МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Оптимізація технологічних параметрів виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК»**

Виконав: студент VI курсу групи Маш-62

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Роман ВІЛЬЧИНСЬКИЙ
(Ім'я та прізвище)

Керівник: Сергій БАРАНОВИЧ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)
д.т.н., професор Власовець В.М.
“28” квітня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Вільчинському Роману Андрійовичу

1. Тема роботи: «Оптимізація технологічних параметрів виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК»

Керівник роботи: *Баранович Сергій Миколайович*, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 6.12.2024 року

3. Вихідні дані: *Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва типових деталей; матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити:
1. Аналіз стану виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК;
2. Обгрунтування методів підвищення ефективності роботи на фрезерному верстаті з ЧПК;
3. Підвищення ефективності виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК;
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;

5. Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі;
Висновки і пропозиції;
Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:
Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Баранович С.М. к.т.н., доцент кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	*Виконання розділу: «Аналіз стану виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК»*	*12.09.24-26.09.24*	
2.	*Виконання другого розділу: «Обгрунтування методів підвищення ефективності роботи на фрезерному верстаті з ЧПК»*	*27.09.24-15.10.24*	
3.	*Виконання розділу: «Підвищення ефективності виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК»*	*16.10.24-28.10.24*	
4.	*Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»*	*29.10.24-11.11.24*	
5.	*Виконання розділу: «Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі»*	*12.11.24-22.11.24*	
6.	*Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому*	*25.11.24-6.12.24*	

Студент _____ Роман ВІЛЬЧИНСЬКИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Сергій БАРАНОВИЧ
(підпис)

УДК 330.341:621

Оптимізація технологічних параметрів виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК.

Вільчинський Роман Андрійович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 76с. текст. част., 16 рис., 3 табл., 18 джерел.

У даній кваліфікаційній роботі проаналізовано літературні джерела та здійснено огляд існуючих фрезерних металообробних верстатів, що застосовуються для виготовлення корпусноих деталей різної конфігурації. Наведено фрезерниі верстати з ЧПК і принцип їх роботи.

Проведені дослідження для визначення ефективності виготовлення деталі на верстатах з ручним та числовим програмним керуванням.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні і травматичні ситуації, які можуть виникнути під час роботи на фрезерних металообробних верстатах на підприємствах. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку фінансової ефективності під час виготовлення однієї та тієї ж деталі на двох різних типах верстатів.

ЗМІСТ

		ст.
	Вступ	7
	Розділ 1. Аналіз стану виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК	9
1.1	Процес роботи фрезерних верстатів з ЧПК	9
1.2	Програмування технологічних етапів на фрезерних верстатах з ЧПК	13
1.3	Розрахунки і аналіз під час створення управляючої програми для фрезерного верстата з ЧПК	20
	Розділ 2. Методи підвищення ефективної роботи на фрезерних верстатах з ЧПК	25
2.1	Послідовність виконання робіт на фрезерних верстатах з ЧПК	25
2.2	Послідовність виконання робіт на фрезерних верстатах з ЧПК	26
2.3	Виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК	29
2.3.1	Точність виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК	32
2.3.2	Обробка заготовок на фрезерних верстатах з ЧПК	35
2.4	Контроль якості виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК	40
2.5	Якість виробництва на фрезерних верстатах з ЧПК	41
	Розділ 3. Оптимізація виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК	43
3.1	Процес роботи на фрезерному верстаті з числовим програмним керуванням	43
3.2	Виробництво деталі на фрезерному верстаті з ЧПК	45

3.3	Забезпечення високої якості обробки заготовок на фрезерних верстатах з ЧПК	46
3.4	Підвищення продуктивності роботи фрезерного верстата з ЧПК	49
3.5	Програмування виготовлення деталі на фрезерному верстаті з ЧПК	52
	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	56
4.1	Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій	56
4.2	Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	59
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	62
	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі	71
	Висновки	74
	Бібліографічний список	75

Вступ

На сьогодні верстати з числовим програмним керуванням (CNC або ЧПК) широко застосовуються на різних виробництвах. В умовах дрібносерійного виробництва їх використання складає 70-75% для виготовлення деталей, які використовуються в машинобудуванні та інших галузях.

Основною причиною нестабільності процесу різання є знос ріжучого інструмента з часом, що призводить до зміни його фактичних геометричних параметрів, а також змінюються параметри обробки та жорсткість при різанні оброблюваної деталі. Тому застосування постійних умов та режимів обробки неможливо підтримувати протягом усього процесу обробки деталі за умов нестабільності різання.

Недоліки існуючих методів обробки деталей ускладнюють вирішення задачі покращення процесу виготовлення заготовок та деталей. Ці обмеження підкреслюють важливість дослідження шляхів підвищення ефективності як великого, так і дрібносерійного виробництва за умов використання верстатів ЧПК (CNC) на підприємствах.

Розв'язання цієї проблеми можливе через розробку методів та алгоритмів удосконалення процесів виготовлення заготовок і деталей на верстатах з ЧПК (CNC), що є важливим науково-прикладним напрямком досліджень.

Метою проведення дослідження є розробка алгоритмів і методів для оптимізації та підвищення ефективності роботи на фрезерних верстатах з ЧПК (CNC) у виробничому процесі.

Для досягнення поставленої мети в процесі виробництва необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

1. Дослідження технологічних процесів програмованого виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК;

2. Аналіз можливих технологічних процесів для підвищення ефективності виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК;

3. Оптимізація технологічного процесу виготовлення деталей та підвищення ефективності технології їх виробництва на фрезерних верстатах з ЧПК в цілому;

4. Розробка методів і алгоритмів для підвищення ефективності процесу виготовлення деталей на промислових фрезерних верстатах з ЧПК.

Об'єкт дослідження – системи управління обробкою вхідної та вихідної інформації під час програмування процесів виготовлення деталей на промислових фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням.

Предмет дослідження – алгоритми, методи та програмні моделі, що сприяють підвищенню ефективності процесу виготовлення деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням.

Розділ 1. Аналіз стану виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК

1.1. Процес роботи фрезерних верстатів з ЧПК

У багатосерійне виробництво здебільшого використовують автомати різних типів, зокрема верстати з ЧПК, а також автоматизовані виробничі лінії. Таке обладнання оснащують відповідними пристосуваннями та інструментами для виготовлення продукції. Обладнання розташовують згідно з послідовністю технологічних операцій виробничого процесу. Кожному робочому місцю на виробництві призначають конкретні технологічні операції.

Зміни форми та розмірів деталі, визначені робочими кресленнями та технологічними маршрутами, здійснюються за допомогою виконавчих рухів верстата: основних робочих (головний рух деталі та рух механізмів подачі), а також допоміжних і додаткових рухів. Усі ці рухи на верстаті повинні бути синхронізовані. Узгодженість рухів різних частин верстата досягається завдяки точно визначеній послідовності керуючих команд, що містяться в управляючій програмі.

На універсальних верстатах з ручним керуванням оператор самостійно визначає порядок виконання команд, а також команди для руху робочих елементів верстата, базуючись на робочих кресленнях та іншій технічній документації. Якщо необхідно обробити партію заготовок, оператор виконує повторювані однакові технологічні операції. Крім того, він вимірює розміри деталей, порівнює їх з зазначеними на робочому кресленні та коригує виявлені неточності. Ефективність використання таких верстатів безпосередньо залежить від кваліфікації оператора. Ці верстати є найбільш ефективними в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва.

Для виготовлення виробів необхідних розмірів і форми важливо, щоб усі елементи виробничої системи — верстат, інструмент, пристрій, заготовка (деталь) — мали чіткі та точні зв'язки між собою.

Згідно зі стандартами, визначено такі показники точності:

- точність розмірів, яка забезпечує необхідну відстань між різними частинами деталі;
- відповідність розміщення поверхонь та осей деталей або заготовок, тобто точність розташування елемента відносно заданого положення на робочому кресленні;
- відхилення від форми поверхні, що означає невідповідність фактичної форми поверхні заданим вимогам.

Посадки під розмір вказуються на збірних кресленнях і містять інформацію про тип з'єднань поверхонь, які контактують. Це дозволяє вибрати відповідну технологію зборки та розбирання вузлів.

Фрезерні верстати з ЧПК є сучасним видом обладнання, але це не гарантує значний економічний ефект від їх використання просто шляхом установки будь-якої деталі. В одних випадках ефективність буде високою, в інших — мінімальною, а інколи виробництво на таких центрах може навіть бути збитковим. Економічна ефективність впровадження обробних центрів з ЧПК безпосередньо залежить від правильного підбору деталей. Навіть за умови наявності сучасних моделей обробних центрів, якісного програмного забезпечення та висококваліфікованих кадрів, не можна досягти високого техніко-економічного ефекту, якщо вибір деталей буде невірним.

Великою мірою теорія і практика експлуатації, а також ефективне керування фрезерними верстатами з числовим програмним керуванням, а також розвиток систем програмного управління цими верстатами, стали можливими завдяки внеску вітчизняних та зарубіжних фахівців і вчених. За результатами досліджень, основою сучасних обробних центрів є числове програмне керування, яке забезпечує високу точність та якість виготовлених деталей. Вибір номенклатури виробів є одним з найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва при використанні обробних центрів з ЧПК. Саме зараз з’являються передумови для досягнення максимального економічного ефекту від їх впровадження в виробничі процеси. Одним з

основних критеріїв вибору є ефективність виробництва виробів за умови належного застосування самих фрезерних верстатів.

Основними показниками ефективності є зниження собівартості виготовлення деталей, підвищення продуктивності обробки на верстатах та поліпшення якості виконання деталей. Зазвичай оцінюється кожен з цих параметрів, а також їх взаємне поєднання. При цьому вважається, що обробний центр (верстат) використовується з максимальною ефективністю, тобто його технологічні та конструктивні можливості застосовуються в повному обсязі.

Основуючись на можливостях системи числового управління верстатом та причинно-наслідкових зв'язках, можна сформулювати загальні принципи, яких слід дотримуватися при виборі деталей для обробки за допомогою фрезерних верстатів (обробних центрів) з ЧПК.

За стану більшої концентрації виробництва на фрезерному верстаті (обробному центрі) з ЧПК порівняно з універсальним обладнанням, ефективність використання систем числового керування вища. На звичайних універсальних верстатах для виготовлення деталей середньої складності необхідно виконати близько 20 технологічних операцій. Кожна з них вимагає окремого верстата, спеціального оснащення, ріжучого інструменту та вимірювального обладнання, а також розробки нової операційної карти виробництва. Після кожної технологічної операції заготовку потрібно зняти і заново закріпити на наступному верстаті, що вимагає налаштування і регулювання всіх необхідних вузлів верстата. Це значно збільшує час виготовлення деталей.

Фрезерні верстати з ЧПК значно перевищують універсальні верстати за технічними та технологічними можливостями, що дозволяє зосередити обробку на одній або кількох технологічних операціях. Величину концентрації обробки за заміни універсального верстата на обробний центр з ЧПК можна визначити за допомогою коефіцієнта ефективності. Цей коефіцієнт ефективності розраховується як відношення кількості операцій певного

стандартного виду обробки до кількості операцій, необхідних для виконання технологічного процесу під час використання фрезерного верстата з ЧПК:

$$K_{еф} = \frac{A_б}{A_{ЧПК}} \tag{1.1}$$

Зі збільшенням $K_{еф}$ ефективності технологічно-виробничого процесу трудомісткість виготовлення виробу (деталі) зменшується. Трудомісткість виробництва деталі можна розрахувати за такою формулою:

$$T = \sum_{1}^{A_{ЧПК}} (t_M + t_B + \frac{t_{пз}}{n})i \tag{1.2}$$

де $A_{ЧПК}$ – кількість технологічних операцій;

t_B – допоміжний час технологічних операцій, хв;

t_M – машинний час технологічних операцій, хв;

$t_{пз}$ – підготовчий час технологічних операцій, хв;

n – кількість деталей в партії виробництва.

Час роботи на фрезерному верстаті з ЧПК залишається незмінним або може зменшитися на 20-30% завдяки інтенсифікації технологічних режимів різання на верстатах (обробних центрах) з ЧПК. Допоміжний час включає такі витрати робочого часу на верстаті: управління верстатом, закріплення та зняття заготовки, холості переміщення інструменту, перевірку отриманих розмірів. Час на виробництво зменшується, коли замість ручного керування застосовується автоматичне за допомогою електричних і механічних приладів, гідропневмоапаратури та інших систем. Загалом, допоміжний час при виготовленні деталей скорочується приблизно на 50%.

Підготовчий час для фрезерних верстатів з ЧПК зазвичай становить 45-60 хвилин. З цієї кількості часу, що витрачається на одну деталь, кілька хвилин необхідні для її обробки. При концентрації обробки деталі цей час зменшується відповідно до коефіцієнта ефективності, що в свою чергу призводить до зростання трудомісткості виробничого процесу.

Якщо форма деталі складніша та структура, тим більш ефективним є використання числового керування при її обробці. Складність виготовлення виробу залежить від кількості та форми оброблюваних поверхонь, матеріалу, розмірів, вимог до точності та шорсткості поверхні, а також технологічних умов до деталі. При виборі деталей для обробки на верстатах з числовим керуванням важливо враховувати особливості, зокрема криволінійний профіль поверхні, що вимагає великого числа переходів та проходів при обробці деталі.

Застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) сприяє поліпшенню якості виготовлених деталей, зниженню відсотка браку та зменшенню обсягу слюсарних робіт, що пов'язані з усуненням проблем під час збирання складальних одиниць.

Технологічність конструкції виробу передбачає, що виріб має відповідати своєму призначенню та забезпечувати максимальну простоту виготовлення. Коли для виготовлення деталей використовуються верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), це може висувати додаткові вимоги до конфігурації деталей для досягнення оптимальної технологічності.

1.2. Програмування технологічних етапів на фрезерних верстатах з ЧПК

Процес виготовлення деталей включає послідовні операції, які виконуються на окремих верстатах робітниками. Кожна операція є частиною процесу виготовлення однієї деталі. Особливістю технологічного процесу на верстатах з числовим програмним управлінням є обмежене число операцій у технологічному маршруті, що зумовлено концентрацією обробки та поетапною розробкою технології операцій.

Аналіз початкового технологічного процесу, необхідно оптимізувати, збільшивши кількість операцій, які можна об'єднати в одну. Важливим елементом при розробці технологічного процесу для верстатів з ЧПК є

високий рівень деталізації. Успіх обробки значною мірою залежить від правильного та ефективного вибору траєкторії руху інструменту.

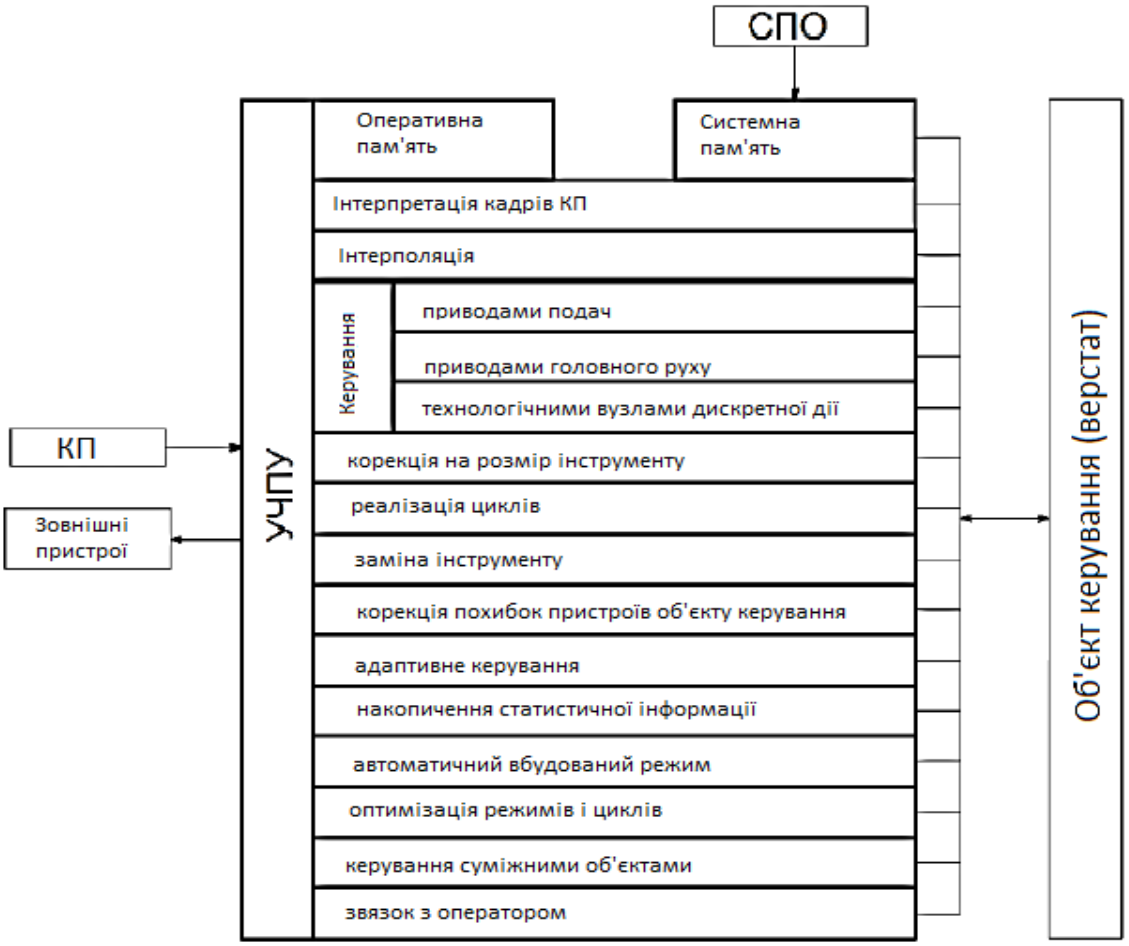

Рисунок. 1.1 – Схема керування фрезерним верстатом з ЧПК.

Для досягнення точності при виготовленні деталей на верстатах з ЧПК використовується метод пробних проходів. Цей метод застосовується під час налаштування верстата на конкретні параметри, коли встановлюють ріжучий інструмент, налаштовують робочі частини верстата та базують елементи пристроїв. Після налаштування інструмент займає таку позицію, яка забезпечує отримання необхідного розміру в межах заданих відхилень під час виготовлення.

Для оптимального налаштування фрезерного верстата перші деталі в партії проходять кілька етапів обробки. Спочатку інструмент зсувається відносно заготовки за допомогою коректорів, після чого проводиться вимірювання деталі. Залежно від результатів вимірювання інструмент

коригується, щоб забезпечити досягнення бажаного результату під час наступної обробки поверхні. Наступні деталі, іноді кілька одночасно, виготовляються в автоматичному режимі, і після вимірювання вносяться додаткові корекції положення інструменту. З часом, коли процес стабілізується, деталі обробляються автоматично, а корекції вносяться періодично, зазвичай за допомогою чистового інструмента.

Аналізуючи технологічний процес доцільно оптимізувати його, об'єднуючи якомога більше операцій в один етап та впроваджуючи цей універсальний процес на фрезерних верстатах з числовим програмним управлінням . Такий підхід дає змогу ефективно виконувати на фрезерному верстаті різноманітні операції, такі як свердління, розвертання, нарізування різьби, зенкування та інші операції.

При створенні траєкторії інструменту на верстатах з числовим програмним управлінням необхідно враховувати різноманітні аспекти технологічного процесу. Це включає визначення оброблюваних поверхонь деталей, розрахунок припусків для кожного етапу обробки, вибір оптимального інструменту, налаштування режимів різання, визначення кількості проходів для кожної поверхні, встановлення початкового положення інструменту та опис його траєкторії руху. Важливим аспектом розробки технологічного процесу для фрезерних верстатів з ЧПК є високий рівень деталізації таких параметрів.

Відхилення під час обробки заготовки залежать від різноманітних чинників. Для всіх типів металообробних верстатів ці відхилення викликані неточністю самого верстата, неправильним розташуванням і закріпленням заготовок, а також помилками при налаштуванні інструменту та верстата на потрібний розмір. Крім того, враховуються відхилення, що виникають через похибки в геометрії та розмірах інструменту, його зношування, а також через теплові деформації інструменту, верстата і заготовки.

До інших факторів відносяться зміни, спричинені внутрішніми напруженнями в матеріалі деталі, помилками налаштовувальника та оператора, а також відхиленнями в роботі приладів для вимірювання.

Відхилення також залежать від різних чинників, таких як помилки інтерполятора та режиму інтерполяції. Особливий вплив має помилка керуючої програми, зокрема похибка апроксимації, яка виникає при наближеному побудові траєкторій руху. Ця похибка є систематичним відхиленням від розмірів.

Усі ці відхилення можна поділити на дві основні категорії. Перша категорія включає відхилення, що виникають через зміни сил різання. Друга категорія охоплює вплив на технологічну систему внаслідок змін у взаємному розміщенні заготовки та інструменту, що не пов'язані з силами різання в системі роботи фрезерного верстата.

Для виконання операцій на фрезерних верстатах з ЧПК необхідно створювати операційні розрахунково-технологічні карти. На етапі розробки технологічного процесу важливо визначити кількість переходів і проходів, встановити їх порядок і траєкторію руху інструменту під час обробки. Без цього неможливо правильно визначити розташування опорних точок. Основною метою операційних карт є точне визначення поєднання траєкторії руху інструменту з координатною системою верстата, початковим положенням інструменту та розташуванням заготовки. Успіх виготовлення значною мірою залежить від правильно збалансованої та розробленої траєкторії руху інструменту на фрезерному верстаті з ЧПК.

Для складання комплекту інструменту визначають наступні параметри траєкторії переміщення:

1. ріжучий інструмент;
2. розміри припусків для кожного з переходів;
3. режими різання;
4. поверхні деталі, що підлягають обробці на верстаті;
5. початкове розміщення інструменту;

6. траєкторію руху інструменту;
7. кількість проходів по кожній поверхні.

Траєкторія для руху ріжучого інструменту повинна бути прив'язана до системи координат фрезерного верстата. Для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПК) зазвичай застосовується праворучна прямокутна система координат (рис.1.2, а). У цій системі аналізується переміщення ріжучого інструменту відносно оброблюваної деталі на верстаті.

За умови коли рух деталі відбувається відносно нерухомого інструменту, то для відповідної величини слід змінити знак на протилежний або змінити напрямок осей декартової системи координат. Зміну системи координат можна здійснити, як показано на рисунку 1.2, б, перевернувши напрямок двох осей та позначивши їх як X' та Y'. Це дозволяє умовно вважати, що весь рух здійснюється інструментом, а деталь залишається на місці.

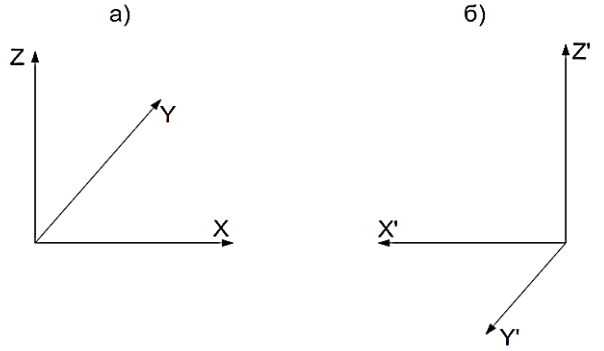

Рисунок. 1.2 – Декартова система координат.

За обробки плоских деталей на фрезерних верстатах з ЧПК інструмент рухається в одній площині, тоді як при обробці об'ємних деталей інструмент переміщується в просторі, по трьох координатних осях. У деяких випадках кількість програмованих координат може досягати п'яти, що включає рух по осях і навколо них. Траєкторія ріжучого інструменту – це шлях, який він проходить під час відносного переміщення, наприклад, вісь фрези або центр кола на вершині різця.

Периметр виробу утворюється з відрізків прямих ліній, дуг кіл та інших кривих, таких як еліпси, гіперболи, параболи. Зазвичай він складається з

прямих відрізків та дуг кіл, а складніші криві зустрічаються рідше. Кожен відрізок контуру визначає елементарну ділянку, обмежену опорними або вузловими точками — крайніми точками суміжних поверхонь.

Припуск на обробку деталі — це шар матеріалу, що видаляється з заготовки під час механічної обробки для досягнення заданих параметрів деталі. Цей припуск наявний лише на тих поверхнях, які підлягають обробці. Операційний припуск на обробку деталі— це припуск, що знімається під час виконання певної операції обробки. У механічній обробці розрізняють три типи припусків: максимальний, мінімальний та номінальний.

Потрібно визначати достатні припуски для механічної обробки на фрезерному верстаті з ЧПК згідно з технологічним процесом, щоб досягти точності розмірів, якості поверхні та шорсткості при мінімізації витрат на матеріал і собівартості деталі. Такий припуск вважається оптимальним. Розрахунок оптимальних припусків є складним техніко-економічним завданням, оскільки вимагає збалансування всіх аспектів виробництва. Надмірні припуски можуть призвести до зростання загальних витрат, включаючи витрати на матеріал, інструменти, експлуатацію обладнання та оплату праці. У той час, недостатні припуски можуть ускладнити процес обробки і вплинути на точність та якість виробу, що збільшує ризик виробничого браку і підвищує витрати на виготовлення справних деталей. У масовому виробництві прагнуть мінімізувати припуски щоб оптимізувати обробку та зменшити обсяг наступних операцій.

При плануванні припусків для дрібносерійного виробництва важливо враховувати не лише витрати на виробничі матеріали, але й вартість виготовлення самої заготовки. Розраховуючи припуски на обробку, необхідно також визначати допустимі відхилення, тобто допуски на габарити заготовки. Ігнорування цих допусків може призвести до поломки інструментів і пристроїв, а також спричинити аварійні ситуації в роботі фрезерних верстатів з ЧПК, транспортних систем та вимірювальних засобів.

Процес вибору ріжучих інструментів під час програмування включає в себе визначення типу інструменту, його конструктивних характеристик, а також вибір відповідних геометричних параметрів для обраного інструмента. Інструменти, що використовуються на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням, повинні відповідати наступним вимогам:

1. За можливості використовувати нові пластини ріжучого інструменту для досягнення максимальної ефективності;
2. Використовувати оптимальні форми пластин, що дозволяють обробляти найбільше число поверхонь виробу за один прохід інструменту;
3. Групувати основні та допоміжні параметри інструменту для полегшення управління верстатом;
4. Використовувати однакові координати для ріжучого інструменту, щоб спростити програмування технологічних операцій;
5. Використовувати всі інструменти в обох напрямках – в прямому і в перевернутому положенні закріплення.

Автоматичне змінювання інструментів та застосування високоякісних спеціалізованих інструментів на фрезерних верстатах, в порівнянні з традиційними, можуть призводити до деякого зниження стійкості інструменту та збільшення режимів різання. Норми стійкості інструменту зазвичай визначаються на основі його тривалого використання на універсальних верстатах. Проте в таких умовах зниження стійкості ускладнюється через ручну заміну інструментів, що веде до простоїв верстата.

Зменшення часу обробки є важливим фактором для підвищення продуктивності фрезерних верстатів з ЧПК. Для агрегатних верстатів, масового виробництва і спеціалізованих, ефективним методом скорочення часу є застосування багатоінструментальної обробки заготовки, коли деталь обробляється кількома інструментами одночасно. Однак для верстатів з ЧПК цей підхід не є оптимальним, оскільки він обмежує основну перевагу таких верстатів — їхню універсальність.

1.3. Розрахунки і аналіз під час створення управляючої програми для фрезерного верстата з ЧПК

Розрахунково-аналітичний метод потребує інформації про найменші зміни в обробці, що виникають під впливом кожного окремого фактора. Основною метою цього етапу є визначення місця розташування ключових точок траєкторії інструменту. Після того, як траєкторія інструменту встановлена, для коректного програмування необхідно точно знати координати опорних точок.

Відхилення в установці заготовки є наслідком геометричної суми відхилень, які виникають через базування та закріплення. Відхилення базування з'являються внаслідок невідповідності між настановною та вимірювальною базами. Відхилення налаштування інструменту залежать від точності налаштування самого агрегату. Відхилення, що виникають під час обробки на фрезерному верстаті з ЧПК через знос, обумовлені змінами розміру та форми робочих частин інструменту, а також коливаннями сил різання. Знос інструментів може спричинити зміщення розмірної стабільності верстата, яке можна відкоригувати за допомогою налаштувань.

За обробки заготовки на верстаті похибки її форми і положення зменшуються з кожним наступним проходом ріжучого інструменту. Співвідношення між похибкою, що виникає після обробки, та відхиленням до обробки називається коефіцієнтом уточнення. З підвищенням жорсткості верстата зменшується кількість проходів, необхідних для досягнення потрібної точності при обробці деталі. Відхилення кінцево обробленої деталі мають як залишкові відхилення, так і похибки, що з'являються під час останніх проходів ріжучого інструменту.

Якщо контур складається з ділянок прямої та дуги кола, для розташування еквідистантних точок їх слід визначати вздовж нормалі до прямої, що проходить через опорну точку контуру. Коли дві суміжні поверхні

контуру обмежені кривими, опорну точку еквідистанти розміщують на лінії, яка перпендикулярна до спільної дотичної.

Розрахунок з'єднань "пряма-коло" для верстата з ЧПК дозволяє знайти координати точок перетину між колом та дотичною прямою. Цей метод полягає у послідовному введенні двох точок, A і B, що лежать на прямій, а також точки C, яка не належить цій прямій. Система керування обчислює координати точки перетину, визначаючи місце, де нормаль, проведена з точки C, перетинається з відрізком AB, а також визначає відстань за перпендикуляром до цієї прямої (рисунок 1.3).

Дана функція також дає змогу розрахувати точки дотику між двома колами. Для цього потрібно вказати координати центрів обох кол і їх радіуси. ЧПК визначає розташування точок дотику, будуючи дотичні прямі до обох кіл.

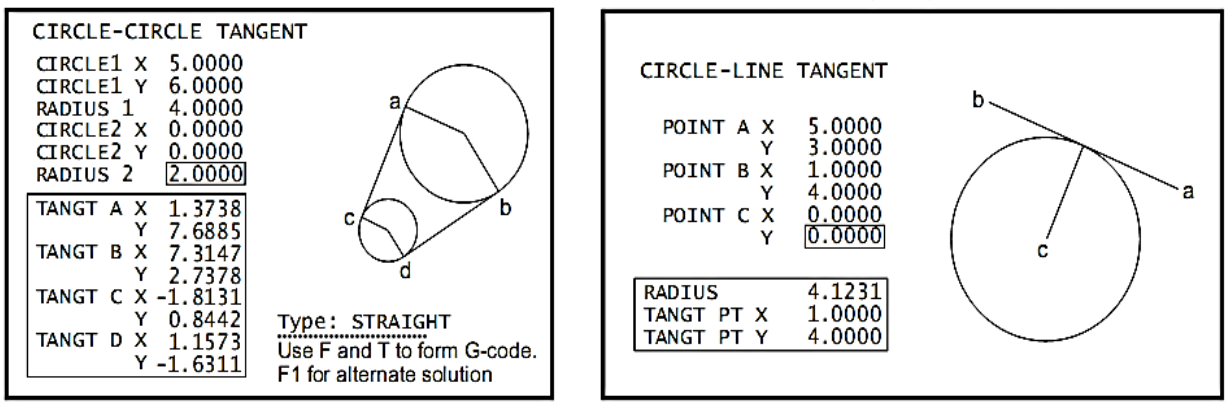

Рисунок. 1.3 – Опорні точоки еквідистанти

Необхідно застосовувати формат подання координат опорних точок, що відповідає системі вимірювання фрезерного верстата. Точні координати опорних точок можна отримати безпосередньо з кресленика виробу або шляхом виконання складнішин розрахунків.

Координати опорних точок траєкторії інструменту задаються безпосередньо в програмному коді керування верстатом.

Під час розробки програм для фрезерних верстатів з ЧПК можуть виникати проблеми на різних етапах процесу: технологічному, аналітичному

та етапі кодування інформації. На етапі технологічного програмування найчастіше виникають помилки в проектуванні технологічного процесу, визначенні траєкторії руху інструменту (зокрема, в розрахунках кількості проходів, розміру припусків і допусків, встановлення заготовки, вибору верстата, інструменту та обладнання, а також в налаштуванні режимів різання). Виявлення помилки, пов'язаної з визначенням координат опорних точок, відноситься до етапу аналітичного розрахунку програмування верстата.

Під час створення числової та командної інформації виникають помилки, такі як введення невірних символів, пропуск символів, орфографічні помилки в побудові виразів і написанні слів, а також застосування неправильних посилань. Крім того, помилки можуть виникати під час записіу програми на знімний носій, особливо через спотворення команд або розмірної інформації під час запису.

Застосування автоматизованих систем управління сприяє автоматизації процесу програмування, яке підвищє продуктивність праці під час створення керуючих програм, а також значно покращує якість програм.

Кінцевим етапом програмування є введення програми на верстат. Для забезпечення необхідної точності розмірів і шорсткості поверхні, мінімізації вібрацій, ефективного ламання стружки, стабільності інструменту та максимальної надійності процесу необхідна ретельна налаштування різальних режимів, калібрування інструменту та оптимізація охолодження. Час, витрачений на цей етап, часто перевищує загальний час, витрачений на інші етапи.

Завантаження управляючих програм виконується за такою послідовністю: спочатку перевіряють програму без використання інструментів, пристроїв або заготовок; потім проводять необхідне оброблення виробу (або деталі) із застосуванням необхідних інструментів та пристроїв; на завершення виготовляють контрольну деталь.

Ефективна робота фрезерного верстата з ЧПК неможлива, якщо введені неправильні параметри режимів різання. В більшості випадків при

виготовленні деталей на верстатах з ЧПК застосовується методика, розроблена для традиційних верстатів.

Величину різання під час чорнового оброблення на першому етапі визначають, враховуючи жорсткість інструменту, твердість твердосплавної пластини та її розміри. Максимальну глибину різання для чорнових проходів та середньо рекомендовану часто зазначають у нормативних документах або технічній документації для конкретного інструменту. За оптимізації параметрів різання спочатку коригують задану глибину різання залежно від встановленої швидкості різання та подачі.

Максималі допустимі значення подачі визначаються з урахуванням технічних обмежень, таких як жорсткість оброблюваної деталі, жорсткість інструменту, міцність механізму подачі верстата, максимальний крутний момент, потужність головного приводу та приводу подачі. Інформація про подачу для чорнової обробки зазвичай надається в спеціальних таблицях, які можуть бути скориговані за допомогою різних коефіцієнтів залежно від конкретних умов обробки.

Для забезпечення оптимальної стійкості інструменту при заданій глибині різання та подачі регулюється швидкість різання. Під час різання важливо враховувати зношування передньої та задньої грані інструменту. Для кожного випадку встановлюється максимальний рівень зношування, і коли він досягається, необхідно провести точіння або замінити інструмент.

Під час роботи реальні значення граничного зношування інструменту можуть відрізнятися від теоретичних, що пояснюється різними вимогами до точності обробки, необхідністю примусової заміни інструменту та циклами його налагодження.

Ріжучий інструмент для верстатів з числовим програмуванням має стандартну конструкцію, є універсальними та здатні до розбирання. Він оснащений багатогранними пластинами, виготовленими з високотвердих сплавів, твердосплавних матеріалів або мінералокераміки.

Твердосплавний ріжучий інструмент може вийти з ладу через зношування або руйнування. Проте під час вибору стандартних параметрів різання для універсальних машин з ручним керуванням, крихке руйнування зазвичай не є головною проблемою. Вважається, що оператор уважно стежить за процесом роботи і, помітивши пошкодження ріжучого інструменту, своєчасно проведе зупинку, перешкоджаючи неприємним наслідкам. Для фрезерних верстатів з ЧПК, що працюють у режимі напівавтоматичному та мають захисну зону обробки, поломка ріжучого інструменту може викликати дефект на деталях та вплинути негативно на роботу фрезерного верстата. Статистика свідчить, що до 30-50% ламання ріжучого інструмента пов'язана з крихким його руйнуванням.

Існує низка факторів, які можуть призвести до руйнування ріжучого інструменту під час обробки матеріалів. Серед них дефекти на поверхні заготовки, нерівномірний припуск на сторону та вібрації в системі, які можуть спричинити дестабілізацію процесу. Розмір навантаження значною мірою залежить від швидкості подачі матеріалу, а його характер визначається геометрією ріжучого інструменту. Важливо також враховувати, що інструмент може піддаватися як навантаженню на згинання, так і на стиск. Навантаження на стиск має менший вплив на крихке руйнування інструменту порівняно з різними типами навантажень.

На фрезерних верстатах з ЧПК, що оснащені автоматичною зміною інструменту, час на економічну складову становить близько 15-25 хвилин, що значно менше порівняно з універсальними фрезерними верстатами. Це дає змогу ефективно налаштовувати режими обробки для досягнення максимальної продуктивності.

Розділ 2. Методи підвищення ефективної роботи на фрезерних верстатах з ЧПК

2.1. Послідовність виконання робіт на фрезерних верстатах з ЧПК

Обробка на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням потребує більш високого рівня деталізації порівняно з традиційним технологічним процесом. Обробка на ЧПК вимагає ретельнішого планування та вирішення завдань, ніж на універсальних фрезерних верстатах.

Процес виробництва являє собою комплекс операцій, що охоплюють установки, позиції, технологічні та допоміжні переходи, а також робочі і допоміжні проходи. При використанні верстатів з числовим програмним керуванням більш детальне планування технологічного процесу вимагає поділу проходів на окремі етапи.

Процеси виготовлення деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням вимагають дотримання низки загальних вимог для досягнення раціонального використання та ефективності цих верстатів або тих, що планується використовувати: уніфікація форм і розмірів виробів; проектування деталей так, щоб забезпечити доступ ріжучого інструменту до всіх оброблюваних поверхонь; уніфікація зовнішніх та внутрішніх радіусів; створення форми деталі, що гарантує надійне і зручне кріплення під час обробки деталі.

Ці вимоги орієнтовані на зменшення стандартних розмірів різального інструменту, використання більш ефективних та економічних інструментів, зниження кількості переустановок деталі, покращення точності базування, зменшення потреби в обладнанні та його вартості, а також підвищення продуктивності та точності виготовлення деталей і зниження деформацій виробу під час обробки заготовок.

Процес виробництва передбачає детальний розподіл обробки деталі (заготовки) на окремі зони обробки, які відповідають частині припуску на різних елементах. Цей заданий припуск може бути усунений черех різні

інструменти протягом декількох переходів або операцій. Зонування дає змогу застосовувати стандартні схеми переміщень, які визначають правила траєкторії руху інструменту, що, у свою чергу, спрощує підготовку керуючої програми для фрезерних верстатів з ЧПК.

Послідовність обробки кожної зони зазвичай визначається конфігурацією деталі та розробляється індивідуально для кожної її частини. В процесі автоматизованої підготовки технологічного процесу виникають складні задачі вибору, де потрібно знайти найкраще рішення серед численних варіантів. Проте в автоматизованому виробництві технологічні рішення можуть варіюватися.

У реальному виробничому процесі використання цього методу на фрезерних верстатах з ЧПК є зручним, оскільки значно спрощує розробку керуючих програм. Зазначені вимоги часто можуть бути реалізовані через зміни в геометрії або окремих елементах деталі, коригування розмірів або перенесення частин конструкції.

2.2 Математична модель технологічного процесу виготовленя деталі на фрезерному верстаті з ЧПК

Велика кількість систем ЧПК побудовані на основі постпроцесорів, що є мікропроцесорними системами з високою точністю. Вони не лише забезпечують необхідні обчислювальні можливості, а й мають високу продуктивність. Водночас, незважаючи на високу ступінь автоматизації, налаштування та коригування режимів різання все ще здійснюється вручну.

Основною причиною цього є те, що існуючі методи та підходи до обробки технологічної інформації часто неможливо формалізувати для автоматичного застосування. Крім того, ці методи іноді дають неповні або неточні результати, що вимагає додаткової корекції. Низька точність інформації на початкових етапах моделювання обробки на верстатах з ЧПК обумовлена значними розбіжностями в основних залежностях, які використовуються для розрахунку швидкості та сил різання. Хоча алгоритми

та програми для автоматизованого розрахунку режимів обробки активно застосовуються в виробництві, їхні результати можуть бути ненадійними через недостатнє врахування реальних умов різання, властивостей матеріалу, а також стану деталі і ріжучого інструменту. Отже, відсутність точної математичної моделі для автоматичного розрахунку параметрів обробки, зокрема для вибору параметрів різання, пов'язана з необхідністю проведення попередніх експериментів на зразках матеріалу. Це дозволяє точно визначити коефіцієнт корекції, що враховує технологічні властивості конкретного матеріалу. Для оптимізації процесу обробки використовуються формули, засновані на моніторингу розміру в зоні різання під час обробки. Вимірювання точності обробки деталі та інструмента є важливими індикаторами технологічних параметрів матеріалів і інструментів, що взаємодіють. На основі цього розробляються формули для розрахунку швидкості та сил різання:

$$V_{різ} = \frac{W - tK_{пр}}{P^{0.2} l^{0.15} F^{0.35} K_{пр}^{s}} \tag{2.1}$$

де $K_{пр}$ - коеф. першого проходу інструменту; W, t, s – коеф. умов обробки, (W = 635; t = 25,7; s = 0,25); P – стійкість ріжучого інструменту; l – глибина різання інструментом.

$$A_x = (W_x + t_x K_{пр}) l^1 F^{0.5} V_{різ}^{-0.4} \tag{2.2}$$

$$A_y = (W_y + t_y K_{пр}) l^{0.9} F^{0.6} V_{різ}^{-0.3} \tag{2.3}$$

$$A_z = (W_z + t_z K_{пр}) l^1 F^{0.75} V_{різ}^{-0.15} \tag{2.4}$$

де, A_x, A_y, A_z - сили різання; F – подача; l – глибина різання інструментом; $K_{пр}$ - коеф. ефективності проходу; $V_{різ}$ - швидкість технологічного різання; W_x, W_y, W_z - задані постійні величини.

Проведені дослідження в галузі промислового виробництва на основі якого були розроблені формули, які забезпечують більш точне дотримання циклу повної стійкості ріжучого інструменту. Це створює можливості для

впровадження цих формул в алгоритм технологічних процесів під час розрахунку оптимальних режимів різання для обробки на фрезерних верстатах з ЧПК.

Математичне обгрунтування процесу можна виразити у вигляді завдання лінійного програмування. Необхідно знайти наступні параметри за формулою:

$$\min \sum_{i=1}^{m} c_i x_i \tag{2.5}$$

за наступних обмежень:

$$x_i \geq 0, \qquad i = \overline{1,m}$$
$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_i \geq b_{j,} \qquad j = \overline{1,n}$$

де n – число обмежень;

m – число параметрів змінних значень;

a_{ij} , $b_{j,}$ - задані константи параметру.

Для покращення ефективності в даному випадку ми повинні використовувати основний час технологічного процесу (як величину, обернену до mF) в якості цільової функції, що слугуватиме критерієм оптимальності за формулою:

$$t_{осн} = \frac{1}{mF}; mF \to \max \tag{2.6}$$

Ефективний термін служби інструменту може перевищувати зазначений мінімальний період, а значення ряду технологічних характеристик та параметрів обробки залишаються в межах встановлених програмою допустимих меж, то для визначення оптимальних режимів обробки деталі та заготовки на фрезерному верстаті з ЧПК необхідно врахувати технологічні властивості матеріалу заготовки та характеристики металорізального інструменту. Крім того, потрібно аналізувати взаємодію інструмента з матеріалом під час обробки і враховувати механічні можливості фрезерного верстата з ЧПК.

Ключовим етапом є аналіз властивостей у межах системи "робочий кресленик - програмний код – фрезерний верстат – ріжучий інструмент - деталь". Потрібно визначити оптимальні параметри подачі та швидкості різання, які дозволять отримати технологічну форму заготовки або виробу відповідно до технічних вимог, мінімізуючи витрати на продуктивність праці. При цьому глибина різання повинна бути встановлена на початкових етапах обробки, а кожен прохід має нормуватися окремо. Це відповідає прогресивному та ефективному підходу до обробки кожної операції за один прохід.

2.3 Виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК

Обробка на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням гарантує стабільність якості та однаковість виготовлених деталей завдяки усуненню факторів, які можуть впливати при ручному управлінні та редагуванні керуючих програм (втома, зовнішні впливи, помилки в керуванні, емоційний стан оператора, порушення рухів). Однак точність налаштувань і роль майстра-налаштувальника все ще мають значення. Зменшення кількості переустановок заготовки під час обробки суттєво знижує відхилення базування.

Покращення якості обробки на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням залежить від підвищення жорсткості та точності самого верстата, а також від відповідності вимогам, заданим його пристроями. Методи зчитування та введення керуючого коду значною мірою впливають на якість і ефективність виробництва. Питання підвищення точності верстатів добре досліджені та висвітлені в наукових працях. Важливими факторами, що впливають на точність виготовлення, є такі параметри, як дискретність, інтерполяція, мінімальний приріст, міжкадрові зупинки та ефективність системи автоматизованого регулювання. У разі лінійної інтерполяції прямолінійного контуру відхилення інструмента відносно заготовки залежить від кута нахилу контуру. Максимальне відхилення спостерігається при

мінімальному нахилі. За кругової інтерполяції зміщення на радіус може досягати двох дискрет, а використання методу оціночної функції дозволяє зменшити це зміщення до менше однієї дискрети. Використання кінцевої фрези для згладжування реального контуру знижує зміщення до значення, менше ніж одна дискретна одиниця.

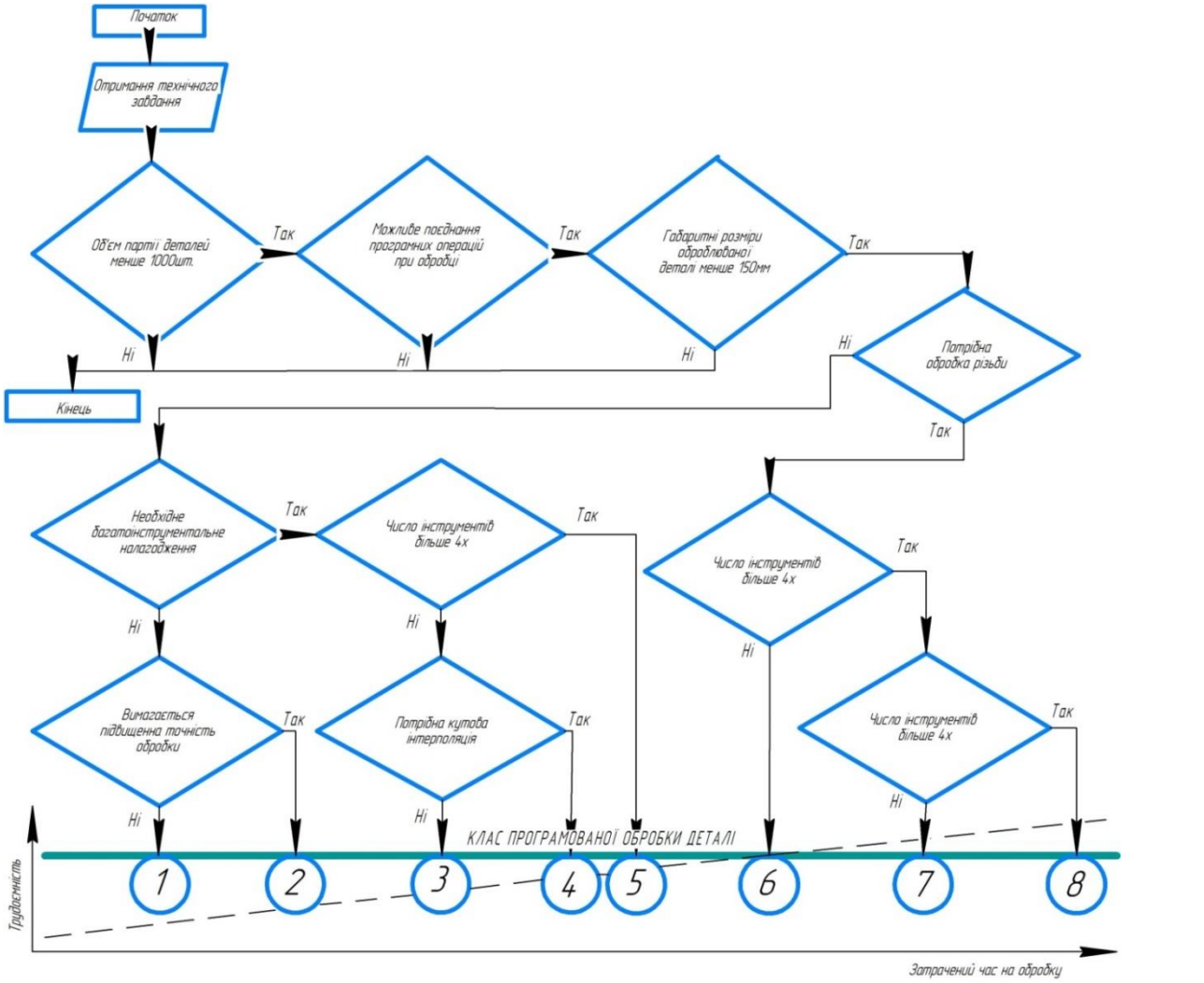

Рисунок. 2.1. – Порядок побудови управляючої програми для виготовлення деталі

У процесі обробки на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням мінімальний крок переміщення або приріст інформації, що називається дискретою, визначається як найменше можливе відхилення без впливу зовнішніх факторів, таких як температурні деформації або зношення інструменту. В сучасних фрезерних верстатах з ЧПК дискрети можуть бути на рівні 1, 2, 5 чи 10 мікрометрів. Одним із факторів, що може впливати на

точність обробки, є міжкадрові зупинки — короткочасні паузи, що виникають через затримки у передачі керуючої інформації від одного кадру до наступного. Це може призводити до зупинення подачі, тоді як головні рухи, такі як обертання інструменту або заготовки, продовжуються без змін. Щоб зменшити негативний вплив таких зупинок, вдосконалюється електронна схема та структура системи, що дозволяє більш ефективно обробляти дані з наступного кадру. Для прискорення процесу обробки використовують кругову інтерполяцію та включають додаткові параметри, що дозволяють виконувати завдання швидше.

Система ЧПК автоматично компенсує похибки, що виникають через розрахунки, апроксимацію, інтерполяцію та відтворення керуючого коду. Однак навіть на верстатах з ЧПК завжди присутні деякі похибки, які можуть варіюватися від 0.2 до 0.25 мкм залежно від точності заданих програм. Зазначені похибки можуть включати різні фактори: еластичні зміни в технологічній системі через коливання сил різання (0.05–0.1 мкм), позиціонування (0.1–0.2 мкм), теплові деформації (0.1–0.15 мкм), налагоджування і центрування (0.4–0.45 мкм), а також відхилення, спричинені впливом інструменту на оброблюваний матеріал (0.1–0.2 мкм).

Для зменшення похибок, що виникають через систему ЧПК, використовуються різноманітні підходи. Серед них — розробка та оптимізація управляючого коду за допомогою сучасних обчислювальних систем, де враховуються точні допоміжні параметри для покращення виробничих процесів. Окрім цього, важливим є впровадження автоматизованих методів підготовки коду, удосконалення систем числового управління та пошук нових технічних рішень, які дозволяють підвищити ефективність і точність обробки.

Якість обробки деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням класифікується за різними ступенями точності, які можуть бути поділені на чотири, три або навіть два класи. На деяких моделях верстатів можна досягти другого класу точності. Щодо фрезерних верстатів, які використовуються для обробки сталі та алюмінію, точність фрезерування

кінцевою фрезою зазвичай коливається між четвертим і п’ятим класами. У процесі фрезерування кінцевою фрезою значну частину відхилень у якості обробки зумовлює пружна деформація інструменту.

Поліпшення процесу виготовлення деталей на фрезерних верстатах можна досягти за допомогою технологічних методів, реалізованих на програмному рівні. Наприклад, шляхом оптимізації траєкторії руху інструменту так, щоб максимальне навантаження при різанні припадало на окремі вузли верстата з одного боку. Верстати VF4 і HAAS SL20, здатні забезпечити точність обробки на рівні другого класу. Це досягається завдяки попередньому та кінцевому налаштуванню інструментів для досягнення необхідного розміру обробки. Попереднє налаштування інструменту виконується за межами верстата за допомогою спеціального агрегата з індикатором годинникового типу, що забезпечує точність обробки першої деталі в межах 0.05 мм. Кінцеве налаштування здійснюється за допомогою перемикачів на стійці фрезерного верстата з ЧПК.

Автоматичне налаштування параметрів обробки, що безпосередньо впливають на якість виготовлення, може значно підвищити точність обробки, збільшуючи її від 2 до 5 раз. Це, в свою чергу, сприяє суттєвому зростанню довговічності металорізального інструменту, зазвичай на 50%, та зменшенню ймовірності його поломки.

2.3.1. Точність виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК

Робота фрезерного верстата з ЧПК в напівавтоматичному чи автоматичному режимі має забезпечувати високу якість обробки, що прямо залежить від загальної величини похибки. Це похибка може бути обумовлена різними чинниками, такими як точність самого верстата, коректність роботи системи управління, помилки при фіксації заготовки, неточності в налаштуванні інструментів, похибки, пов'язані з налаштуванням самого

верстата, відхилення, що виникають під час виготовлення інструментів, а також ступінь зносу ріжучих елементів.

Точність фрезерних верстатів за ненавантаженоого стану класифікується за категоріями в послідовності зростання точності.

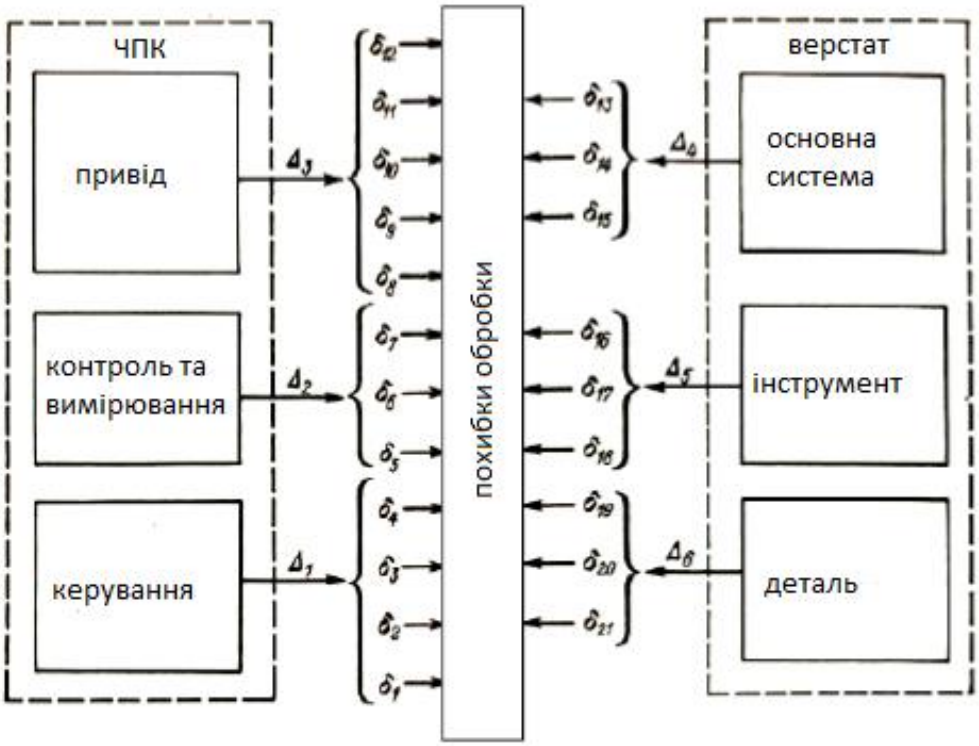

Рисунок 2.2 – Виникнення відхилення на фрезерних верстатах з ЧПК

Під час перевірки точності фрезерних верстатів здійснюється аналіз різних параметрів, таких як точність геометрії форм і взаємне розташування опорних поверхонь, що використовуються для кріплення інструменту та заготовки. Також перевіряється точність переміщень робочих органів верстата по направляючих, точність розміщення осей обертання та траєкторій руху елементів верстата, які утримують деталь і інструмент, що взаємодіють між собою і відносно опорних поверхонь. Окрім цього, оцінюється якість оброблених поверхонь та їх шорсткість.

Для оцінки точності фрезерних верстатів з числовим програмним керуванням важливо враховувати ряд специфічних характеристик, що свідчать про їх ефективність. До таких показників належать точність лінійного розміщення робочих органів, розмір зони нечутливості (затримки при зміні

напрямку руху), точність повернення робочих органів в початкову позицію, стабільність при досягненні заданої координати, ефективність кругової інтерполяції та стійкість після автоматичної зміни інструментів. Показники точності лінійного розміщення робочих органів верстатів з ЧПК наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Допустимо максимальна похибка фрезерного верстата Δ, мкм

Клас точності верстату	Переміщення по довжині, мм																	
	До 50		від *50* до *80*		від *80* до *125*		від *125* до *200*		від *200* до *320*		від *320* до *500*		від *500* до *800*		від *800* до *1250*		від *1250* до *2000*	
	а	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*
Н (1-3)	8	12	10	10	12	20	16	25	20	30	25	40	40	50	40	65	50	80
П (4-6)	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20	16	26	20	30	25	40
В (7-8)	2	3	2,5	4	3	5	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20

При контролі важливо оцінювати як якість обробки, так і стійкість процесу на верстатах з ЧПК. Стійкість, яка визначається як здатність робочих елементів повторно точно відтворювати своє положення, є критичним фактором і навіть важливішою, ніж точність самого положення. Таблиця 2.2 містить максимально допустимі значення нестабільності за лінійного переміщення.

Таблиця 2.2. Допустима максимальна нестабільність для фрезерного верстата з ЧПК, мкм

Клас точності верстату	Переміщення по довжині, мм									
	До 50		від *50* до *125*		від *125* до *320*		від *320* до *800*		від *800* до *2000*	
	а	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*
Н (1-3)	9,6	15,0	12,0	18,0	15,0	24,0	24,0	36,0	36,0	60,0
П (4-6)	4,8	7,2	6,0	9,6	7,2	12,0	12,0	18,0	18,0	30,0
В (7-8)	2,4	3,6	3,0	3,8	3,6	6,0	6,0	9,6	9,6	15,0

Допустима похибка при позиціонуванні робочих елементів верстата регулюється через максимальні відхилення. Наприклад, для переміщення на відстань 300 мм по осях X і Y на верстатах класу П максимальна похибка становить 17.2 мкм, тоді як для верстатів класу В становить 8.6 мкм. Для забезпечення стабільної точності роботи верстата протягом тривалого часу під

час його виготовлення параметри геометричної точності покращуються на 40% порівняно з нормативними значеннями. Це дозволяє виробнику створити додатковий запас для компенсації зносу та забезпечити довгий термін служби фрезерного верстата з ЧПК.

2.3.2. Обробка заготовок на фрезерних верстатах з ЧПК

Похибки під час інтерполяції та стан інтерполятора безпосередньо впливають на точність обробки. Через функціонування інтерполятора в робочій траєкторії виникають відхилення, що проявляються у вигляді геометричних похибок. Значення похибки δ буде залежати від кута нахилу траєкторії стосовно координатних осей і не перевищує величину кроку дискретизації А. Похибка може коливатися в межах ± 0.707 Δ на обмеженому відрізку, з обох боків від заданої траєкторії переміщення.

У перших моделях фрезерних верстатів з дискретністю до десятої частини міліметра спостерігалися значні відхилення в процесі обробки, зумовлені роботою інтерполятора. Сучасні верстати, що працюють з імпульсами розміром 0.001…0.002 мм, мають значно менші геометричні похибки інтерполяції, що не істотно впливають на загальну якість обробки. Проте такі похибки можуть проявлятися у вигляді мікрогеометричних змін, наприклад, у вигляді шорсткості обробленої поверхні.

Інтерполятор може спричиняти значні помилки, які проявляються під час інтерполяції через циклічні помилки передачі руху між елементами системи подачі. Такі помилки виникають через осьове биття, дефекти ходових гвинтів, нерівності в шестернях редукторів і механізмах передачі, а також через зміщення валів у кінематичній схемі, до якої входять рушій приводу подачі, редуктор, ходовий гвинт та датчики. Коли працюють з однією координатою, ці похибки призводять до нерівномірності руху робочих елементів, але вони майже не впливають на якість обробленої поверхні,

оскільки невеликі відхилення подачі не значно позначаються на мікро- та макрорезультатах обробки заготовки.

Коли під час інтерполяції відбувається одночасний рух робочих органів по двох або більше осях, це може значно змінити результати обробки. У таких випадках нерівномірність переміщення хоча б уздовж однієї з траєкторій викликає похибки в розмірах виробу та утворення хвилястості на обробленій поверхні.

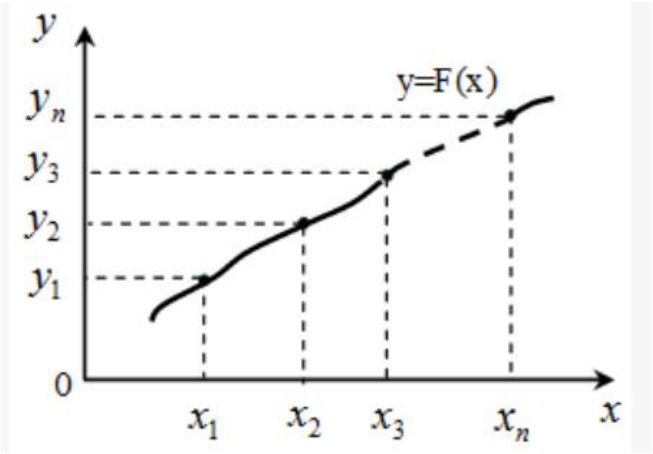

Рисунок. 2.3 – Відхилення під час виконання лінійної інтерполяції.

За умови коли кут нахилу траєкторії руху незначний відносно однієї з осей, висота та крок хвилі будуть меншими порівняно з випадком більшого кута нахилу. Відхилення значною мірою залежить від елементів приводу, які працюють на одній осі та взаємодіють між собою. Якщо помилка виникає через ходовий гвинт, шестерні або коефіцієнт передачі, то проекція хвилі на цю вісь матиме крок, що відповідає вказаному коеф. передачі.

При виготовленні виробів за круговим контуром за допомогою УЧПК і лінійних інтерполяторів важливо враховувати похибки апроксимації та правильне закріплення заготовки. Для визначення положення опорних точок при підготовці керуючого коду застосовується апроксимація кругів з урахуванням можливих похибок. Для підвищення точності використовується метод зменшення кроку апроксимації (кут $\Delta\varphi$). Це пояснюється тим, що зменшення довжини дуги вдвічі призводить до зменшення похибки апроксимації в чотири рази.

Корпусний виріб, що використовує площини для вимірювань, повинен мати бази, що співвідносяться з цими площинами, для досягнення максимальної точності обробки, відповідно до традиційних підходів. Це вимагає поєднання вимірювальних та технологічних баз, що визначають розміри. Хоча верстати з числовим програмним управлінням можуть забезпечити високу точність обробки, найкращі результати досягаються, коли в одній установці одночасно обробляються як вимірювальні бази, так і поверхні, що мають бути виміряні від цих баз (рис. 2.4).

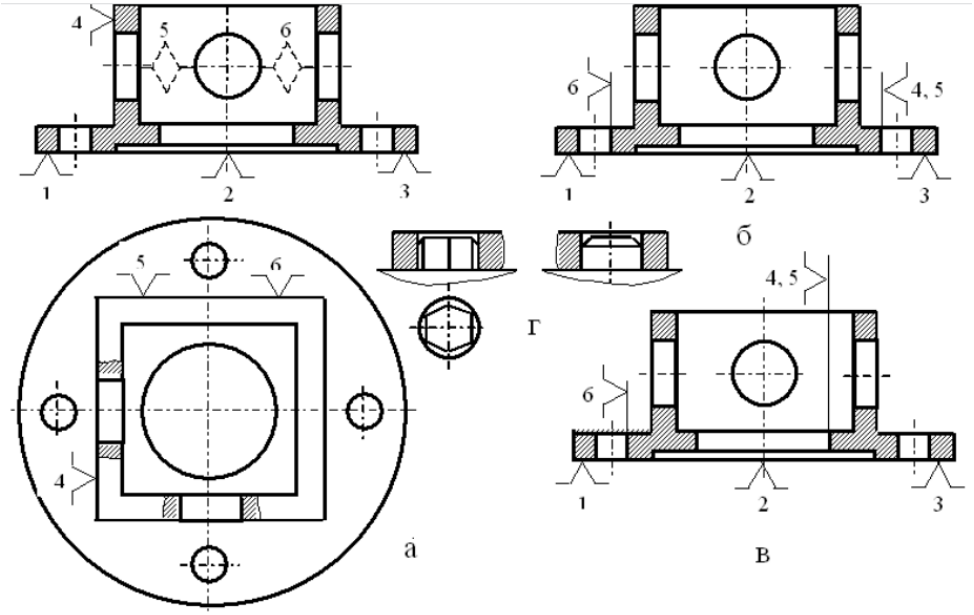

Рисунок 2.4. – Базування деталей на фрезерних верстатах з ЧПК

Під час налаштування розміру металорізальних інструментів, попри високу точність сучасних пристроїв, завжди мають місце певні похибки. Ці похибки можуть виникати через відхилення приладу ($...\delta_1...,\delta_5$) та через помилки в процесі закріплення на фрезерному верстаті з ЧПК, де здійснюється налаштування, яке налаштоване на конкретний розмір ($...\delta_6...,\delta_8$).

Переміщення вершини інструменту можна розглядати як випадкову величину, а величина відхилення вимірюється відносно заданого центрального значення розміру:

$$\delta_н = \left[\begin{array}{l} \left(k_1\delta_1\right)^2 + \left(k_2\delta_2\right)^2 + \left(k_3\delta_3\right)^2 + \left(k_4\delta_4\right)^2 + \left(k_5\delta_5\right)^2 + \\ + \left(k_6\delta_6\right)^2 + \left(k_7\delta_7\right)^2 + \left(k_8\delta_8\right)^2 \end{array} \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

де k - коеф. згідно правил розподілу відхилень приладів і обладнання.

Відхилення налаштування фрезерного верстата на конкретний розмір полягає в оптимальному встановленні інструментів, робочих частин верстата та елементів, що фіксуються на пристрої, у визначеному положенні. Це положення повинно забезпечити виготовлення заданого виробу з необхідним розміром та допуском, враховуючи можливі варіації, що можуть виникнути під час обробки. Відхилення налаштування виникає через те, що при встановленні нуля програми та закріпленні інструментів у фрезерному верстаті точне виставлення робочих елементів і металорізальних інструментів у розрахункове положення не завжди можливо.

Відхилення налагодження фрезерного верстата визначається як різниця між межами допустимих значень встановленого розміру. Це відхилення залежить від кількох факторів, зокрема від правильності початкового налаштування програми, неточностей у налаштуванні металорізального інструменту, точності вимірювання розмірів деталей пробних під час налаштування та зміщення центру гперших виробів відносно середини поля розкидання під час процесу налаштування.:

$$\delta_н = \left[\left(k_i\delta_i\right)^2 + \left(k_0\delta_0\right)^2 + \left(k_{вим}\delta_{вим}\right)^2 + \left(k_{розрах}\delta_{розрах}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

де $k_i = k_0 = k_{розрах} = 1.0 - 1.73;$ $k_{вим} = 1.0;$ $\delta_{розрах} = 3\sigma_н n^{1/2};$

де n - число пробних деталей, $\sigma_н$ - похибка середньоквадратична.

Поліпшення якості налаштування досягається шляхом збільшення кількості експериментальних зразків. Однак при виготовленні невеликих партій кількість доступних зразків часто обмежена, іноді до одного. Щоб отримати високоякісну першу пробну деталь з мінімальними затратами часу,

важливо точно встановити положення нульове програми і за допомогою коректорів досягти необхідних розмірів.

В залежності від очікуваних змін розмірів при налаштуванні інструментів, їхні розміри повинні бути встановлені так, щоб вони перебували на відстані близько 1 / 5 від граничних меж допустимих розмірів. Для металорізальних інструментів, що обробляють зовнішні поверхні, їх доцільно розташовувати ближче до меншої межі допуску, враховуючи можливе спрацювання. Натомість інструменти, які обробляють внутрішні поверхні, повинні бути налаштовані ближче до межі допуску поля.

Ефективність використання металорізальних інструментів під час обробки відіграє важливу роль у досягненні точності та якості виготовлення, зокрема при обробці жаростійких та жароміцних металів. Спрацювання інструменту є критичним фактором, оскільки воно впливає на рівень зносу інструменту та забезпечує стабільність виробничого процесу.

Систематична похибка обробки деталі $\Delta C_2 = 2\Delta C_1$.

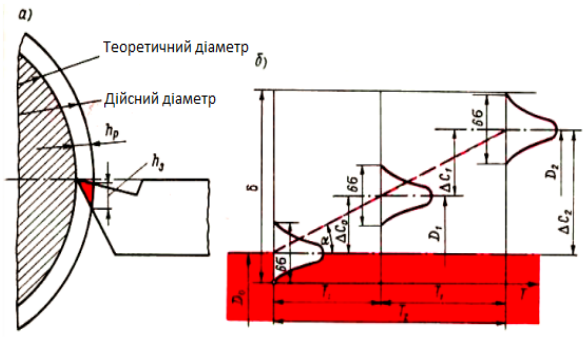

Рисунок 2.5 – Спрацювання металоріжучого інструменту

Для запобігання відхиленням розмірів виробу за межі допуску необхідне налаштування верстата. У цьому процесі час налаштування становить X, а металорізальний інструмент слід зсувати в радіальному напрямку на Y. Ця корекція компенсує радіальні відхилення інструменту, після чого поле розкидання повертається до початкового положення. Загалом, систематичні відхилення коригуються під час налаштування $\Delta C = \tan\alpha T$, де $\tan\alpha$ — це інтенсивність спрацювання інструменту на фрезерному верстаті.

2.4 Контроль якості виготовлення деталей на фрезерних верстатах з ЧПК

Вплив певних факторів на якість обробки призводить до виникнення відхилень, які мають визначені терміни і тлумачення згідно з ДСТУ. Відхилення виробництва продукції — це різниця між фактичним значенням параметра виготовленої деталі та встановленим нормативним значенням, що визначене технічною документацією. Систематичні похибки виробництва — це частина загальних відхилень, що виникає за сталих умов і підпорядковується певним закономірностям зміни величини або знака. Розрізняють два види таких похибок: постійну і змінну систематичну похибку. Постійна систематична похибка — це відхилення, яке не змінюється за величиною і знаком, і виникає в результаті постійних факторів, залишаючись незмінним протягом виготовлення однієї або кількох партій виробів.

Існує кілька причин виникнення постійних систематичних відхилень при виготовленні деталей. Одна з них — конусність обробленої поверхні, яка може бути наслідком неправильного розташування обертальних центрів або недостатньої паралельності осі шпинделя і напрямної станини при фрезеруванні в триточковому самоцентруючому патроні. Іншим фактором є відхилення міжосьової відстані отворів, оброблених на токарному верстаті, що виникає через неточні розміри вирівнюючих втулок. Крім того, відхилення діаметрів отворів можуть бути спричинені помилками в розмірах розвертки, зенкера або свердла. Також можливі зміщення форми деталей, що виникають через неправильну установку тонкостінних заготовок на фрезерному верстаті.

Відхилення систематичне виготовлення продукції характеризується постійним характером відхилень, які змінюються за величиною і/або знаком у певному напрямку. Такі відхилення можуть бути спричинені нерівномірним зношуванням металорізальних інструментів, тепловими деформаціями верстата, інструменту, обладнання, матеріалів заготовок, а також відхиленнями форми початкової заготовки та іншими факторами.

Відхилення випадкове виготовлення продукції має випадковий характер, коли відхилення набувають різних значень за величиною та/або знаком навіть при стабільних умовах. Це може бути результатом варіацій або змін у розмірах припуску на обробку, коливань механічних властивостей матеріалів, нестабільності якості заготовок, змін в параметрах різання, різних способів закріплення заготовок у пристроях, а також відхилень у тепловому режимі обробки та зношуванні ріжучого інструменту.

Розкидання розмірів деталей, що виникає внаслідок випадкових відхилень, аналізується за допомогою методів математичної статистики. Для виявлення закономірностей у розподілі розмірів заготовок застосовуються відповідні статистичні підходи. Загальне відхилення обробки можна виразити у вигляді такої залежності:

$$\Delta_{\Sigma} = f\left(\sum \Delta_i^{пост}; \sum \Delta_k^{пер}; \sum \Delta_m^{вип}\right), \tag{2.11}$$

де $\sum \Delta_i^{пост}$ - відхилення від розміру постійне; Δ_{Σ} - відхилення від розміру загальне; $\sum \Delta_k^{пер}$ - відхилення від розміру перемінне; $\sum \Delta_m^{вип}$ - відхилення від розміру випадкове.

Поточні відхилення в розмірах і формі є непередбачуваними варіаціями. Загальне відхилення, як і інші показники, наприклад, надійність, є наслідком випадкових явищ, і для його обчислення використовуються методи теорії ймовірностей та математичного аналізу.

2.5 Якість виробництва на фрезерних верстатах з ЧПК

Досягти високої якості обробки заготовок на верстатах можна двома основними способами: шляхом проведення експериментів і вимірювань або за допомогою автоматичного визначення розмірів на попередньо налаштованих фрезерних верстатах.

Перший метод застосовується при виготовленні одиничних або малих серій деталей, тоді як другий — у масовому та серійному виробництві. У обох випадках досягнення необхідної точності супроводжується виробничими

відхиленнями, що виникають з різних причин. Ефективність обробки значною мірою залежить від правильного вибору коефіцієнта якості налаштування. Сукупність методів, що використовуються для визначення цього коефіцієнта, називається розмірним налаштуванням інструменту металообробного.

Вище зазначений метод є виробничим процесом, що складається з кількох етапів експериментальних проходів і вимірювань. Під час обробки виробу здійснюється зріз пробного шару стружки, після чого верстат зупиняється для вимірювання отриманого діаметра. На основі результатів вимірювань вносяться корективи, і проводиться наступний пробний прохід. Цей цикл повторюється до досягнення необхідного розміру, після чого виконується обробка заготовки по всьому контуру. При виготовленні нового виробу процес налаштування металорізального інструменту знову повторюється через серію експериментальних проходів і вимірювань. Важливо зазначити, що цей метод є надзвичайно трудомістким.

За автоматичного визначення розмірів фрезерних верстатів налаштування здійснюється таким чином, щоб забезпечити необхідну точність, незалежно від кваліфікації оператора. Відповідальність за досягнення заданої якості покладається на налаштовувальника, який здійснює попереднє налаштування верстата, на інструментальника, що виготовляє пристрої, та на технолога, який обирає технологічні бази, методи виставлення і закріплення деталей та режими різання. Метод полягає в розрахунку рухів робочих органів і вирішенні розмірних ланок для визначення точності цих рухів. Розмірний ланцюг являє собою сукупність взаємопов'язаних розмірів, які формують замкнутий контур. Замкнутість ланцюга означає, що всі його елементи пов'язані між собою, і точність хоча б одного з них залежить від інших. Розміри, що входять до складу розмірного ланцюга, є його елементами. Зміни розмірів складових елементів призводять до зміни розмірів кінцевого елементу. Ланцюг стає лінійним, коли всі його елементи паралельні між собою.

Розділ 3. Оптимізація виробництва деталей на фрезерних верстатах з ЧПК

3.1 Процес роботи на фрезерному верстаті з числовим програмним керуванням

Фрезерні верстати використовуються для обробки складних деталей з плоскими і фасонними поверхнями за допомогою фрез або різців. Моделі з числовим програмним керуванням (ЧПК) мають подібну конструкцію до традиційних верстатів, але відрізняються тим, що рухи робочих елементів контролюються автоматизованою системою, керованою комп'ютерними програмами. Вони бувають вертикальні й горизонтальні, залежно від орієнтації шпинделя. Також верстати можуть мати від 1 до 5 осей управління, що визначає кількість координат, доступних для налаштування. Деякі моделі мають фіксований стіл, інші – рухомий. Керування головним рухом здійснюється за допомогою програми, яка може автоматично фіксувати заготовку для обробки. Це робить фрезерні верстати з ЧПК точними й ефективними інструментами для високоточного механічного виробництва.

Сучасні вертикальні фрезерні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) зазвичай оснащені станиною (1), яка слугує основою для кріплення всіх ключових вузлів та механізмів. Робочий стіл (2) може переміщуватися вперед-назад та в боки, використовуючи сталеві напрямні рейки (3). Пульт управління або ЧПК стійка (9) закріплена на кронштейні, і її положення можна регулювати для зручності роботи оператора.

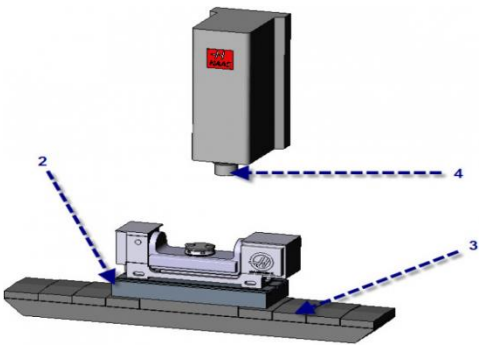

Рисунок. 3.1 – Будова фрезерного верстата з ЧПК

На робочому столі фрезерного верстата розміщуються заготовки та різноманітні пристосування, для яких передбачені спеціальні Т-подібні пази. Шпиндель (4) призначений для закріплення різального інструмента та забезпечення його обертання. Він розташований на колоні (5), яка дозволяє здійснювати вертикальні переміщення (вниз - вгору). Точність обертання шпинделя, його стійкість до вібрацій і жорсткість відіграють важливу роль у досягненні високої точності та якості оброблюваних деталей.

Кожухи захисні (7) призначені для забезпечення безпеки оператора, захищаючи його від стружки та мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), яка під тиском потрапляє в зону різання і може відбиватися від поверхонь верстата. Двері (6) дозволяють отримати доступ до робочої зони верстата. У барабані інструментів (8) зберігаються різноманітні металорізальні інструменти. Для вибору та встановлення потрібного інструменту в шпиндель використовується автоматизована система заміни інструментів, яка контролюється програмно.

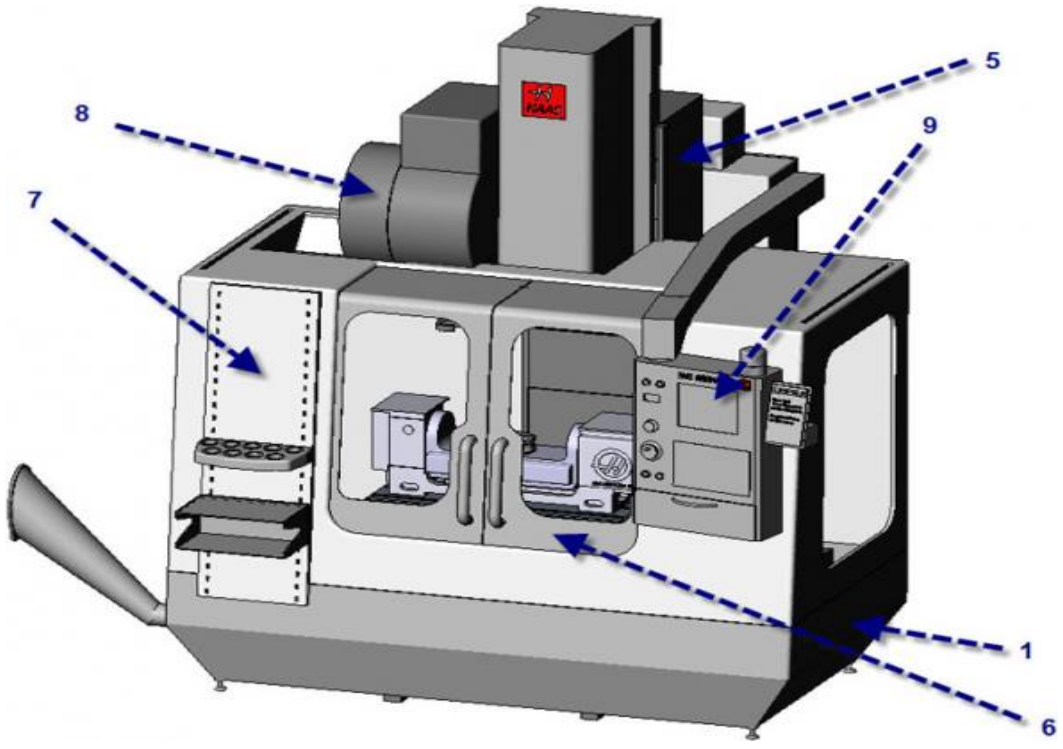

Рисунок. 3.2 – Будова фрезерного верстата з ЧПК

3.2. Виробництво деталі на фрезерному верстаті з ЧПК

У верстатах з числовим програмним керуванням управління здійснюється через програмний накопичувач, який містить геометричні та технологічні дані в цифровому форматі. Системи ЧПК включають спеціалізовані пристрої, методи та інструменти, необхідні для виконання операцій верстата. Вони призначені для передачі керуючих команд виконавчим механізмам верстата відповідно до запрограмованих інструкцій.

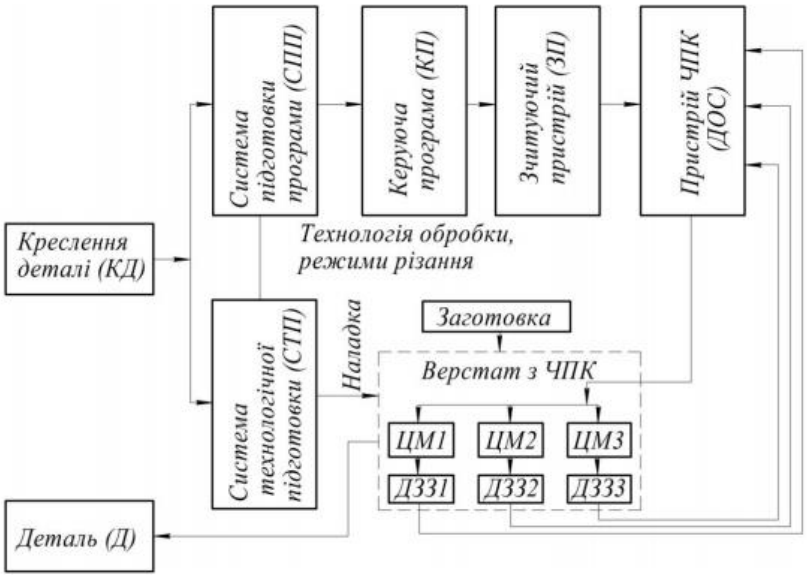

Рисунок. 3.3 – Схема процесу роботи на фрезерному верстата ЧПК

Коли деталь обробляється на фрезерному верстаті з ЧПК, інформація про неї передається одночасно до системи підготовки програм та технологічної підготовки. Остання надає необхідні дані для створення керуючої програми, включаючи технологічні процеси, режими різання та іншу важливу інформацію. На основі цих даних розробляється керуюча програма (КП). Після цього налагоджувальники встановлюють на верстаті необхідні пристрої та інструменти відповідно до документації з технологічної підготовки. Оператор розміщує заготовку і забирає готовий виріб. Зчитувальний пристрій (ЗП) отримує дані з програмного носія і передає їх на пристрій числового програмного керування, який надсилає керуючі команди до цільових механізмів (ЦМ) верстата, забезпечуючи виконання основних і

допоміжних рухів під час обробки. Пристрій ЧПК, на основі отриманих даних, керує рухом механізмів. Кожен механізм оснащений двигуном, що перетворює енергію та передає її до робочих органів верстата. Система ЧПК може змінюватися залежно від типу програмного носія, методу кодування в керуючій програмі та шляху передачі цієї програми в систему ЧПК. Пристрій ЧПК може бути розташований поруч з верстатом або безпосередньо на ньому. Двигуни, що відповідають за подачу матеріалу на верстаті, мають специфічну конфігурацію і є частиною системи ЧПК. Всі необхідні дані для обробки заготовки на верстаті з ЧПК зчитуються з керуючої програми, яка містить як геометричну, так і технологічну інформацію. Геометрична інформація описує розташування опорних точок траєкторії руху інструмента, а технологічна — містить дані про порядковий номер інструмента, швидкість і подачу. Програмні інструкції для управління верстатом записуються на програмний носій. Однією з важливих характеристик систем ЧПК є їх дискретність — мінімальний розмір лінійного чи кутового переміщення верстата за один імпульс. Зазвичай ця дискретність становить 0.01 мм/імпульс, проте сучасні системи можуть досягати роздільної здатності до 0.001 мм/імпульс, що значно підвищує точність управління в процесі обробки.

3.3 Забезпечення високої якості обробки заготовок на фрезерних верстатах з ЧПК

Ефективність виробництва компонентів на верстатах з числовим програмним управлінням залежить від результатів наукових досліджень та розробок у технічних галузях, а також відображається в економічних, технічних та організаційних показниках.

Оцінка різних варіантів технологічного процесу здійснюється шляхом порівняння їх собівартості, яка охоплює загальну вартість обладнання, витрати на виготовлення окремих компонентів та вартість конкретних технологічних операцій. Порівняння варіантів проводиться за низкою критеріїв, таких як

трудомісткість, ефективність використання матеріалу, коефіцієнт завантаження обладнання та інші показники.

Розглянемо, як організаційні фактори впливають на економічну ефективність управління числовим програмним керуванням. Покращення планування завантаження, своєчасне постачання матеріалів, ефективне управління програмами та налаштуванням металорізального інструменту на верстаті — усі ці аспекти сприяють збільшенню коефіцієнта завантаження верстата, що, в свою чергу, підвищує його продуктивність.

Вибір деталей за їхньою трудомісткістю та раціональне розміщення верстатів сприяють впровадженню багатоверстатного обслуговування. Наприклад, використання двохверстатного обслуговування дозволяє зменшити потребу в операторах верстатів вдвічі. Такий організаційний підхід позитивно впливає на кілька важливих показників, зокрема річний економічний ефект, зниження собівартості, збільшення продуктивності, скорочення числа кваліфікованих робітників і перерозподіл їх на посади програмістів-технологів.

Виробництва деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням визначається рядом факторів. Недотримання ключових показників та взаємозалежних параметрів може призвести до негативних економічних наслідків. Невірне визначення циклів обробки та їхніх параметрів може спричинити низьку продуктивність при використанні ЧПК-верстата. У той же час, правильно налаштований ЧПК-верстат може дати значні позитивні результати, такі як зниження коефіцієнта завантаження до 0,85 та збільшення їх продуктивності на 180 %.

Основні показники економічної ефективності виробництва деталей на верстатах з ЧПК включають: час повернення витрат, економічний ефект, ефект протягом служби верстатів та зниження собівартості продукції.

Зменшення собівартості виробництва після інтеграції додаткових параметрів у керуючу програму обробки на ЧПК-верстатах оцінюється через порівняння зниження витрат з додатковими капітальними інвестиціями.

Ключовим економічним показником ефективності виготовлення на ЧПК-верстатах є мінімальні зведені витрати:

$$П = C + E_н K, \tag{3.1}$$

де $E_н$ - капітальні вкладеня; C – собівартість процесу виробництва; K – капітальні вкладеня на виробництво деталі.

Витрат на виготовлення деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням дає змогу оцінити економічну ефективність виробництва за певний період. Для точного визначення реальної ефективності застосування вдосконалених ЧПК необхідно використовувати метод порівняння витрат з витратами, які були визначені за попереднім технологічним процесом виробництва.

Прибуток, отриманий за рік від впровадження одного фрезерного верстата з ЧПК, визначається як різниця між зведеними витратами на виготовлення однакової кількості виробів протягом одного року:

$$E_р = П_1 - П_2 = (C_1 + E_н K_1)\beta - (C_2 + E_н K_2), \tag{3.2}$$

де $П_1$ і $П_2$ - затрати за рокік експлуатації; C_1 та C_2 - собівартість деталей, за один рік; K_1 і K_2 - капітальні вкладеня на обладнання; β - коеф. приведених витрат на верстат з ЧПК:

$$\beta = xy, \tag{3.3}$$

де x - коеф. продуктивності верстата; y - коеф. річний робочий час використання фрезерного верстата з ЧПК.

Ця формула дозволяє визначити, що підвищення коефіцієнта приведення, зниження собівартості, а також додаткові інвестиції в капітал і виробничі ресурси сприятимуть зростанню економічного ефекту протягом року.

Інвестиції у капітальні активи призводить до зменшення річних заощаджень. Капітальні інвестиції у виробничі ресурси охоплюють вкладення в основні фонди та оборотні кошти. Основні фонди включають витрати на обладнання, приміщення для його зберігання, службово-побутові об'єкти, а

також засоби для складання та контролю капітальних проектів. Оборотні кошти витрачаються на поточні потреби, такі як налаштування, капітальні проекти, незавершене виробництво та підготовка персоналу.

Не всі елементи капітальних витрат зростатимуть при перенесенні виробництва деталі на високотехнологічний верстат з числовим програмним керуванням.

Капітальні вкладеня і їх окупність $T_{ок}$ визначають за наступною формулою:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - \beta K_1}{\beta C_1 - C_2}, \tag{3.4}$$

Ефективність виробництва на фрезерному верстаті з ЧПК повинна відповідати умовиі:

$$T_{ок} < \frac{1}{E_н} \tag{3.5}$$

Прибуток, який отримує користувач протягом усього періоду експлуатації верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК), розраховується за формулою:

$$E_р = \frac{E_{об}}{\alpha(\frac{1}{T_2} + E_н)} \tag{3.6}$$

де α = 1.1 – коеф., витрати на доставку та монтаж; T_2 - тривалість експлуатації нового фрезерного верстата з ЧПК.

3.4 Підвищення продуктивності роботи фрезерного верстата з ЧПК

Коефіцієнт зростання продуктивності нового фрезерного верстата з числовим програмним керуванням у порівнянні з початковим верстатом розраховується за наступною формулою:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} t_{оп1_i} P_{дет_i}}{\sum_{i=1}^{n_2} t_{оп2_i} P_{дет_i}} \tag{3.7}$$

де $t_{оп1_i}$ і $t_{оп2_i}$ - час виробництва одної деталі на базовому фрезерному верстаті, хв;

$P_{дет_i}$ - випуск за рік деталей одного найменування; n_2 - к-ть різних виробів, що виготовляються на новому фрезерному верстаті з ЧПК. Операційний час визначається за формулою:

$$t_{оп} = t_0 + t_в \tag{3.8}$$

Час використовується для оцінки змін у конфігурації та розмірах заготовки в процесі обробки. Його визначають за допомогою відповідної формули:

$$t_0 = \frac{L_i}{S_м} \tag{3.9}$$

де L - розрахункова довжина траєкторії обробки; i - к-ть проходів ріжучого інструменту; $S_м$ - подача на інструмент.

Під час фрезерування за один прохід, наприклад, при використанні кінцевої фрези для обробки дискового кулачка на фрезерному верстаті з механічним копіром і обертовим столом, що рухається з постійною швидкістю, загальний технологічний час можна визначити за формулою подібної структури:

$$t_0 = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{L}{S_{кр}} \tag{3.10}$$

де φ - кут дуги; ω - швидкість столу, який обертається (рад /с); L - дуга кола; $S_{кр}$ - кругова подача визначається за формулою: $S_{кр} = \omega R$.

Кут дуги визначається за наступною формулою:

$$\varphi = \frac{L}{R} \tag{3.11}$$

де R - радіус столу.

Паузи міжкадрові можуть виникати й в інших випадках обробки деталей. Це особливо стосується фрезерування криволінійних контурів металорізальним інструментом на верстатах з числовим програмуванням і лінійною інтерполяцією. Часові інтервали між цими паузами можна описати відповідною математичною залежністю:

$$t_{omn} = \sum_{1}^{i=n} \frac{60 l_i}{S_{M_i}} + (n-1)t_n \qquad (3.12)$$

де l_i - довжина елемента апроксимації лінійної, мм; S_{M_i} - подача обробки елементу апроксимації; n - ділянoки апроксимації.

Обслуговування багатоверстатне — це метод, за якого один оператор працює з кількома верстатами, що дозволяє збільшити продуктивність при виконанні певних умов. Однією з основних вимог є мінімізація часу простою верстатів, коли оператор чекає на наступні дії. Це досягається завдяки правильному розміщенню обладнання для скорочення шляху оператора, оптимальній організації робочої зони та грамотному вибору виробів для обробки на ЧПК-верстатах. Вибір виробів і технологічних процесів має забезпечити оптимальний час обробки на кожному верстаті. Такий підхід є особливо ефективним, коли час обробки становить від 6 до 8 хвилин або більше, що дозволяє уникнути простою і забезпечити безперервну роботу.

Перешкодою для підвищення ефективності багатоверстатного обслуговування на верстатах з числовим програмним керуванням є потреба в додаткових переміщеннях робочих органів. Це охоплює коригування процесу виготовлення деталей через програмне управління, низьку надійність самих верстатів та їхніх ЧПК-систем, а також необхідність регулярного очищення зони різання від стружки.

Детальний аналіз доцільності переходу на обслуговування складних верстатів з числовим програмним керуванням є необхідним. Використання таких верстатів з ЧПК дає значні переваги, особливо коли їх обслуговує і налаштовує висококваліфікований фрезерувальник. Ефективність обслуговування кількох верстатів з ЧПК, таких як токарні чи фрезерні, значно

зростає при раціональній організації процесу. Наприклад, один робітник може ефективно обслуговувати два верстати з ЧПК.

Підвищення ефективності праці значною мірою залежить від кількості верстатів, які можна обслуговувати одночасно. Великі можливості для збільшення продуктивності відкриваються через вдосконалення верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) та оснащення їх автоматизованими інструментальними магазинами для автоматичної заміни револьверними головками ріжучих інструментів.

Ключове значення для підготовки до багатоверстатного обслуговування та підвищення продуктивності праці має вирішення задачі автоматичного завантаження та розвантаження верстатів з числовим програмним керуванням. Спеціальний пристрій для автоматичного завантаження і розвантаження встановлюється на верстат і управляється через ту саму програму, що контролює процес обробки. Завдяки цьому кожен оператор може обслуговувати два верстати одночасно. Впровадження автоматизації процесів завантаження та розвантаження дозволяє збільшити час безперервної роботи верстатів без необхідності прямого втручання оператора, а також розширити кількість фрезерних верстатів.

3.5 Програмування виготовлення деталі на фрезерному верстаті з ЧПК

В програмному середовищі CAM системи Mastercam була розроблена 3D-модель деталі, а також створена робоча програма для виготовлення її прототипу. Керуючий код для цієї програми був сформований за допомогою програмного забезпечення CIMCO Edit, яке утворює програмний код, що використовує стандартні G-коди.

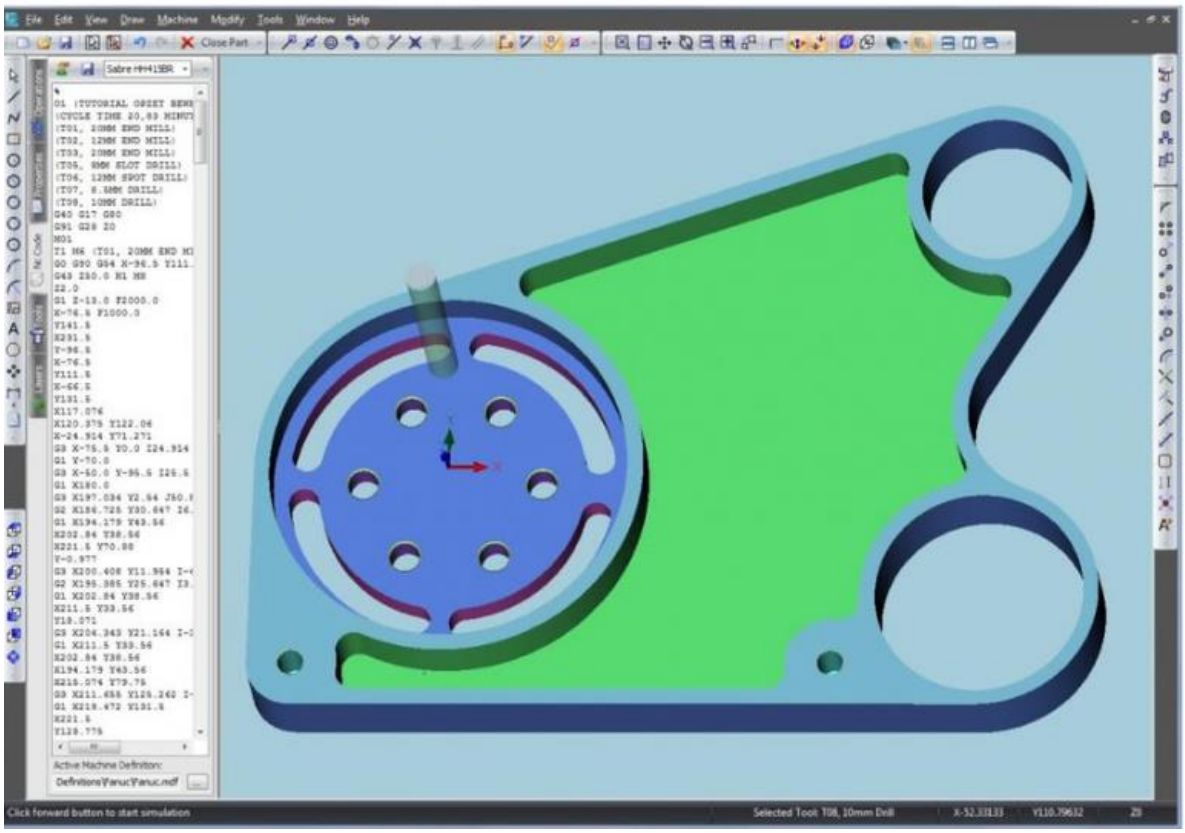

Рисунок. 3.4 – Модель деталі в середовищі CAM програми для генерації G-коду.

На виробництві значну відповідальність за виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним керуванням несе налагоджувальник-програміст. Цей фахівець має розробити креслення та створити керуючу програму, враховуючи специфіку обладнання підприємства. Окрім того, він повинен правильно обирати металорізальні інструменти для забезпечення ефективного процесу обробки з урахуванням наявних ресурсів та технічних можливостей підприємства.

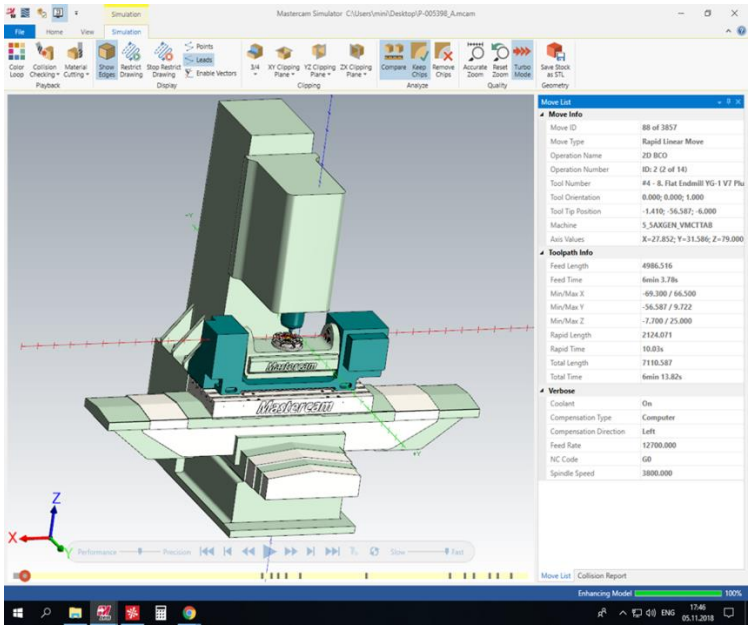

Рисунок 3.5. – Розміщення заготовки на фрезерному верстаті з ЧПК

Деталь повинна бути виготовлена відповідно до специфікацій, зазначених на робочому кресленні, які надає замовник. Він також вказує точні допуски на розміри, вимоги до шорсткості поверхні, тип матеріалу та масу одиничного виробу.

При допомозі постпроцесора програміст генерує керуючий код, що відповідає вимогам конкретного верстата. Цей код включає G та M коди, а також координати опорних точок для визначення траєкторії руху інструменту. Потім код записується на програмний носій, який використовується для передачі даних на пульт керування верстатом. Після закріплення заготовки та налаштування верстата можна розпочати процес виготовлення деталі.

Фрагмент G-коду для фрезерного верстата з ЧПК:

```
%
O00(P-005398A)
(OBS G58 POSITIONRING AV BOR)
(---------------------------------------)
( T10 | 50. / 45. FACE MILL ZC |M| | H10 )
( T4 | 8. FLAT ENDMIL YG-1 V7 PLUS SORT |M| | H4 )
( T1 | 10 / 12 SPOT DRILL YG-1 | H1 )
( T2 | 9 DRILL YG-1 SHORT | H2 )
( T3 | 5 DRILL YG-1 SHORT | H3 )
( T5 | 5 FLAT ENDMILL  ST SUS |M| | H5 | D5 )
( T7 | 4 / 9 CHAMFR MILL | H7 | D7 )
(---------------------------------------)
N10 G21 (METRISK POSITONERING)
N11 G0 G17 G40 G49 G80 G90
( 50. / 45. FACE MILL ZCC |M| | T10 | D10 | H10 | )
N12 T10 M6
N736 G1 Y3.518
N737 G2 X-46.485 Y6.818 I3.3 J0.
N738 X-45.912 Y6.768 I0. J-3.3
N739 G1 X-15.636 Y1.432
N740 G3 X-14.126 Y1.3 I1.51 J8.568
N741 G1 X-2.
N742 G2 X-1.081 Y.919 I0. J-1.3
N743 G1 X.919 Y-1.081
N744 G2 X1.3 Y-2. I-.919 J-.919
N745 G1 Y-28.
N746 G2 X.919 Y-28.919 I-1.3 J0.
N747 G1 X-1.081 Y-30.919
N748 G2 X-2. Y-31.3 I-.919 J.919
N749 G1 X-14.126
N750 G3 X-15.636 Y-31.432 I0. J-8.7
N751 G1 X-45.912 Y-36.768
```

```
N13 G0 G90 G54 X-30. Y-25. S1100 M3
N14 G43 H10 Z25. M8
N15 Z2.
N16 G1 Z0. F40.
N17 X66.5
N18 G0 Z25.
N19 M9
……
( 4. / 90. CHAMFER MILL | T7 | D7 | H7 | )
N724 T7 M6
N725 G0 G90 G55 X-51.408 Y-35.691 S5500 M3
N726 G43 H7 Z25. M8
N727 Z0.
N728 G1 Z-1.5 F1200.
N729 G41 D7 X-50.642 Y-35.048
N730 G3 X-49.785 Y-33.209 I-1.543 J1.839
N731 G1 Y-32.901
N732 G2 X-48.929 Y-31.68 I1.3 J0.
N733 G3 X-37.25 Y-15. I-6.071 J16.68
N734 X-48.929 Y1.68 I-17.75 J0.
N735 G2 X-49.785 Y2.901 I.444 J1.221
N752 G2 X-46.485 Y-36.818 I-.573 J3.25
N753 X-49.785 Y-33.518 I0. J3.3
N754 G1 Y-33.209
N755 G3 X-50.642 Y-31.371 I-2.4 J0
N756 G1 G40 X-51.408 Y-30.728
N757 G0 Z25.
N758 M9
N759 G90
N760 G53 Z0.
N761 G53 Y0 X-230
N762 M30
%
```

Завдяки наявності в барабані всіх необхідних ріжучих інструментів і автоматичній їх заміні, допоміжний час на один цикл обробки зменшується до 10 секунд. Це значно підвищує продуктивність верстата з числовим програмним керуванням і значно скорочує час виготовлення кожної деталі.

Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій.

Під час робіт людина (як суб'єкт праці) за допомогою певних знарядь (машини, інструмент, пристрої тощо) діє на предмет праці в умовах різноманітних середовищ: механічні, хімічні, теплові, електричні, біологічні та інші. Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише тоді, коли вони не перевищують певних рівнів і тривалості. За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке кваліфікується як нещасний випадок, травма тощо.

Поміж різних чинників виробництва, які можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі і небезпечні виробничі чинники. Небезпечний виробничий чинник – це такий, дія якого на працюючих у певних умовах призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я [4-6].

До фізичних небезпечних і шкідливих виробничих чинників належать: рухомі машини, механізми та окремі деталі; вироби, заготовки, матеріали; конструкції, що можуть руйнуватися; запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищена або понижена температура матеріалів та поверхонь обладнання, повітря робочої зони; високі рівні шуму та вібрації на робочому місці, наявність отрутохімікатів тощо.

Той чи інший виробничий чинник за певною межею може не спричиняти негативних наслідків. Тому існує поняття гранично допустимого рівня виробничого чинника – дія встановленої тривалості, що не призволить до травми чи захворювання у процесі роботи та у після робочий період. Виробнича небезпека – стан виробництва (умови праці, стан обладнання, робочого місця тощо), при якому існує можливість (ймовірність) дії на працівників небезпечного виробничого чинника з пошкодженням здоров'я. Факт пошкодження здоров'я людини від дії небезпечного чинника кваліфікується як нещасний випадок [6].

Основним завданням безпечної експлуатації машинно-тракторного парку під час виконання робіт у рослинництві є забезпечення 6 дотримання вимог охорони праці під час робіт щодо наладки, комплектування та експлуатації сільськогосподарської техніки. Виконання цих завдань повинно забезпечуватись за рахунок наявних в господарстві кадрів, їх ефективної співпраці та техніки, що пройшла технічний огляд і відповідає вимогам нормативів з охорони праці.

Під час виконання робіт машинно-тракторним парком у рослинництві обслуговуючий персонал піддається дії шкідливого впливу виробничих чинників - мікроклімату робочої зони (температура, швидкість руху повітря, вологість, тиск, освітлення та світлове випромінювання), виробничому пилу, шуму, вібрації і токсичності відпрацьованих газів тощо.

Під час виконання ґрунтообробних виникає підвищена запиленість на робочому місці. Для захисту людини від шкідливої дії пилу необхідно застосовувати механізацію, автоматизацію виробничих процесів, герметизацію виробничих приміщень, кабін машин тощо. Дуже часто виробничий пил виділяється безпосередньо на робочих місцях і потрапляє в зону дихання людини, тому потрібно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, спецодяг, респіратори. Особливу небезпеку являють собою відпрацьовані гази, в склад яких входить окис вуглецю.

Таким чином, для запобігання появи можливих чинників травмонебезпечних ситуацій під час польових робіт, особливо при викоРистанні ґрунтообробних машин з активними робочими органами, потрібно враховувати вплив небезпечних чинників - обертових частин (валів, карданних передач, гострих ножів ротора), вібрації, запилення робочого місця тощо.

Електробезпека. Заходи щодо безпечного виконання робіт на електричних установках поділяють:

- організаційні: призначення відповідальних осіб, оформлення наряду на виконання робіт, перевірка кваліфікації, наявність посвідчення, організація

нагляду за проведенням робіт, оформлення документації після завершення робіт тощо;

- технічні: викоРистання електрозахисних засобів, огородження робочого місця, встановлення знаків безпеки, контроль ізоляції, захисне зелення, занулення, подвійна ізоляція, захисне відмикання, вирівнювання електричних потенціалів тощо.

Відповідно до правил влаштування електроустановок від ураження струмом людей і сільськогосподарських тварин при дотиканні до струмопровідних частин основні вимоги до електроустановок такі: захист надійною електричною ізоляцією струмопровідних частин, недоступність для випадкового дотику до них, автоматична сигналізація про небезпеку дотику до струмопровідних частин або наближення до них на недопустиму віддаль, попереджуюча сигналізація, написи і плакати, захисні засоби і пРистрої. Жодний з наведених засобів не може окремо гарантувати безпеки при дотиканні, тому в кожному конкретному випадку для створення безпечних умов експлуатації електроустановок застосовують комплекс таких засобів.

Недоступність струмопровідних частин обладнання досягається спеціальними огородженнями струмопровідних частин, встановленням їх на недоступній для людей висоті і застосуванням блокувальних пРистроїв. Сигнальні пРистрої сповіщають людину про наближення до електричної установки напругою 380 В на відстань 1 м. Виготовлені у вигляді малогабаритних приладів сигналізатори прикріплюють до спецодягу або монтуються на захисному шоломі.

За призначенням усі захисні засоби поділяються на групи: ізолюючі, додаткові від дії світлового випромінювання і електричної дуги, запобіжні від падіння з висоти і огороджуючи та інші.

4.2. Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки

У цьому пункті потрібно відповідно до теми роботи охарактеризувати особливості умов та обставин виникнення небезпечних ситуацій з врахуванням наступних обґрунтувань. Кожний небезпечний чинник незалежно від його виду, рівня та інших властивостей має певну зону своєї дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення то її можна вважати постійною. Якщо в процесі роботи така зона може змінюватись в наслідок зміни рівня небезпечного чинника, його переміщень у просторі, то вона - змінна [1-2].

У деяких випадках (під час аварійних ситуацій) небезпечний виробничий чинник може значно виходити за межі визначеної (фіксованої) зони. При цьому небезпека травмування працюючого виникає уже за межами небезпечної зони, що була встановлена заздалегідь. Ось чому кожен працюючий на конкретній машині чи на певному робочому місці повинен добре знати про таку небезпеку.

Загалом, працюючий, допускаючи небезпечну дію (НД), потрапляє у небезпечні обставини (НО), за яких на нього може діяти небезпечний чинник (НФ) за небезпечних умов (НУ). Так створюється інша подія, що має назву небезпечної ситуації (НС).

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають певну достовірність виникнення, тобто небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС), а також наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) та сприятлива подія належать до випадкових явищ.

Аналіз процесів формування та виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час виконання робіт у рослинництві, зокрема польових ґрунтообробних робіт, здійснюється на основі таблиці, яка містить відомості про виробничі небезпеки (небезпечні умови, дії, ситуації), можливі наслідки та заходи запобігання небезпечним ситуаціям за видами робіт, виробничих підрозділів, робочих місць, складу агрегату.

Після кожного описання наводиться графічна схема – модель процесу можливого виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків. Основною метою такої схеми окреслення процесів формування і виникнення травмонебезпечних ситуацій, аварій є встановлення найбільш небезпечних дільниць, а також розробка заходів щодо запобігання НС.

Найбільш поширеними заходами запобігання процесам формування та виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій є перевірка безпечності техніки, оснащення машини засобами безпеки, проведення інструктажів з охорони праці.

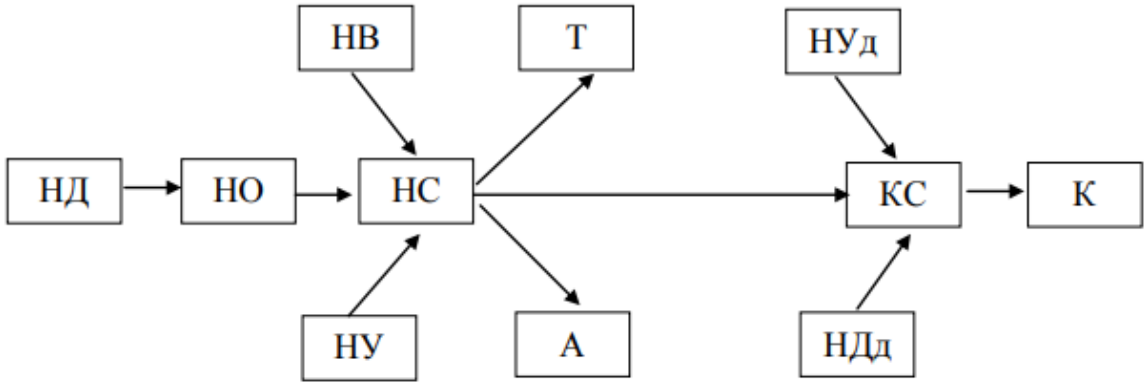

Рисунок. 4.1. Блок-схема процесу формування та виникнення небезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій: НВФ - небезпечний виробничий фактор; НУ - небезпечні умови; НД - небезпечні дії; НО - небезпечні обставини; НС - небезпечна ситуація; А - аварія; Т - травма, КС - критична ситуація; НУД - небезпечні умови додаткові; НДЯ - небезпечні дії додаткові; К — катастрофа.

На схемі видно, що працюючий, допускаючи небезпечну дію (НД) потрапляє у небезпечні обставини (НО), за яких на нього може діяти небезпечний фактор (НВФ) при небезпечній умові (НУ). Так створюється інша подія, що має назву небезпечної ситуації (НС). Усі явища, що формують небезпечну ситуацію мають певну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія (подія без аварії і травм) належать до випадкових явищ.

Наприклад. При експлуатації виробничого обладнання виникла одна небезпечна умова (НУ1). Вона стала причиною виникнення іншої небезпечної умови (НУ2), яка, в свою чергу, здатна викликати наступну небезпечну умову (НУ3), і так далі, до виникнення небезпечної ситуації (НС), наслідком якої може бути аварія (А) або/і травма (Т). Описаний потік подій можна чекати при експлуатації виробничого обладнання. Наприклад, внаслідок конструктивного недоліку незбалансований ротор (НУ1) може викликати появу вібрації (НУ2), яка, в свою чергу, призведе до підвищеного спрацювання підшипників (НУ3), і так далі, до виникнення аварійної ситуації (руйнування підшипників і викидання частин ротора внаслідок його руйнування (НС).

Аналогічний потік небезпечних подій спостерігається при експлуатації заточувальних верстатів та іншого обладнання. Загальний вигляд описаного потоку випадкових небезпечних подій такий:

$$НУ1 \rightarrow НУ2 \rightarrow НУ3 \rightarrow \ldots \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

Існуюча небезпечна умова (або така, що може виникнути) (НУ) може спонукати працюючого до допущення ним помилок у процесі роботи або інших небезпечних дій (НД), внаслідок чого виникне небезпечна ситуація (НС). Потік подій і залежність між ними у цьому випадку можна зобразити у вигляді:

$$НУ \rightarrow НД \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

За такою схемою небезпечні події можуть траплятися у тих випадках, коли небезпечною умовою є конструктивний недолік машини або іншого виробничого обладнання. Наприклад, зупинка робочих органів машини (НУ) призведе до втручання людини в її роботу з метою його усунення. При цьому можуть бути порушені певні вимоги безпеки (двигун або сама машина не зупинені, хоч цього вимагають правила). Такі дії є небезпечними (НД), хоч виникли вони саме через конструктивні недоліки. У таких випадках небезпечна умова може бути ліквідована не шляхом навчання людини правилам безпеки, а розробкою і встановленням спеціального механізму для самоочищення робочих органів - різних дозаторів, норій, транспортерів тощо.

В умовах виробництва можливі такі випадки, коли одна допущена помилка працюючого (оператора) може потребувати вжиття швидких заходів (швидких 8 дій), а якщо знову буде допущена помилка, це призведе до виникнення небезпечної ситуації.

Схема потоку випадкових подій має вигляд:

$$НД1 \rightarrow НД2 \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

або

$$НД1 \rightarrow НД2 \rightarrow НД3 \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

На схемі видно, що наслідками таких подій може бути аварія і/або травма. Прикладом виникнення потоку таких подій є робота транспортного засобу. Допущена водієм перша помилка — перевищення допустимої швидкості руху (НД1), може викликати різке гальмування (НД2), внаслідок чого виникає занос транспортного засобу та його перекидання (НС). При цьому може бути пошкоджений транспортний засіб (А) і/або травмований водій (Т).

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Закон “Про цивільну оборону України” визначає надзвичайну ситуацію як порушення нормальних умов життя та діяльності людей на об’єкті чи території, спричинених аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, великою пожежею, викоРистання засобів ураження, що призвели чи можуть призвести до людських чи матеріальних втрат.

Аварія – це небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об’єкті, території або акваторії загрозу для життя і здоров’я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю.

Катастрофа – це раптове лихо чи велика подія, яка тягне за собою тяжкі наслідки для людини, тваринного чи рослинного світу, змінюючи умови середовища існування. Це результат різкого чи стрибкоподібного переходу

природного, біологічного чи соціально-економічного середовища з виникненням уражаючих факторів, які наносять значну шкоду соціальним і природним системам. Іноді, підкреслюючи всесвітній характер катастрофи, її називають катаклізмом. Залежно від масштабності та тривалості впливу на природне середовище, катастрофи розділяють на локальні, регіональні та глобальні. Прикладами глобальних катастроф можуть служити особливо тяжкі аварії, військові конфлікти, різні стихійні лиха, що заподіюють велику шкоду.

В Україні щороку виникають тисячі надзвичайно складних ситуацій природного та техногенного характеру, внаслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Сьогоднішня ситуація в Україні щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф характеризується як дуже складна. Тенденція зростання кількості природних і особливо техногенних НС, складність цих наслідків змушують розглядати їх як серйозну загрозу безпеці окремої людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності розвитку економіки країни. Для роботи в районі надзвичайної ситуації потрібно залучати значну кількість людських, матеріальних і технічних ресурсів.

Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 “Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій” затверджено “Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій”. Згідно з цим положенням, за характером походження подій, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють 4 класи надзвичайних ситуацій: техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та

будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічних аварій на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації грунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру – це ситуації, пов'язані з протиправними діями тероРистичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза тероРистичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікації, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пРистроїв у громадських місцях, викрадення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру – це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Залежно від територіального поширення, обсягів, заподіяних або очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють 4 рівні надзвичайних ситуацій – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об'єктовий.

Надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей (Автономної республіки Крим, міст Києва та Севастополя) або загрожує транскордонним

перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремої області, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), Автономної республіки Крим, областей, міст Києва та Севастополя або загрожує перенесенням на територію суміжної області, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайні ситуації місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно-небезпечного об’єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об’єкта. До місцевого рівня також належать всі НС, які виникають на об’єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків потенційно-небезпечних об’єктів.

Надзвичайна ситуація об’єктового рівня – це НС, яка не підпадає під зазначені вище визначення, тобто така, що розгор-тається на території об’єкта або на самому об’єкті, її наслідки не виходять за межі об’єкта або його санітарно-захисної зони.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективний засіб зменшення шкоди та збитків, які несе суспільство, держава і кожна окрема особа в результаті НС, – запобігати їх виникненню, а в разі виникнення проводити заходи, адекватні ситуації, що склалася.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих

на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення НС на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій із метою недопущення їх переростання у НС або пом'якшення її можливих наслідків.

Зазначені функції запобігання щодо НС техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, положення про яку затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 1198.

Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру (ЄДСЗР) включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організовують проведення роботи із запобігання НС техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

Основною метою створення ЄДСЗР є забезпечення реалізації державної політики у сфері запобігання і реагування на НС, забезпечення цивільного захисту населення.

Завданнями ЄДСЗР є:

– розробка нормативно-правових актів, а також норм, правил та стандартів із питань запобігання надзвичайним ситуаціям та забезпечення захисту населення і територій від їх наслідків;

– забезпечення готовності центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на НС;

– забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню НС;

– навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення НС;

– виконання цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання НС, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;

– збирання й аналітичне опрацювання інформації про НС, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків НС;

– прогнозування й оцінка соціально-економічних наслідків НС, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;

– створення, раціональне збереження і викоРистання резерву матеріальних та фінансо вих ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на НС.

Згідно із Законом “Про цивільну оборону України” “громадяни України мають право на захист свого життя і здоров’я від наслідків аварій, катастроф, значних пожеж, стихійного лиха і ви-магати від Уряду України, інших органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і господарювання гарантій щодо його реалізації.

Держава як гарант цього права створює систему цивільної оборони, ставить за мету захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру”.

Головною функцією органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій, незалежно від форм власності та господарювання, у разі виникнення НС, є захист населення та організація його життєзабезпечення.

Заходи щодо захисту населення плануються та проводяться по всіх районах, населених пунктах, охоплюють усе населення. У той же час характер та зміст захисних засобів встановлюється залежно від ступеня загрози, місцевих умов із урахуванням важливості виробництва для безпеки населення, інших економічних та соціальних чинників. З цією метою міста розподіляються за групами важливості, а об’єкти – за категоріями стосовно

засобів захисту населення у разі надзвичайної ситуації. Цей розподіл здійснює Кабінет Міністрів України.

Для міст встановлені наступні групи:

– особливої важливості;

– першої групи;

– другої групи;

– третьої групи.

Для підприємств та організацій встановлені наступні категорії:

– особливої важливості;

– першої категорії;

– другої категорії.

Основні заходи щодо захисту населення плануються та здійснюються завчасно і мають випереджувальний характер. Це стосується, перш за все, підготовки, підтримання у постійній готовності індивідуальних та колективних засобів захисту, їх накопичення, а також підготовки до проведення евакуації населення із зон підвищеного ризику.

Організація життєзабезпечення населення в умовах надзвичайних ситуацій є комплексом заходів, спрямованих на створення і підтримання нормальних умов життя, здоров’я і працездатності людей.

Він включає:

– управління діяльністю робітників та службовців, усього населення при загрозі та виникненні надзвичайних ситуацій;

– захист населення та територій від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха;

– забезпечення населення питною водою, продовольчими товарами і предметами першої необхідності;

– захист продовольства, харчової сировини, фуражу, вододжерел від радіаційного, хімічного та біологічного зараження (забруднення);

– житлове забезпечення і працевлаштування;

– комунально-побутове обслуговування;

– медичне обслуговування;

– навчання населення способам захисту і діям в умовах надзвичайних ситуацій;

– розробку і своєчасне введення режимів діяльності в умовах радіаційного, хімічного та біологічного зараження;

– санітарну обробку;

– знезараження території, споруд, транспортних засобів, обладнання, сировини, матеріалів і готової продукції;

– підготовка сил та засобів і ведення рятувальних і інших невідкладних робіт у районах лиха й осередках ураження;

– забезпечення населення інформацією про характер і рівень небезпеки, порядок поведінки; морально-психологічну підготовку і заходи щодо підтримування високої психологічної стійкості людей в екстремальних умовах;

– заходи, спрямовані на попередження, запобігання або послаблення несприятливих для людей екологічних наслідків надзвичайних ситуацій та інші заходи.

Усі ці заходи організовуються державною виконавчою владою, органами управління цивільної оборони при чіткому погодженні між ними заходів, що проводяться. Керівники підприємств, установ і організацій є безпосередніми виконавцями цих заходів. Заходи розробляються завчасно, відображаються у планах цивільної оборони і виконуються в період загрози та після виникнення надзвичайної ситуації.

З метою недопущення гибелі людей, забезпечення їх нормальної життєдіяльності у надзвичайні ситуації передусім повинно бути проведено сповіщення населення про можливу загрозу, а якщо необхідно, – організовано евакуацію.

Ліквідація наслідків надзвичайної ситуації проводиться з метою відновлення роботи підприємства організації, навчальних закладів тощо. Вона включає:

– розвідку осередків надзвичайних ситуацій;

– аварійно-рятувальні й лікувально-евакуаційні заходи;

– локалізацію й гасіння пожеж;

– відбудову споруд і шляхів сполучення;

– проведення ізоляційно-обмежувальних заходів в осередках біологічного зараження;

– проведення спеціальної обробки населення;

– дезактивації, дегазації техніки, доріг, місцевості тощо.

Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі

Розглянемо два можливі способи виготовлення корпусної деталі для порівняння: на універсальному фрезерному вертикальному верстаті 6Р12 та на верстаті з ЧПК HAAS (аналог 6 Р13 Ф3).

Порівняння різних методів обробки можна здійснити, орієнтуючись на вартість виробництва.

$$C_o = \frac{(C_{пз} \cdot T_{шт.к.})}{60 \cdot K_в}, коп., \quad (5.1)$$

де $C_{пз}$ - витрати часу, коп/год,

$T_{шт\text{-}к}$ –калькуляційний час виконання технологічної операції, хв,

$K_в$ – коеф. виконання норми, $K_в$ = 1.3.

$$C_{пз} = C_з + C_{чз} + E_н(K_c + K_з), \quad (5.2)$$

де $C_з$ – зарплата робітника, основна і додаткова з додатковими нарахуваннями, коп/год.

$$C_з = \varepsilon \cdot C_{тф} \cdot к \cdot y, \quad (5.3)$$

де ε - коеф., який враховує додаткову зарплату робітника, ε = 1.5;

$C_{тф}$ - тарифна ставка відповідного розряду за годину роботи. За 4 розряду $C_{тф}$ = 3024 коп/год.

к – коеф. заробітньої плати налагоджувальника верстата, *к* = 1;

у – коеф., що враховує оплату праці оператора під час обслуговування кількох верстатів, тоді для універсального верстата 6Р12 *у* = 1, а для верстата з ЧПК HAAS (аналог 6Р13Ф3) *у* = 0.65.

$C_{чз}$ – затрати часу зміни на експлуатацію робочого місця, коп/год,

$$C_{чз} = C_{чз}^{\delta_п} \cdot k_m \quad (5.4)$$

де $C_{чз}^{\delta_п}$ - затрати часу зміни на базовому рівні,

k_m - коеф., який вказує у скільки раз витрати на роботу цього верстата більші, ніж витрати у верстата взятого за базоввий,

- для верстата 6 Р 12 - k_m = 1.3;
- для верстата HAAS (аналог 6 Р13 Ф3) - k_m = 2.5.

E_H – коеф. ефективності використання, E_H = 0,15;

K_c, $K_з$ –капітальні вкладення у верстат та будівлю для налагодження виробництва.

Капітальні грошові вкладення на верстат:

$$K_c = \frac{Ц \cdot 100}{F_g \cdot \eta_3} \tag{5.5}$$

де $Ц$ – вартість верстата із затратами на транспортування, грн,

$Ц1$ = 450000 грн, $Ц2$ = 960000 грн,

F_g - річний фонд роботи верстата в рік, F_g = 3987 год., η_3 = 0,8.

Грошові капітальні вкладення в будівлю для налагодження виробництва:

$$K_з = \frac{F \cdot H \cdot 100}{F_g \cdot \eta_3} \tag{5.6}$$

де H - вартість 1 м^2 виробничої площі, грн , H = 2100 грн/м^2.

F – площа яку займає верстат, F_1 = 11.0 м^2, F_2 = 15.0 м^2.

Таблиця 5.1

Результати порівняння виробництва деталі на верстатах

6 Р12	HAAS (аналог 6 Р13 Ф3)
1	2
зарплата працівника, яка включає основні та додаткові нарахування, разом із всіма доплатами	
$C_{з1} = \varepsilon \cdot C_{тф} \cdot к \cdot у = 1{,}5 \cdot 3024 \cdot 1 \cdot 1 = 4536 коп./год.$	$C_{з2} = 1{,}5 \cdot 3024 \cdot 1 \cdot 0{,}65 = 2948{,}4 коп./год$
затрати часу на організацію робочого місця	
$C_{чз1} = C_{чз}^{\delta_n} \cdot k_m = 2850 \cdot 1{,}3 = 3705 коп./год.$	$C_{чз2} = 2850 \cdot 2{,}5 = 7125 коп./год.$

Капітальні грошові вкладення на верстат	
$K_{c1} = \frac{450000 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 14108,4 коп./год$	$K_{c2} = \frac{960000 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 30097,8$ коп./год
Капітальні грошові вкладення в будівлю для виробництва	
$K_{з1} = \frac{11 \cdot 2100 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 724,2 коп./год.$	$K_{з2} = \frac{15 \cdot 2100 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 987,6 коп./год.$
Затрати часу під час виробництва корпусної деталі	
$C_{пз1} = 4536 + 3705 + 0,15 \cdot (14108,4 + 724,2) = 10465,89 коп./год.$	$C_{пз2} = 2948,4 + 7125 + 0,15 \cdot (30097,8 + 987,6) = 14736,21 коп./год.$
Час штучно-калькуляційний виконання технологічних операції виготовлення деталі	
$T_{шт.к.1} = 4,785 хв.$	$T_{шт.к.2} = T_{шт.к.1} \cdot 0,65 = 4,785 \cdot 0,65 = 3,11 хв.$
Собівартість виробництва корпусної деталі	
$C_{о1} = \frac{(C_{пз} \cdot T_{шт.к.})}{60 \cdot K_в} = \frac{10465,89 \cdot 4,785}{60 \cdot 1,3} = 642,04 коп.$	$C_{о2} = \frac{14736,21 \cdot 3,11}{60 \cdot 1,3} = 587,6 коп.$

Згідно з проведеними розрахунками, виявляється, що вигідніше виробляти дану деталь на верстаті з ЧПК HAAS (аналог 6 Р 13 Ф 3).

Річна економія за виготовлення 1000 корпусних деталей:

$$E_T = \frac{(C_{o1} - C_{o2}) \cdot N}{100} = \frac{(529,04 - 509,25) \cdot 1000}{100} = 197,9 грн. \quad (5.7)$$

Для досягнення більш точних результатів та зниження вартості при впровадженні розробленої моделі поліпшення якості обробки на верстаті з ЧПК, проводиться аналіз усіх факторів, що впливають на витрати. Ці фактори можуть включати: вибір матеріалів; вибраний технологічний процес; вибране енергозабезпечення; працездатність обладнання; управління відходами; якість продукції яка випускається.

Висновки

1. Вивчено основні показники ефективності виробництва деталей за допомогою фрезерних верстатів з числовим програмним керуванням. З'ясовано, що ефективність використання ЧПК залежить від рівня концентрації та складності технологічного процесу виготовлення деталі на конкретному фрезерному верстаті.

2. Створено функціональну схему управління фрезерним верстатом з числовим програмним керуванням. Окрім того, визначено порядок програмування керуючого коду для забезпечення коректного технологічного процесу виготовлення деталей і заготовок на таких верстатах.

3. Створена модель виробничого процесу для виготовлення виробів на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням, орієнтована на досягнення високої якості продукції. Модель передбачає забезпечення оптимального періоду експлуатації металорізального інструменту з максимальною стійкістю.

4. Розроблена методика, що охоплює основну інформацію про виробничий процес виготовлення деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням. Запропоновані методи не лише сприяють значній оптимізації продуктивності виготовлення деталей, але й ефективно підвищують ефективність процесу в умовах багатоопераційного обслуговування верстатів з ЧПК.

5. Виявлені фактори, які допомагають зменшити втрати під час виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним управлінням, що в свою чергу суттєво підвищує продуктивність виробничого процесу.

Бібліографічний список

1. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Вид.ДУ « Львівська політехніка», 2000.- 380 с.

2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко В. Металорізальні верстати : Навчальний посібник.- Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2015.- 405 с.

3. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко В. Металорізальні верстати : Навчальний посібник.- Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2009.- 268 с.

4. Булей І. А. Проектування підприємств з виробництва і ремонту сільськогосподарських машин. – К.: Вища школа, 1993. – 288с.

5. Бутко Д.А., Лущенков В.Л., Лехман С.Д. Практикум з охорони праці. – К.: Урожай, 1995. – 144 с.

6. Гайворонський, В. А. Програмування автоматизованого обладнання. Технологічні основи обробки корпусних деталей : навчальний посібник // В. А. Гайворонський. – К. : Кондор, 2007. – 290с. – ISBN 978-966- 8251-85-6.

7. Гряник Т.М. та ін. Охорона праці. – К.: Урожай, 1997. – 272 с.

8. Губський А.І. Цивільна оборона, К: Міністерство освіти, 1996, 216с.

9. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. – Львів. : Афіша, 2001. – 236 с.

10. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. – К.: Вища школа, 1993.- 413 с.

11. Когут М.С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні. Підручник. – Львів: Львівська політехніка, 2000. – 352с.

12. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. (https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36433/1/IOAV_verstaty_ChPK.pdf).

13. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. — К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.

14. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В. В. Попович, В. В. Попович. — Львів: Світ, 2006. — 624 с.

15. Правила пожежної безпеки в Україні / Укр. НДІПБ МВС України. – Київ: “Укрархбудінформ”, 1995. – 197 с.

16. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.; За ред. М. А. Сологуба. — 2-ге вид., перероб. і допов. — К.: Вища школа, 2002. — 374 с.

17. Основи методології та організації наукових досліджень : навч. Посібник для студентів, курсантів, аспірантів і ад’ютантів ; за ред.. А. Є. Конверського. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 352 с.

18. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК :навчальний посібник / С. Л. Міранцов, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко, Є. В. Мішура, О. С. Ковалевська – Краматорськ : ДДМА, 2011. – 152 с. ISBN 978-966-379-549-2.