрахунок виконує плагін.



Автоматизація виробництва – один з головних напрямів науково-технічного прогресу.

Постановка проблеми: Сучасні САМ-системи не спроможні виводити оптимальні режими різання для отримання якісної обробленої поверхні деталі.



Рішення проблеми: Створення NX-plugin'у. Плагін – (англ. plugin – підключати) – це додаток, незалежно розроблений програмний модуль, що динамічно підключається до вихідної програми, призначений для розширення стандартних можливостей вихідної програми.

Програмне забезпечення



Siemens NX



Microsoft Visual Studio



Siemens NX ведуча
CAD/CAM/CAE система.
в Siemens NX є засоби
розширення
функціональності системи
NX Open.

NX Open – це набір
інструментальних засобів,
які дозволяють гнучко
інтегрувати програмні
додатки користувача з
Siemens NX через
відкриту архітектуру.
Мета у тому, щоб
автоматизувати складні та
повторювані завдання.
Реалізується це за
допомогою створення
плагінів.

Visual Studio

Best-in-class for any developer



Visual Studio
IDE



Visual Studio
Code

Microsoft Visual Studio – серія продукту фірми Майкрософт, яка включає інтегроване середовище розробки програмного забезпечення та ряд інших інструментальних засобів.

Цей продукт дозволяє розробляти як консольні програми, так і програми з графічним інтерфейсом, а також веб-сайти тощо.

Мова програмування



Була вибрана мова Visual Basic.NET, як мова програмування для написання NX-plugin'у.

VB.NET – це мова програмування, що розробляється корпорацією Microsoft. VB поєднує в собі процедури та елементи об'єктно-орієнтованих і компонентно-орієнтованих мов програмування.



Вихідні дані для створення NX-plugin'у:

- 1) Заготовка – пластина (титан BT8) з розмірами 107x110x15 ;
- 2) Ріжучій інструмент – фреза кінцева ($d=16$ мм, $z=5$) з циліндричним хвостовиком, оснащена гвинтовими твердосплавними пластинами BK8;
- 3) Подача на зуб – $S_{зуб}=0,03$ мм/зуб;
- 4) Вид обробки – фрезерування (непривне)
- 5) Верстат – вертикально-фрезерний обробляючий центр Huron CX 5.



Етапи створення NX-plugin'у

- розробка програмного інтерфейсу;
- шаблон коду;
- файл діагностики інструменту;
- перетворення сигналів;
- траєкторія руху різального інструменту.



Розробка програмного інтерфейсу

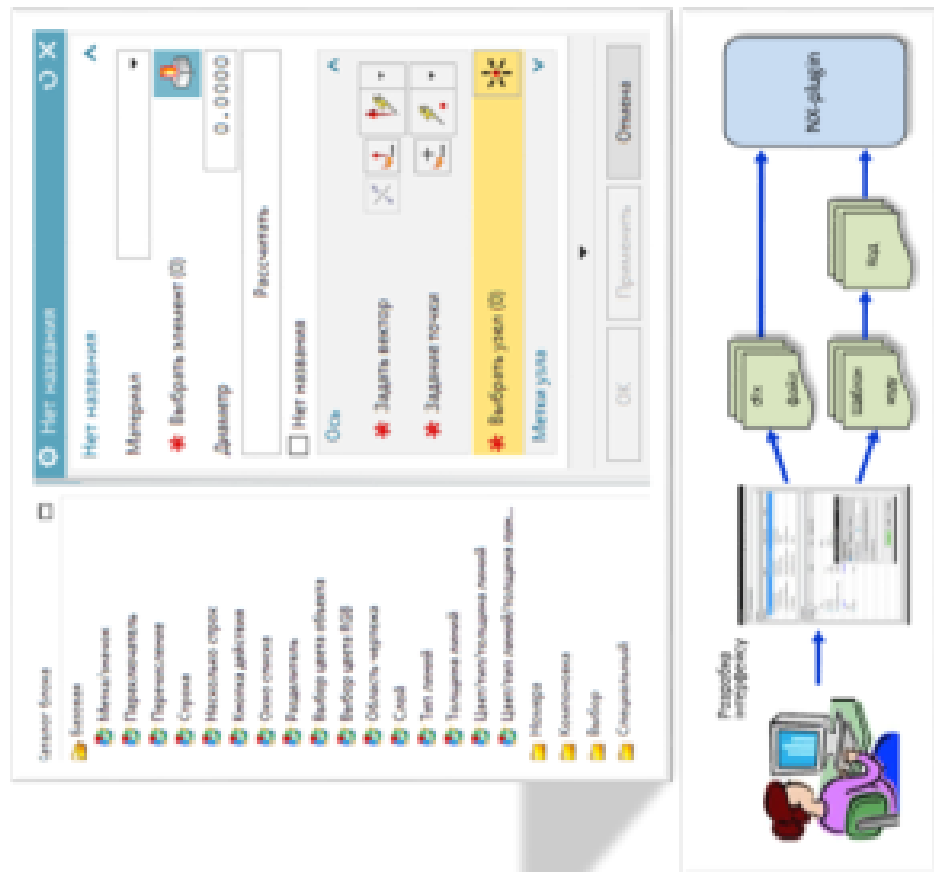
Для розробки необхідне програмне забезпечення – Siemens NX. Весь інтерфейс у програмі Siemens NX побудований на «блоках». Мається на увазі, що ці блоки обираються із внутрішньої колекції елементів діалогу Siemens NX. Було використано інструмент NX Block UI Styler.

Кожен блок має тип і призначення, за допомогою якого і розробляється діалогове вікно.

NX Block UI Styler генерує два файли із розширеннями .vb та .dlx. Використовуючи такі блоки, отримуємо інтерфейс, який буде вести себе однаково з іншими діалогами у Siemens NX.

Файл .vb, міститься код, який включає в себе обрані користувачем блоки інтерфейсу і розміщує їх в логічній послідовності.

Файл із розширенням .dlx містить у собі безпосередньо сам діалог, згенерований у Block UI Styler.

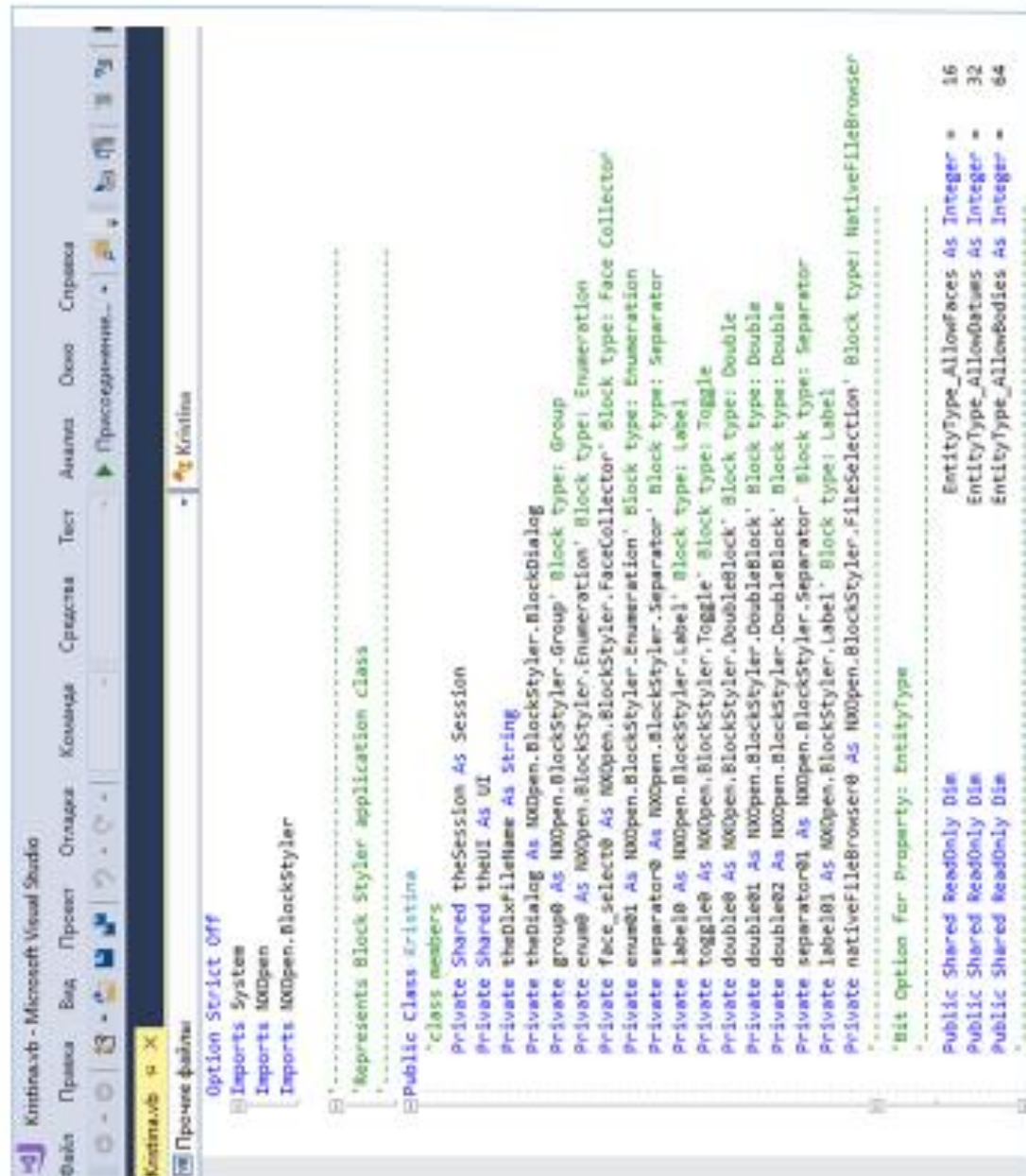


Шаблон коду

Коли зберігається діалог в Block UI Styler, створюється файл Visual Basic, що містить код шаблону.

Вміст файлу .VB буде залежати від параметрів, які користувач обрав в Block UI Styler.

Далі, у коді розташовані події, за допомогою яких код оброблює отримані дані.



Файл діагностики інструменту

Діагностика інструменту дає нам змогу отримати пелюсткову діаграму стійкості. Діагностика проводиться за допомогою традиційного модального аналізу.

При традиційному модальному аналізі створюється контрольоване періодичне збурення певної частоти (вхідний сигнал) і виконується аналіз передавальної функції між ним та вихідним сигналом (відгуком).

Для проведення діагностики фрези для створення вхідного збурення використовується ударний молоток (ударник) із акселерометром ДН-4-М1. У роботі використовується безконтактний спосіб визначення відгуків інструмента. За допомогою ударника та закріплювального на ньому акселерометра здійснюється збудження інструмента.

При збудженні інструменту виникають аналогові сигнали, які проходять через аналого-цифрового перетворювача у цифровому вигляді і записуються у спеціальний файл на персональному комп'ютері.



Рис. 2.3.2. Зображення пелюсткової діаграми стійкості фрези

1. 1.000000e+000	2. 1.012123e+002	3. 4.889113e+000
2. 1.012123e+002	3. 4.889113e+000	4. 1.012123e+002
3. 4.889113e+000	4. 1.012123e+002	5. 1.012123e+002
4. 1.012123e+002	5. 1.012123e+002	6. 1.012123e+002
5. 1.012123e+002	6. 1.012123e+002	7. 1.012123e+002
6. 1.012123e+002	7. 1.012123e+002	8. 1.012123e+002
7. 1.012123e+002	8. 1.012123e+002	9. 1.012123e+002
8. 1.012123e+002	9. 1.012123e+002	10. 1.012123e+002
9. 1.012123e+002	10. 1.012123e+002	11. 1.012123e+002
10. 1.012123e+002	11. 1.012123e+002	12. 1.012123e+002
11. 1.012123e+002	12. 1.012123e+002	13. 1.012123e+002
12. 1.012123e+002	13. 1.012123e+002	14. 1.012123e+002
13. 1.012123e+002	14. 1.012123e+002	15. 1.012123e+002
14. 1.012123e+002	15. 1.012123e+002	16. 1.012123e+002
15. 1.012123e+002	16. 1.012123e+002	17. 1.012123e+002
16. 1.012123e+002	17. 1.012123e+002	18. 1.012123e+002
17. 1.012123e+002	18. 1.012123e+002	19. 1.012123e+002
18. 1.012123e+002	19. 1.012123e+002	20. 1.012123e+002
19. 1.012123e+002	20. 1.012123e+002	21. 1.012123e+002
20. 1.012123e+002	21. 1.012123e+002	22. 1.012123e+002
21. 1.012123e+002	22. 1.012123e+002	23. 1.012123e+002
22. 1.012123e+002	23. 1.012123e+002	24. 1.012123e+002
23. 1.012123e+002	24. 1.012123e+002	25. 1.012123e+002
24. 1.012123e+002	25. 1.012123e+002	26. 1.012123e+002
25. 1.012123e+002	26. 1.012123e+002	27. 1.012123e+002
26. 1.012123e+002	27. 1.012123e+002	28. 1.012123e+002
27. 1.012123e+002	28. 1.012123e+002	29. 1.012123e+002
28. 1.012123e+002	29. 1.012123e+002	30. 1.012123e+002
29. 1.012123e+002	30. 1.012123e+002	31. 1.012123e+002
30. 1.012123e+002	31. 1.012123e+002	32. 1.012123e+002
31. 1.012123e+002	32. 1.012123e+002	33. 1.012123e+002
32. 1.012123e+002	33. 1.012123e+002	34. 1.012123e+002
33. 1.012123e+002	34. 1.012123e+002	35. 1.012123e+002
34. 1.012123e+002	35. 1.012123e+002	36. 1.012123e+002
35. 1.012123e+002	36. 1.012123e+002	37. 1.012123e+002
36. 1.012123e+002	37. 1.012123e+002	38. 1.012123e+002
37. 1.012123e+002	38. 1.012123e+002	39. 1.012123e+002
38. 1.012123e+002	39. 1.012123e+002	40. 1.012123e+002
39. 1.012123e+002	40. 1.012123e+002	41. 1.012123e+002
40. 1.012123e+002	41. 1.012123e+002	42. 1.012123e+002
41. 1.012123e+002	42. 1.012123e+002	43. 1.012123e+002
42. 1.012123e+002	43. 1.012123e+002	44. 1.012123e+002
43. 1.012123e+002	44. 1.012123e+002	45. 1.012123e+002
44. 1.012123e+002	45. 1.012123e+002	46. 1.012123e+002
45. 1.012123e+002	46. 1.012123e+002	47. 1.012123e+002
46. 1.012123e+002	47. 1.012123e+002	48. 1.012123e+002
47. 1.012123e+002	48. 1.012123e+002	49. 1.012123e+002
48. 1.012123e+002	49. 1.012123e+002	50. 1.012123e+002
49. 1.012123e+002	50. 1.012123e+002	51. 1.012123e+002
50. 1.012123e+002	51. 1.012123e+002	52. 1.012123e+002
51. 1.012123e+002	52. 1.012123e+002	53. 1.012123e+002
52. 1.012123e+002	53. 1.012123e+002	54. 1.012123e+002
53. 1.012123e+002	54. 1.012123e+002	55. 1.012123e+002
54. 1.012123e+002	55. 1.012123e+002	56. 1.012123e+002
55. 1.012123e+002	56. 1.012123e+002	57. 1.012123e+002
56. 1.012123e+002	57. 1.012123e+002	58. 1.012123e+002
57. 1.012123e+002	58. 1.012123e+002	59. 1.012123e+002
58. 1.012123e+002	59. 1.012123e+002	60. 1.012123e+002
59. 1.012123e+002	60. 1.012123e+002	61. 1.012123e+002
60. 1.012123e+002	61. 1.012123e+002	62. 1.012123e+002
61. 1.012123e+002	62. 1.012123e+002	63. 1.012123e+002
62. 1.012123e+002	63. 1.012123e+002	64. 1.012123e+002
63. 1.012123e+002	64. 1.012123e+002	65. 1.012123e+002
64. 1.012123e+002	65. 1.012123e+002	66. 1.012123e+002
65. 1.012123e+002	66. 1.012123e+002	67. 1.012123e+002
66. 1.012123e+002	67. 1.012123e+002	68. 1.012123e+002
67. 1.012123e+002	68. 1.012123e+002	69. 1.012123e+002
68. 1.012123e+002	69. 1.012123e+002	70. 1.012123e+002
69. 1.012123e+002	70. 1.012123e+002	71. 1.012123e+002
70. 1.012123e+002	71. 1.012123e+002	72. 1.012123e+002
71. 1.012123e+002	72. 1.012123e+002	73. 1.012123e+002
72. 1.012123e+002	73. 1.012123e+002	74. 1.012123e+002
73. 1.012123e+002	74. 1.012123e+002	75. 1.012123e+002
74. 1.012123e+002	75. 1.012123e+002	76. 1.012123e+002
75. 1.012123e+002	76. 1.012123e+002	77. 1.012123e+002
76. 1.012123e+002	77. 1.012123e+002	78. 1.012123e+002
77. 1.012123e+002	78. 1.012123e+002	79. 1.012123e+002
78. 1.012123e+002	79. 1.012123e+002	80. 1.012123e+002
79. 1.012123e+002	80. 1.012123e+002	81. 1.012123e+002
80. 1.012123e+002	81. 1.012123e+002	82. 1.012123e+002
81. 1.012123e+002	82. 1.012123e+002	83. 1.012123e+002
82. 1.012123e+002	83. 1.012123e+002	84. 1.012123e+002
83. 1.012123e+002	84. 1.012123e+002	85. 1.012123e+002
84. 1.012123e+002	85. 1.012123e+002	86. 1.012123e+002
85. 1.012123e+002	86. 1.012123e+002	87. 1.012123e+002
86. 1.012123e+002	87. 1.012123e+002	88. 1.012123e+002
87. 1.012123e+002	88. 1.012123e+002	89. 1.012123e+002
88. 1.012123e+002	89. 1.012123e+002	90. 1.012123e+002
89. 1.012123e+002	90. 1.012123e+002	91. 1.012123e+002
90. 1.012123e+002	91. 1.012123e+002	92. 1.012123e+002
91. 1.012123e+002	92. 1.012123e+002	93. 1.012123e+002
92. 1.012123e+002	93. 1.012123e+002	94. 1.012123e+002
93. 1.012123e+002	94. 1.012123e+002	95. 1.012123e+002
94. 1.012123e+002	95. 1.012123e+002	96. 1.012123e+002
95. 1.012123e+002	96. 1.012123e+002	97. 1.012123e+002
96. 1.012123e+002	97. 1.012123e+002	98. 1.012123e+002
97. 1.012123e+002	98. 1.012123e+002	99. 1.012123e+002
98. 1.012123e+002	99. 1.012123e+002	100. 1.012123e+002

a)

```
// Read each line of the file into a string array, each element
// of the array is one line of the file.
string[] lines = System.IO.File.ReadAllLines(@"C:\Users\W1stina\Downloads\y_axis_Channel_1_OH1.fr1");

// l = lines.Length

// Display the file contents by using a foreach loop.
System.Console.WriteLine("Contents of y_axis_Channel_1_OH1.fr1");
foreach (string line in lines)
{
    // Use a tab to indent each line of the file.
    //line.Indent("\t")
    Console.WriteLine("\t" + line);
}

// Keep the console window open in debug mode.
Console.WriteLine("Press any key to exit.");
System.Console.ReadKey();
```

b)



B)

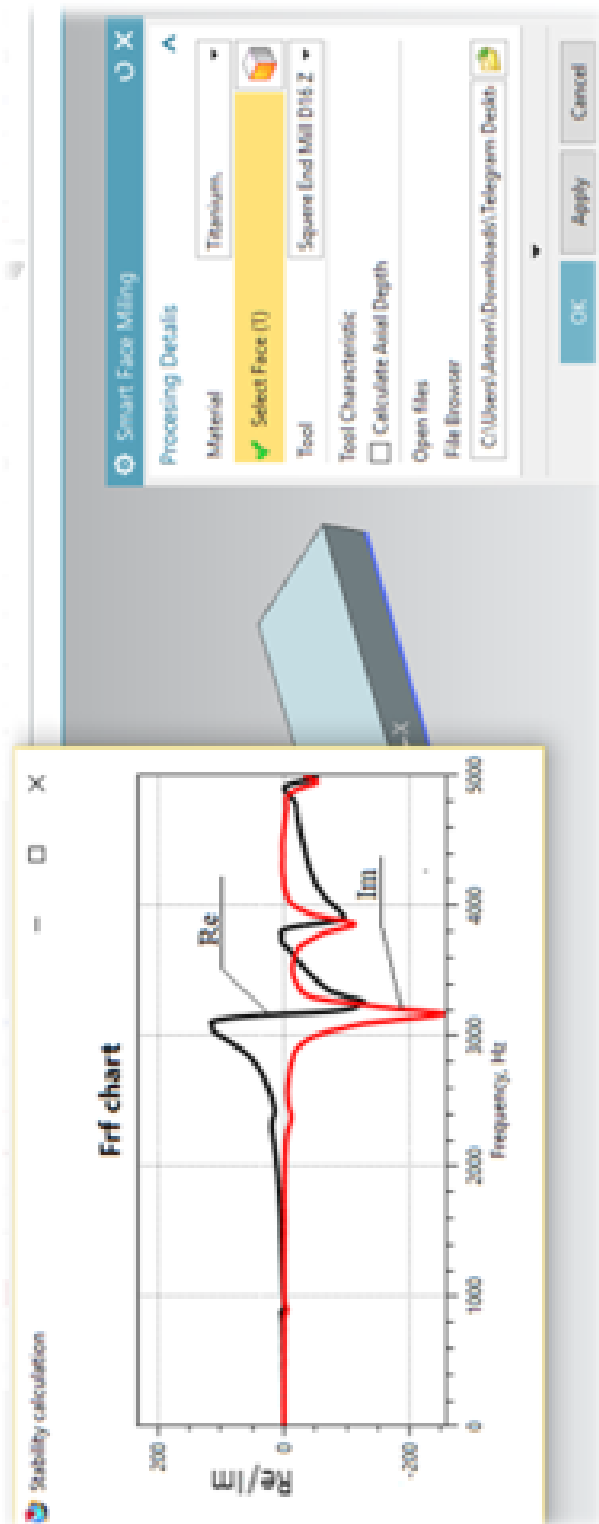
r)



Перетворення сигналів

Довільні коливання репрезентуються у вигляді суперпозиції декількох гармонічних синусоїдальних коливань з різними амплітудами та періодами.

Перетворення сигналів в частотну функцію файлу даних діагностики інструменту виконується за допомогою коду у програмному середовищі Microsoft Visual Studio, де вже програма сама будувє спектр сигналу у частотній області та визначає домінуючі в ньому гармоніки.



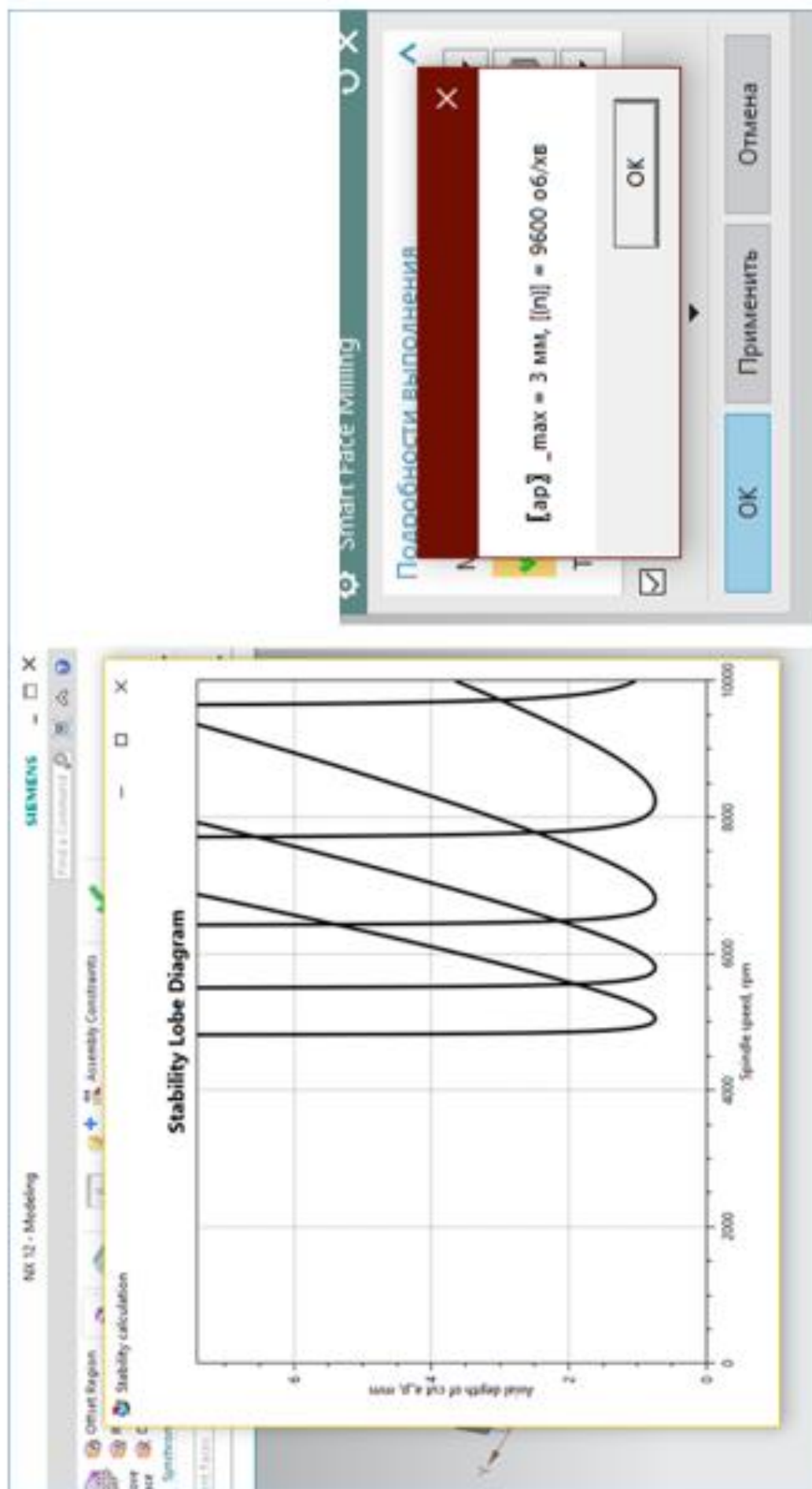
Im – уявна частина; Re – дійсна частина; Frequency – частота.

Діаграма стійкості

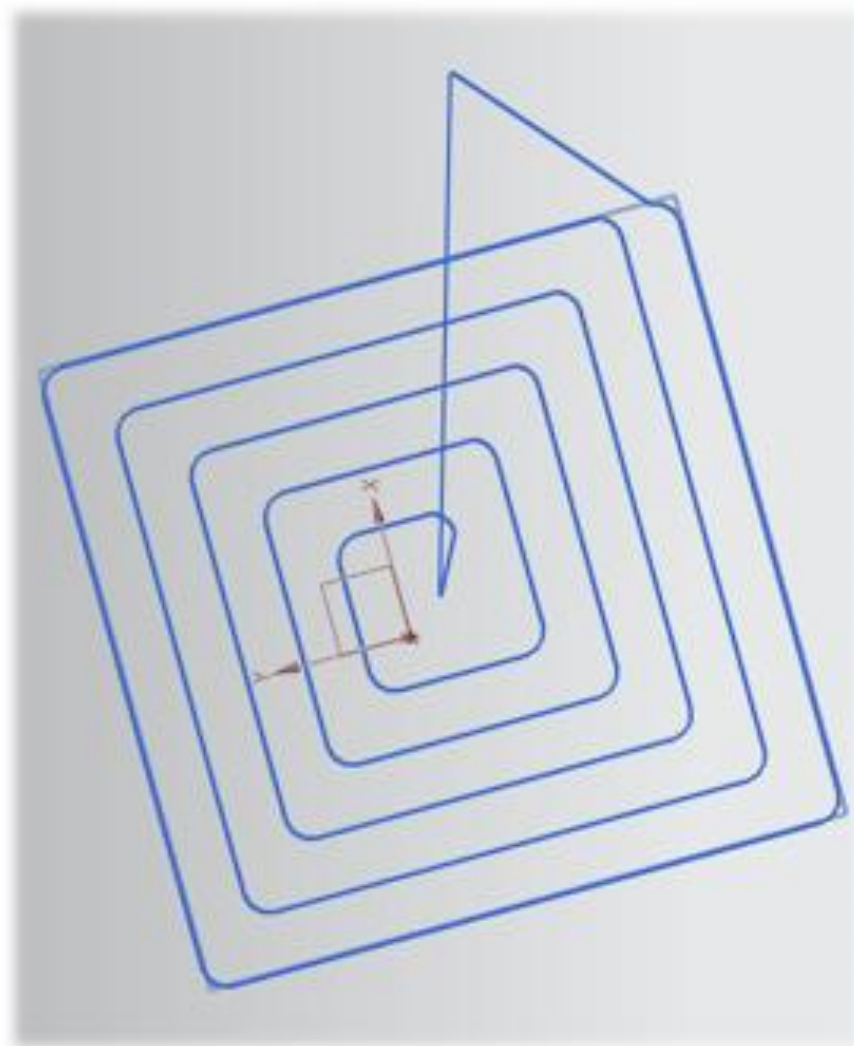
NX-plugin розраховує діаграму стійкості методом повної дискретизації. Плагін вже автоматично розраховує повну дискретизацію в матричній формі. На основі діаграми стійкості визначається оптимальна (найбільша) осьова глибина різання при максимальних оборотах шпинделя. Діапазон частот обертання шпинделя визначається NX-plugin'ом від характеристики верстата. Для даних умов програма визначила максимальну осьову глибину ($ap_{max} = 3 \text{ мм}$) та максимальні обертання шпинделя ($n = 9600 \text{ об/хв}$). Допустиме обертання шпинделя на версаті Nuhon CX 5, $n=10000 \text{ об/хв}$.

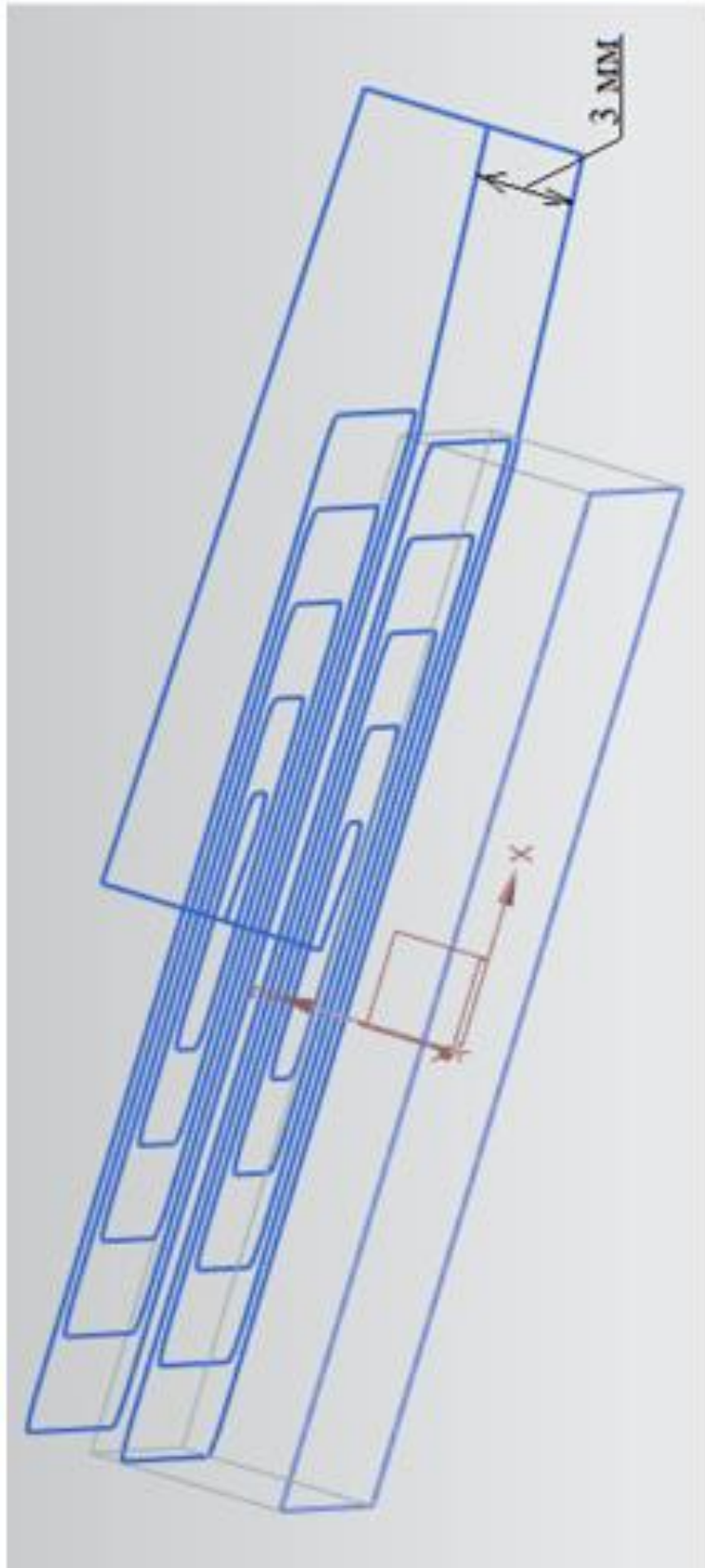


$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{m-1} \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{j+1} \\ y_{j+2} \\ y_{j+3} \\ y_{j+m+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{j+1} \\ y_{j+2} \\ y_{j+3} \\ y_{j+m+1} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} (e^{L\Delta t} - I) L^* R \begin{bmatrix} y_{j+1} \\ y_{j+2} \\ y_{j+3} \\ y_{j+m+1} \end{bmatrix}$$



Траєкторія руху різального інструменту





Частина коду траєкторії руху інструменту

```

Main\Windows\cam\10
MyProgram.vb' a X
- apply_cb

300 %
- apply

kk = ((diam / 2) * Index)
Dim l(20) As Integer, Line
Dim cur(20) As Integer, Arc
If Index = 0 Then
    psi = 0
Elseif Index > 0 Then
    psi = 1
End If
Dim pt3 As New Point3d((C.X - (0.2 * diam) - kk + ((diam / 2 * psi)), C.Y + kk, C.Z + q1)
Dim pt4 As New Point3d((B.X + (0.2 * diam) + kk, B.Y + kk, B.Z + q1)
l(1) = WorkPart.Curves.CreateLine(pt3, pt4)
l(1).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim s1 As New Point3d((B.X + (0.2 * diam) + kk, B.Y + kk, B.Z + q1)
Dim f1 As New Point3d((B.X + kk, B.Y + (0.2 * diam) + kk, B.Z + q1)
Dim center1 As New Point3d((B.X + (0.365 * diam) + kk, B.Y + (0.365 * diam) + kk, B.Z + q1)
cur(1) = WorkPart.Curves.CreateArc(s1, center1, f1, True, False)
Dim pt5 As New Point3d((B.X + kk, B.Y + (0.2 * diam) + kk, B.Z + q1)
Dim pt6 As New Point3d((A.X + kk, A.Y - (0.2 * diam) - kk, A.Z + q1)
l(2) = WorkPart.Curves.CreateLine(pt5, pt6)
l(2).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim s2 As New Point3d((A.X + kk, A.Y - (0.2 * diam) - kk, A.Z + q1)
Dim f2 As New Point3d((A.X + (0.2 * diam) + kk, A.Y - kk, A.Z + q1)
Dim center2 As New Point3d((A.X + (0.365 * diam) + kk, A.Y - (0.365 * diam) - kk, A.Z + q1)
cur(3) = WorkPart.Curves.CreateArc(s2, center2, f2, True, False)
Dim pt7 As New Point3d((A.X + (0.2 * diam) + kk, A.Y - kk, A.Z + q1)
Dim pt8 As New Point3d((D.X - (0.2 * diam) - kk, D.Y - kk, D.Z + q1)
l(3) = WorkPart.Curves.CreateLine(pt7, pt8)
l(3).SetVisibility(SmartObject.VisibilityOption.Visible)
Dim s3 As New Point3d((D.X - (0.2 * diam) - kk, D.Y - kk, D.Z + q1)
Dim f3 As New Point3d((D.X - kk, D.Y - (0.2 * diam) - kk, D.Z + q1)
Dim center3 As New Point3d((D.X - (0.365 * diam) - kk, D.Y - (0.365 * diam) - kk, D.Z + q1)
cur(4) = WorkPart.Curves.CreateArc(s3, center3, f3, True, False)
Dim pt9 As New Point3d((D.X - kk, D.Y - (0.2 * diam) - kk, D.Z + q1)
Dim off As New Point3d((C.X - kk, C.Y + (0.2 * diam) + kk + 1.35, C.Z + q1)
l(4) = WorkPart.Curves.CreateLine(pt9, off)

```

Висновки

Виходячи з усього вищезазначеного, можна зробити висновок, що за допомогою розробленого плагіну можливо не тільки скоротити час на розробку управляючої програми, але і підібрати оптимальні режими різання, що в свою чергу, дозволить використовувати ресурс різального інструменту максимально ефективно та отримати якісну поверхню.

