Згідно з формою №Н-9.01
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року №384

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи магістра на тему

Аналіз раціональних варіантів суміщення технологічних операцій на верстаті з CNC

Виконав: студент групи ТД-62м
спеціальності 187 Деревообробні та меблеві технології
ОП «Технології деревообробки»
Бернацький Я.І.
Керівник: к.т.н. Миськів Є.М.

Рецензент: Мисик М.М.
(прізвище та ініціали)

Львів – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр.
Спеціальність 187 Деревообробні та меблеві технології.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри: ТЛ,С і ДБВ
доц. Ференц О.Б.
"30" серпня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Бернацький Ярослав Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Аналіз раціональних варіантів суміщення технологічних операцій на верстаті з CNC

Керівник роботи к.т.н. Миськів Є.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом університету від "11" липня 2023р № С-305

2. Термін подання студентом роботи 15 січня 2024р
3. Вихідні дані до роботи
Матеріали переддипломної практики, технологіні процеси виготовлення меблевих деталей на верстатах з ЧПК, методи дослідження витрат робочого часу.

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)
1 Огляд інформаційних джерел, аналіз задач оптимізації обробних центрів і ліній. 2 Структура інформаційних потоків автоматизованого управління виробництвом меблів. 3 Аналіз впливу суміщення операцій на продуктивність верстата з CNC. 4 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу
Презентаційний матеріал, схеми, таблиці, графічні залежності

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_____

Керівник роботи _____ Миськів Є.М.

(підпис) (прізвище, ініціали)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд інформаційних джерел,	10.2023	
	аналіз задач оптимізації обробних		
	центрів і ліній		
2	Структура інформаційних потоків	11.2023	
	автоматизованого управління		
	виробництвом меблів		
3	Аналіз впливу суміщення операцій	12.2023	
	на продуктивність верстата з CNC.		
4	Висновки	01.2024	

Студент Бернацький Я.І. _____

(підпис)

Керівник роботи Миськів Є.М. _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота магістра зі спеціальності 187 Деревообробні та меблеві технології на тему **«Аналіз раціональних варіантів суміщення технологічних операцій на верстаті з CNC»** / НЛТУ України; керівник: Миськів Є.М.; студент: Бернацький Я.І., група ТД-62м // Львів, 2024.

Дипломна робота містить зміст, вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел із 21 пункта та 1 додаток. Загальний обсяг роботи 56 стор., 14 ілюстрацій та одна таблиця.

Мета роботи – оцінка впливу суміщення операцій у маятниковому режимі роботи верстата на його продуктивність під час оброблення деталей меблів.

У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування принципу суміщення операцій є ефективним засобом для зменшення сумарних витрат часу на виконання операцій механічного оброблення деталей на верстаті з ЧПУ. Зокрема, за умови оброблення партії деталей обсягом не менше 30 штук, загальні витрати часу на їх свердління можна зменшити до 50%.

Ключові слова: виробництво меблів, технологічний процес, стан інструменту, витрати робочого часу.

ABSTRACT

Master's thesis on the specialty 187 Woodworking and furniture technologies on the topic **"Analysis of rational options for combining technological operations on a CNC machine"** / UNFU; supervisor: Myskiv Ye.M.; student: Ya.I. Bernatsky, group TD-62m // Lviv, 2024.

The thesis contains a ta ble of contents, an introduction, three chapters, conclusions, a 21-item list of used sources and 1 appendix. The total volume of work is 56 pages, 14 illustrations and one table.

The purpose of the work is to evaluate the impact of combining operations in the pendulum mode of the CNC machine on its productivity during the processing of furniture parts.

As a result of the conducted research, it was established that the application of the principle of combining operations is an effective means of reducing the total time spent on machining parts on a CNC machine. In particular, if a batch of parts with a volume of at least 30 pieces is processed, the total time spent on drilling them can be reduced by up to 50%.

Keywords: furniture production, technological process, working time.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ, АНАЛІЗ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБРОБНИХ ЦЕНТРІВ І ЛІНІЙ 7
1. 1 Типові задачі планування виробничих процесів 8
1.2 Математична модель 11
1.3 Висновок до розділу 17
2 СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ МЕБЛІВ 18
2.1 Особливості автоматизації процесу виробництва меблів 18
2.2 Виробничо-технологічні інформаційні потоки 20
2.3 Висновок до розділу 23
3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ СУМІЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРСТАТА З CNC 25
3.1 Вибір методу дослідження витрат робочого часу 25
3.2 Дослідження тривалості операцій 30
3.3 Висновки до розділу 38
ВИСНОВКИ 39
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 40
ДОДАТОК А. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДОПОВІДІ 43

ВСТУП

Програмування сучасних систем CNC дотепер здійснюється згідно зі стандартом ISO 6983 (DI N 66025), який був розроблений більше 50 років тому. Цей стандарт не дає змоги створювати двосторонній обмін інформацією між CAD-CAM-CNC-рівнями. А це зазвичай призводить до розроблення не найфективніших програм оброблення через суттєвий вплив на цей процес людського чинника, зокрема, не реалізуються відомі способи зменшення тривалості виробничого циклу шяхом суміщення операцій, тому тема роботи **є актуальною.**

Мета роботи – оцінити вплив суміщення операцій у маятниковому режимі роботи верстата на його продуктивність під час оброблення деталей меблів.

Об’єкт дослідження – автоматизовані процеси механічної обробки деревини і деревинних матеріалів на оброблювальних центрах з CNC та підготовка програм для їх реалізації.

Предмет дослідження – процеси виготовлення деталей меблів на оброблювальних центрах з CNC.

На сьогодні неамає інформації про використання в Україні методів автоматичного генерування керувальних програм для верстатів з CNC на основі одночасного застосування геометричних даних деталей і технологічної інформації про них, тому робота містить елементи наукової новизни.

Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості їх безпосереднього використання у виробничих процесах ПП ТОМЕК.

1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ, АНАЛІЗ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБРОБНИХ ЦЕНТРІВ І ЛІНІЙ

Розглянемо таке формулювання операцій, які можуть виконуватись на верстаті з ЧПК. Розглядається набір множин операцій, які пересікаються. Ці набори операцій виконуються послідовно. Операції кожного набору починаються одночасно. Тривалість операції можна змінювати. Вартість кожної операції зменшується зі збільшенням тривалості операції. Додаткові витрати на кожен набір операцій пропорційні його часу обробки.

Дослідимо задачу вибору тривалості всіх операцій, які мінімізують загальну вартість при обмеженні на час виконання для всієї сукупності наборів операцій. Метод вирішення цієї задачі може грунтуватися на поєднанні релаксації та динамічного програмування. Цей підхід можна використати для оптимізації багатошпиндельних верстатів і обробних ліній з ЧПК.

Загалом, проблеми, пов’язані з виконанням взаємопов’язаних наборів операцій, часто виникають у інженерній діяльності, наприклад, під час автоматизованого планування процесу, проектуванні та управлінні виробничими системами. Можна згадати балансування лінії, вибір обладнання, оптимізацію умов обробки, планування процесу.

Тут розглянемо задачу оптимізації витрат на виконання набору блоків операцій, які перетинаються. Витрати на виконання операцій, а також витрати на виконання блоків операцій пов'язані з їх тривалістю. Є набір операцій, які групуються у набір блоків. Кожний блок складається з кількох операцій. Операції блоку виконуються паралельно. Блоки виконуються послідовно один за одним. Колекція може включати кілька ідентичних блоків, і кожен блок може включати кілька ідентичних операцій.

Існує обмеження на загальну тривалість послідовності блоків (максимально можливий час завершення). Тривалість блоку дорівнює максимальній тривалості його операцій. Тривалість операцій можна

змінювати, тому в цьому дослідженні тривалість операцій є змінною для прийняття рішення. Для кожної операції задано діапазон можливих значень її тривалості. Тривалість операції визначає вартість її виконання. Передбачається, що колись визначена тривалість операції залишається незмінною для всіх блоків, які включають цю операцію (як зазначалося вище, та сама операція може бути в кількох блоках). Також передбачається, що вартість операції зменшується зі збільшенням її тривалості.

Вартість виконання кожного блоку – це сума витрат на виконання всіх його операцій плюс додаткова вартість, пропорційна тривалості блоку. У цій статті розглядається випадок, коли послідовність блоків не впливає на тривалість операцій, які складають ці блоки.

Проблема полягає в тому, щоб визначити тривалість усіх операцій, які мінімізують загальну вартість виконання всіх блоків колекції при обмеженні на загальну тривалість усіх блоків, тобто час завершення.

Подібні проблеми виникають при проектуванні багатопродуктових виробничих систем (механічна обробка, складання та розбирання, технічна перевірка та випробування тощо). Зокрема, перспективним напрямком досліджень є адаптація ліній масового виробництва, зазвичай розроблених для обробки одного виробу у великих серіях, до багаторазового виробництва партій різних виробів. Партія однакова, вона виконується циклічно, але продукти, що входять до партії, різні. Таким чином, конструкція такої лінії та оптимізація умов обробки вимагають врахування всієї різноманітності деталей, що обробляються.

1. 1 Типові задачі планування виробничих процесів

Типова послідовність кроків для планування виробничого процесу [1, 2]: інтерпретація проектних даних виробу, вибір процесів обробки, вибір верстатів, визначення пристосувань і поверхонь для обробки, послідовність операцій, вибір контрольних пристроїв, визначення виробничих допусків, вибір відповідних інструментів і належних умов різання, розрахунок

загального часу та створення технологічних таблиць, включаючи дані числового керування.

Зокрема, проблема вибору умов обробки (швидкості різання) для оптимізації обробки деталей за критеріями максимального виробництва, мінімальної вартості або максимального прибутку від виробу. Відома проблема вибору оптимального процесу серед ряду можливих процесів. Ця задача була сформульована як вибір найкоротшого шляху в орграфі. Для вирішення цієї задачі використано метод динамічного програмування.

Слід також відзначити проблеми підбору обладнання для підвищення продуктивності виробничого процесу чи проблему планування кількох продуктів, яка одночасно розглядає вибір технологічного обладнання та обладнання для зменшення відходів, а також маршрут продукту, чітко враховуючи вплив на навколишнє середовище в масштабах підприємства та споживання потужності. У [4, 5] розроблено модель для оптимального вибору виробничого обладнання та обладнання для зменшення утворення відходів, а також для прийняття рішень щодо вибору технологічного процесу, коли необхідно враховувати як витрати, так і екологічні фактори. Однією з особливостей цієї моделі є те, що кожна стадія процесу або машина можуть працювати в різних режимах, що може вплинути на їх тривалість, а також на вплив на навколишнє середовище та витрати [4, 5].

Інші подібні проблеми, досліджувані в літературі, можна розділити на три групи.

Перша група [1-10], складається із проблем балансування складальної лінії, які враховують розподіл операцій між робочими станціями. Зокрема, слід згадати проблеми з балансуванням лінії під час вибору обладнання, коли режими роботи вибираються з кінцевого набору альтернатив [8, 9].

Як наслідок, тривалість операцій залежить від обраних рішень. Тим не менш, в існуючих моделях не допускається перетин наборів операцій, призначених різним робочим станціям. Крім того, режими роботи (а значить, і тривалості операцій) вибираються тільки з кінцевого набору значень.

Публікації другої групи [11-15] присвячені проблемам оптимального планування пакетів завдань у системі, що складається з однієї або кількох машин, включаючи машини пакетної обробки. Передбачається, що задано час надходження завдань у систему, пріоритет та співвідношення сумісності для обробки в пакетній машині. У стандартних детермінованих моделях планування, умови обробки, включаючи час обробки завдань, зазвичай фіксовані. Деякі дослідження, на відміну від стандартних моделей планування, стосуються ситуацій, коли умови обробки можуть змінюватися з часом, що впливає на фактичну тривалість робіт. У моделях із контрольованим часом обробки час виконання завдань можна скоротити шляхом надання додаткових ресурсів для завдань. Як правило, потрібно визначати пакети завдань і планувати ці пакети, мінімізуючи тривалість виконання. За принципом виконання операцій, що складають пакет (паралельно або послідовно), ці задачі зазвичай поділяють на максимально-пакетні та сумарно-пакетні завдання планування. Загальним аспектом цього типу проблеми та публікацій цієї групи є припущення про виконання кожного набору завдань у пакетній машині. Різниця між цими публікаціями та нашою роботою полягає в тому, що в літературі з пакетного планування партії робіт не перетинаються, тобто немає жодної операції, яка належить до кількох партій [1].

Проблеми третьої групи зосереджені на розподілі ресурсів між складними операціями та графіками виконання операцій [16-18]. У цих задачах планування ресурсів складні операції розглядаються як задані разом із деякими зв’язками між ними, визначеними, наприклад, у формі мережевого розкладу. Сукупність усіх операцій розбивається на підмножини для обробки з використанням деяких ресурсів. Інтенсивність операції та її вартість в основному залежать від обсягу виділеного ресурсу. Проблема оптимального розподілу ресурсів полягає у визначенні можливих розподілів ресурсів, які мінімізують заданий критерій оптимальності. Якщо ресурси обмежені, то, як правило, проблема формулюється як задача мінімізації

тривалості всієї сукупності операцій, або як задача мінімізації втрати прибутку. Якщо задано терміни виконання всього набору операцій або допустимий розмір втрати прибутку, то зазвичай формулюється зворотна задача мінімізації ресурсів або витрат [1].

Випадки незалежних операцій, що належать до складних завдань, де всі незалежні операції кожної задачі можуть бути виконані одночасно, вже розглядалися в літературі, а також випадки, коли між операціями існують відношення пріоритету. Відомо, що такі задачі є складними багатоекстремальними задачами оптимізації і, як правило, не існує ефективних точних методів їх вирішення. Часто використовуються наближені та евристичні методи, зокрема, генетичні алгоритми [1].

1.2 Математична модель

Введемо наступні позначення компонентів розглянутої сукупності I блоків (рис. 1.1) [1]:

$I=\{1,\ldots,n\}$ – набір різних блоків у партії I;

ni – кількість однакових блоків;

Ji – набір операцій, що складають блок;

mij – кількість однакових операцій j в блоці i;

$[t_{1j},t_{2j}]$ – діапазон можливих тривалостей роботи $j \in J$;

fj(tj) – вартість операції j, яка залежить від її тривалості tj;

Ei > 0 – додаткові витрати на одиницю часу роботи блоку i;

T^0 – максимально допустиме значення загального часу роботи для збору I блоків.

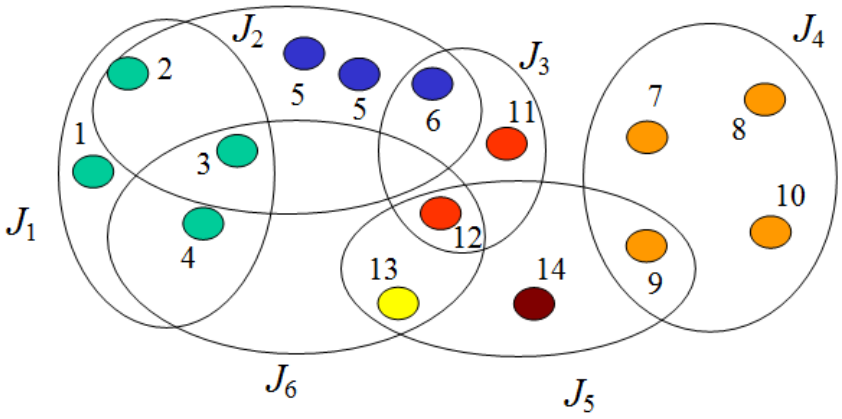


Рисунок 1.1 – Партії блоків операцій, що перетинаються [1]

Розглянута задача полягає в тому, щоб визначити вектор [1]

$$t = (t_j \mid j \in J) \in \mathbf{t} = \prod_{j \in J} [t_{1j}, t_{2j}]$$

мінімізуючи загальні витрати [1]:

$$F(t) = \sum_{i \in I} n_i \left(E_i \max_{j \in J_i} t_j + \sum_{j \in J_i} m_{ij} f_j(t_j)\right) = \sum_{i \in I} n_i E_i \max_{j \in J_i} t_j + \sum_{j \in J} p_j f_j(t_j)), \quad (1.1)$$

за обмеження

$$\sum_{i \in I} n_i \max_{j \in J_i} t_j \le T^0 , \quad (1.2)$$

$$pj = \sum_{i \in I_j} n_i m_{ij}$$

Розглянемо два приклади досліджуваної проблеми, які виникають при проектуванні та управлінні виробничими системами [1].

Виробництво (механічна обробка або складання) кількох виробів має виконуватися повторюваними ідентичними партіями на одній робочій станції. Усі вироби партії виготовляються послідовно один за одним у певному порядку, і в кожен момент часу виготовляється лише один виріб із партії. Кожен продукт вимагає виконання свого пакету операцій. Цей пакет розглядається як блок операцій, що відповідає цьому продукту. Різні блоки можуть містити ту саму операцію. Всі операції для кожного продукту

виконуються одночасно. Кожна операція виконується власним обладнанням. Вартість і тривалість кожної операції однозначно залежать від обраного обладнання та умов обробки. Чим ефективніше (і відповідно дорожче) вибрано обладнання та більш інтенсивні умови обробки, тим коротша тривалість операції. Вартість будь-якого блоку для конкретного продукту також включає, крім суми витрат на його роботу, додаткову вартість, пропорційну тривалості блоку. Загальна вартість серійного виготовлення складається із суми витрат на блоки для всіх виробів партії. Проблема полягає в тому, щоб для кожної операції підібрати обладнання та умови обробки, які мінімізують загальні витрати, забезпечуючи при цьому необхідну пропускну здатність.

Зауважимо, що вибір обладнання та умов обробки операцій еквівалентний вибору тривалості цих операцій. Тоді задачу оптимального серійного виробництва можна сформулювати в термінах визначення оптимальної тривалості всіх операцій [1].

Партії, що складаються з кількох продуктів, виробляються серійно на багатопозиційній однопотоковій виробничій лінії. Процес виробництва є циклічним, тобто вхідна послідовність деталей складається з повторюваних ідентичних підпослідовностей (однакових партій) різних деталей кількох типів. Пакет може містити декілька екземплярів кожної частини.

Усі деталі обробляються послідовно одна за одною на кожній робочій позиції в порядку розташування цих позицій на лінії та в кожен момент часу: лише одна деталь розміщується на кожній позиції. Процес складається з тактів одночасної обробки всіх частин, розташованих у відповідних позиціях лінії, і всі операції на кожній позиції також виконуються одночасно. Після завершення поточного такту всі оброблені деталі одночасно переміщуються на відповідні наступні робочі позиції. Частина з кінцевої позиції відсувається, а наступна частина вхідної послідовності завантажується на першу позицію. Потім виконується наступний такт. Кількість тактів у повному циклі обробки партії збігається з кількістю деталей у партії [1].

Приклад такої лінії для виготовлення партії (1, 2, 1, 3) з деталей 1,2,3 зображено на рис. 1.2. Для цієї лінії виробничий процес однієї партії (тобто одного циклу) складається з 4 тактів [1].

Кожна частина в кожній позиції вимагає відповідного пакету операцій, що виконується з їх обладнанням та умовами виконання. Передбачається, що ідентичні операції мають однакове обладнання та умови виконання. Усі операції, що виконуються в лінії за один такт, вважаються одним блоком. Тривалість різних блоків (тактів) може бути різною [1].

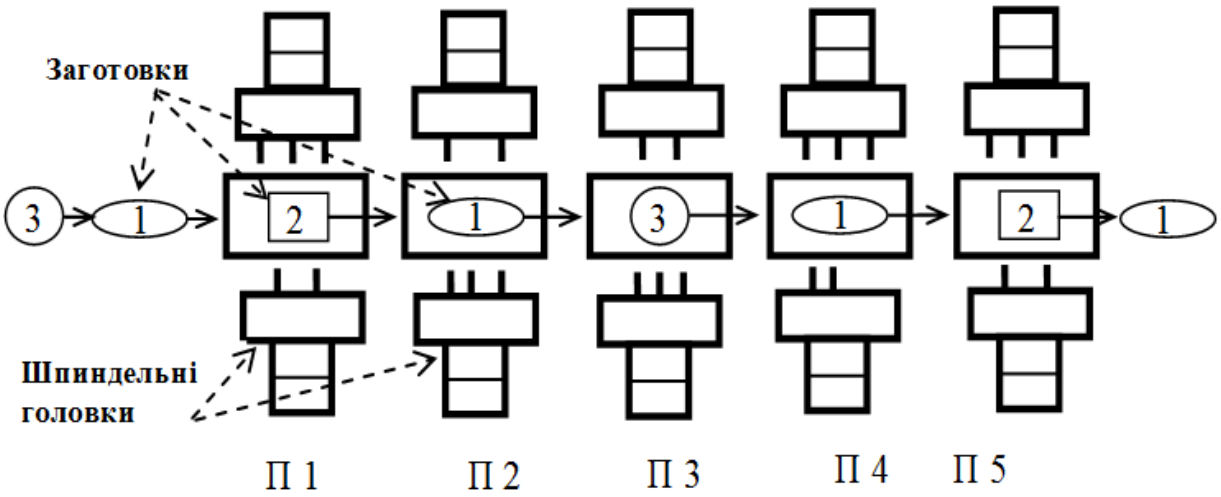


Рисунок 1.2 – Лінія для пакетного серійного виробництва [1]

Загальна собівартість виготовлення однієї партії – це сума витрат усіх блоків у повному циклі. Вартість будь-якого блоку складається з двох видів витрат. Перша частина собівартості – сума витрат на його діяльність. Витрати, а також тривалість операцій визначаються вибраним обладнанням і умовами обробки. Друга частина вартості пропорційна до часу, витраченому на виконання блоку операцій [1].

Якщо вибрана тривалість операції визначає її обладнання та умови обробки, проблему оптимального серійного виробництва можна сформулювати в термінах визначення оптимальної тривалості всіх операцій.

Розглянемо більш детально цей приклад стосовно серійної багатоінструментальної обробки партії різних деталей на багатопозиційній транспортній лінії, оснащеній багатошпиндельними головками. Кожна багатошпиндельна головка, встановлена на робочому положенні, обробляє відповідну деталь декількома активованими інструментами одночасно, що забезпечує скорочення часу, кількості робочих положень і обладнання в цілому.

Кожна робоча позиція оснащена своїм набором різних шпиндельних головок. Деталь обробляється на позиції одночасно з усіма головками з набору і для деяких набори можуть перетинатися.

Для всіх інструментів головки довжини робочого ходу, а також подачі за хвилину повинні мати однакові значення. Розглянемо окремий випадок задачі, коли для будь-якої позиції довжина робочого ходу і подача за хвилину головки однакові для всіх частин. Значення параметрів відомі, найкращі значення параметрів повинні бути визначені в процедурі оптимізації.

Приклад виконання операцій свердління в двох різних деталях однією шпиндельною головкою представлено на рис. 1.3 [1].

У цьому прикладі інструменти u_1 і u_2 шпиндельної головки g виконують свердління отворів для двох різних деталей d_1 і d_2. Подача шпиндельної головки g за хвилину S_g, а також довжина робочого ходу L_g однакові при обробці обох деталей. Інструмент u_1 (як і u_2) виконує свердління отворів в обох деталях з різними значеннями довжини різання і, можливо, деякими іншими особливостями.

Кожне значення $S_{kj} \in [\underline{S}_{kj}, \overline{S}_{kj}]$ знаходиться в однозначній відповідності з тривалістю $t_{kj}=L_{kj}/S_{kj}$ обробки деталі $d \in M_{kj}$ в позиції $k \in K$ головкою $g_{kj} \in G_k$.

На основі відомих методик можна визначити для кожної $S_{kj} \in [\underline{S}_{kj}, \overline{S}_{kj}]$ такі швидкості різання для всіх інструментів головки g_{kj}, які забезпечують максимальну кількість $D_{kj}(S_{kj})$ партій деталей, оброблених головкою g_{kj} протягом загального терміну служби її інструментів.

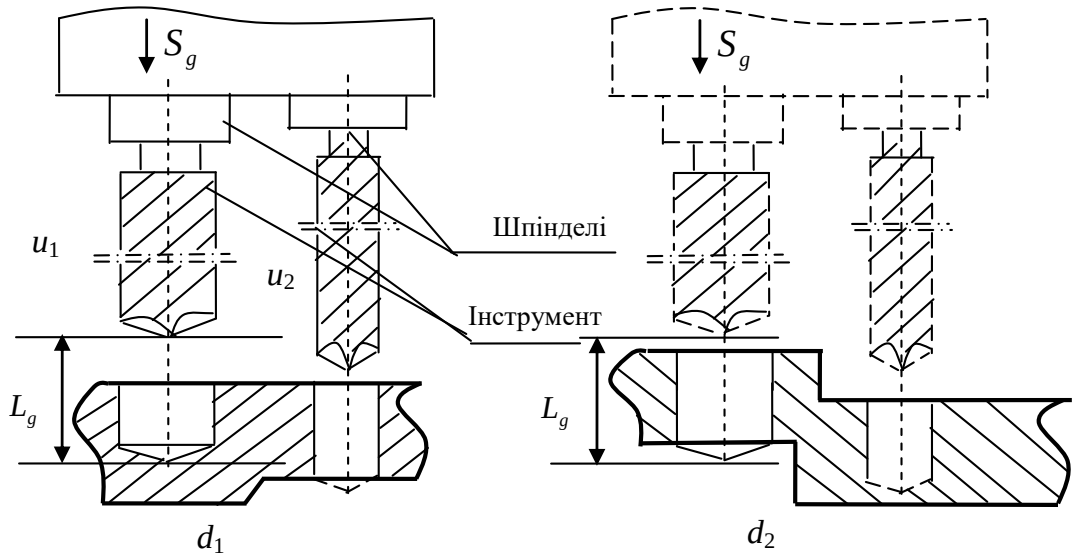


Рисунок 1.3 – Обробка двох різних деталей за допомогою однієї шпиндельної головки [1]

Таким чином, функція витрат на обробку однієї партії деталей головкою g_{kj} в залежності від її тривалості **[1]**

$$t_{kj} \in \mathbf{T}_{kj} = [\underline{t}_{kj} = L_{kj} / \bar{S}_{kj},\ \bar{t}_{kj} = L_{kj} / \underline{S}_{kj}]$$

визначається як

$$f_{kj}(t_{kj}) = q_{kj} / D_{kj}(L_{kj} / t_{kj}),$$

де q_{kj} – вартість всіх інструментів блоку gkj за їх загальний час життя.

На практиці функція $f_{kj}(t_{kj})$ зазвичай зменшується зі збільшенням тривалості t_{kj} через послаблення інтенсивності умов обробки.

Для фіксованого значення вектора

$$t = (t_{kj} \mid k \in K, i \in I, j \in J_{kd(k,i)}),$$

загальна тривалість обробки деталі в такті $\mathbf{i \in I}$ дорівнює

$$Ti(t) = \max\{t_{kj} \mid k \in K, j \in J_{kd(k,i)}\},$$

загальна тривалість обробки однієї партії дорівнює

$$T(t) = \sum_{i \in I} T_i(t),$$

а загальна вартість обробки однієї партії дорівнює

$$C(t) = ET(t) = \sum_{k \in K,\, j \in J_k} f_{kj}(t_{kj}),$$

де E – витрати на експлуатацію лінії за одиницю часу.

За прийнятих припущень, задача оптимізації режимів обробки для потокової лінії зводиться до пошуку вектора [1]

$$t \in T = \prod_{k \in K,\, j \in J_k} T_{kj},$$

що мінімізує функцію C(t) при обмеженні $T(t) \le T^0$, де T^0 - максимально можлива тривалість обробки однієї партії деталей з урахуванням необхідної пропускної здатності лінії.

Цю проблему можна сформулювати інакше, якщо розглянути обробку деталі в позиції зі шпиндельною головкою як операцію, а такт як блок операцій [1].

1.3 Висновок до розділу

Розглянуто математичну модель і підхід до вирішення задачі оптимізації витрат на послідовно-паралельне виконання набору операцій, які пересікаються.

Метод заснований на поєднанні ідей лагранжевої релаксації та динамічного програмування. Розглянутий метод може бути використаний для розв'язування задач точно або приблизно з високою точністю за розумний час.

Метод може бути використаний у прикладних системах підтримки прийняття рішень для проектування, планування та управління виробничими системами на основі верстатів з ЧПК, а також для вирішення інших подібних проблем. Зокрема, цей метод можна модифікувати для вирішення задачі визначення тривалості операцій, що максимізують загальний прибуток.

Можливе розширення розглянутої моделі полягає у знятті припущення, що тривалість операції залишається незмінною для всіх блоків, які включають цю операцію.

2 СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ МЕБЛІВ

2.1 Особливості автоматизації процесу виробництва меблів

Більшість меблевих підприємств відносяться до малого бізнесу, для якого розподіл процесу створення нових виробів на конструювання, технологічну підготовку виробництва, планово-економічні розрахунки та ін. чітко не простежується. Виконання багатьох проектних, технологічних операцій поєднується і за часом, і за виконавцями. Це потребує певної універсальності, поєднання у яких елементів автоматизації виробництва [12].

На ринку програмних продуктів для автоматизації конструкторського та технологічного забезпечення виділився окремий напрямок, орієнтований на меблеві підприємства [12, 13]. У процесі комплексної автоматизації меблевого виробництва необхідно подолати кілька досить поширених помилок, і вирішити низку завдань, загальних будь-якого підприємства. Тільки в цьому випадку можна розраховувати на успішне завершення проекту автоматизації випуску меблів.

Одна з помилок є наслідком уявної простоти виробництва меблевих виробів, і полягає в непомірно завищених очікуваних показниках зростання ефективності виробництва. Коли це не спостерігається, то увага до автоматизації слабшає або виливається в необґрунтовані кадрові та організаційні висновки. Це ще більше ускладнює ситуацію і в результаті зводить до нуля всі зусилля. Керівництву меблевих підприємств слід чітко уявляти, що сьогодні і в найближчому майбутньому будь-яка автоматизована система є всього лише інструментом в руках фахівців, за допомогою якого вони можуть (або не можуть) вирішити лише одне завдання – підвищити продуктивність та ефективність своєї праці [11].

Підприємства часто очікують від автоматизації необґрунтованих, завищених результатів. Як і будь-які автоматизовані системи, верстати з ЧПК для мебливих виробництв передбачають ефективне вирішення низки

кадрових завдань. Кінцева ж мета автоматизації полягає у підвищенні ефективності виконання технологічних процесів та оптимізації інформаційних зв'язків між ними. Виконання кожної технологічної операції на будь-якому рівні передбачає отримання вхідної інформації, її обробку та передачу вихідної інформації для виконання наступних операцій. Подібна схема є універсальною. Вона визначається самим фактом існування автоматизованих та комп’ютерно-інтегрованих технологій.

Впровадження систем ЧПУ для виробництва меблів дозволяє підвищити продуктивність та якість реалізації обробки та передачі інформації. Зростання ефективності роботи підприємства визначається його структурою.

Технологічний перехід на новий рівень роботи, а саме це і передбачає впровадження систем автоматизації, неможливий без кардинальної реконструкції організаційної, технологічної структури підприємства. Це завдання вирішується шляхом проведення необхідних досліджень із залученням незалежних спеціалістів. В іншому випадку можна автоматизувати сформовану, орієнтовану на застарілі методи управління структуру підприємства, що не дасть очікуваних результатів.

На підставі аналізу та узагальнення досвіду успішного впровадження комплексних систем автоматизації на меблевих підприємствах доцільно використати структуру інформаційних потоків виробництва, що дозволяє отримати максимальну віддачу від автоматизації.

Меблеве виробництво може бути серійним, замовним чи універсальним. Тенденції розвитку споживчого ринку меблів спрямовані у бік підвищення частки виробів, що випускаються на індивідуальні замовлення. Наслідком є об'єктивна необхідність повного чи часткового переходу підприємств до позаказового виробництва [12]. Однак у цьому разі у номенклатурі продукції значна частина виробів є універсальними, чи типовими. За різними оцінками, їх у загальному обсязі коливається від 40 до 70 %.

2.2 Виробничо-технологічні інформаційні потоки

Залежно від конкретного підприємства, розбиття виробничо-технологічних операцій за підрозділами (рис. 2.1) є функціональним по відношенню до підрозділів або виконавців.

Рисунок 2.1 – Структура виробничо-технологічних інформаційних потоків автоматизованого управління виробництвом меблевого підприємства

Наприклад, на невеликих меблевих підприємствах досить часто поєднуються функції конструювання, технологічної підготовки та реалізації технологій. Прийом замовлення є першою операцією життєвого циклу нового виробу, під час виконання якої визначаються його функціональні, розмірні, колірні та інші параметри як безпосереднього діалогу із замовником. Існують два основних типи замовлень: типові меблі з доопрацюванням та ексклюзивні меблі, яким відповідають два способи організації прийому замовлень.

У першому випадку робота виконується, як правило, у меблевому салоні менеджерами з продажу, від яких не потрібно глибоких знань наявної технології виготовлення меблів.

Менеджери працюють із заздалегідь сформованими прайс-листами стандартних виробів і можуть варіювати кольором та фактурою матеріалу, фасадами та фурнітурою, а іноді деякими розмірами у певному інтервалі.

Варіант ексклюзивного замовлення не обмежується жодними вимогами, окрім бажання замовника та можливостей виробництва. Прийом замовлення провадиться конструктором або дизайнером, який знає конкретне виробництво. Цей варіант передбачає передачу замовлення у виробництво, а отже, вимагає формування комплекту конструкторсько-технологічної документації (рис. 2.1).

Звичайною практикою роботи малих меблевих підприємств є поєднання етапів конструювання та технологічної підготовки виробництва у рамках єдиного підрозділу. Це обґрунтовано і з погляду ефективності автоматизованої реалізації прийнятих рішень. Наприклад, виконання технологічної операції розкрою матеріалів на етапі конструювання нерідко дозволяє досягти суттєвої економії матеріалів за рахунок незначних для замовника змін у конструкції. У практиці роботи меблевих підприємств відомі випадки, коли зміни розмірів окремих деталей візуально не сприймаються на 5…10 мм призводили до 20…30 % зменшення собівартості за рахунок оптимізації схеми укладання заготовок на листах матеріалу.

На етапі конструювання та технологічної підготовки виробництва всі вироби поділяються на дві групи:

- типові вироби, для яких раніше були спроектовані реальні або прототипні моделі і які, минаючи конструктора або потрапляючи на короткий час для незначного редагування, безпосередньо надходять до технолога;

- нестандартні вироби, процес проектування яких реалізується у повному обсязі.

Після завершення етапу конструювання технологічна документація на вироби передається технологу меблевого виробництва, який вирішує дві основні задачі:

- технологічне опрацювання робочих і складальних креслень та випуск технологічної документації: карт розкрою матеріалів, таблиць, операцій, керуючих програм для верстатів ЧПУ;

- формування відомостей комплектації, у тому числі списків матеріалів та комплектуючих, необхідних для виготовлення виробу, із зазначенням їх точної кількості.

Після закінчення технологічного етапу інформаційний потік розбивається на дві складові: у виробництво та підрозділ матеріально-технічного постачання. Таким чином, специфіка меблевого виробництва часто передбачає спільне виконання конструкторських та технологічних операцій.

Важливою вимогою до технологічної документації меблевих виробів, що формується на даному етапі є наявність вичерпної інформації для виконання технологічних етапів з високим ступенем автоматизації. Структура меблевого виробу безвідносно до способу його випуску завжди містить у явному чи неявному вигляді інформацію, достатню для розрахунку собівартості виготовлення, нормування операцій та комплектування замовлення.

Отже, інформаційна структура виробництва меблів повинна дозволяти формалізувати, використовувати та інтерпретувати максимальну кількість апріорно наявних даних.

Одним із вихідних документів технологічного етапу життєвого циклу меблевого виробу є автоматично формована відомість комплектації, в якій зазначено, які матеріали та в якій кількості повинні надійти на виробництво, щоб це замовлення було виготовлено. Відомості комплектації в меблевому виробництві містять велику кількість позицій, до того ж їхня кількість, що обробляється протягом дня, може обчислюватися десятками. При використанні автономної складської системи неминучість ручного введення інформації призводить до затягування термінів виконання замовлень та можливості появи суб'єктивних помилок. При цьому необхідна інформація, як зазначалося вище, міститься в моделі виробу після завершення конструкторсько-технологічного етапу [11].

Обробка відомостей комплектації має виконуватися автоматизованою складською системою, інформаційно інтегрованою у структуру управління виробництвом. Її завдання, безпосередньо пов'язане із виконанням замовлення, полягає в автоматизованому формуванні двох типів документів:
- накладна на отримання необхідної кількості матеріалів зі складу для передачі їх у виробництво;

- сумарна відомість на закупівлю матеріалу, якого бракує, за обраний період з урахуванням допустимих альтернативних замін.

2.3 Висновок до розділу

Врахування розглянутих інформаційних та організаційних особливостей меблевого виробництва ще не є гарантією успішного впровадження ефективних систем автоматизації. Для цього потрібно таким чином організувати сам процес впровадження систем автоматизації, щоб уникнути негативного результату.

При продуманій організації та кваліфікованому виконанні робіт з впровадження систем автоматизації перші практичні результати на підприємствах малого бізнесу з'являються через два-три місяці, а середній термін окупності витрат на автоматизацію коливається в інтервалі від півроку до двох років.

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ СУМІЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРСТАТА З CNC

Оскільки продуктивність верстата визначається затратами часу на виконання окремих операцій, то для її аналізу слід перш за все визначитись з методом вимірювання цих затрат.

3.1 Вибір методу дослідження витрат робочого часу

На тривалість трудових процесів впливають види застосовуваних знарядь і предметів праці, прийоми і методи роботи. Під час організації праці працівників необхідно знати, з яких елементів складається робочий час, що витрачається ними, наскільки ефективно він використовується, а для цього працю необхідно вимірювати. Під вимірюванням праці розуміють встановлення витрат робочого часу на виконання якоїсь конкретної роботи або її частини. При цьому нерідко треба знати, якими є не тільки фактичні, а й очікувані (при зміні організаційно-технічних умов) витрати робочого часу [20, 21].

Вимірювання праці дає відомості про фактичні (наявні) витрати часу. Таким чином, за допомогою вимірювання праці вирішуються три завдання [20, 21]:

1) визначення наявних витрат праці на виконання операцій, видів робіт або їх складових елементів (трудових рухів, трудових дій, трудових прийомів);

2) виявлення структури витрат робочого часу впродовж робочого дня або його частини та оцінка її складових частин з точки зору їх раціональності та необхідності;

3) створення бази для перспективних розрахунків витрат робочого часу - нормування праці.

Для вимірювання праці використовують різні методи та види спостережень.

Метод безпосередніх вимірювань полягає в безперервному спостереженні за трудовим процесом, операцією або її частинами і фіксації показів поточного часу або тривалості виконання окремих елементів операції.

Метод моментних спостережень полягає в реєстрації та обліку кількості однойменних витрат робочого часу у випадково обрані моменти (у деяких випадках - через рівні проміжки часу) В основі цього методу лежить закон великих чисел, згідно з яким "взаємні відхилення частин сукупності поглинаються всією сукупністю, і з досить високою вірогідністю за окремою частиною можна судити про сукупність у цілому" [20, 21].

У разі застосування цього методу структуру витрат часу встановлюють за питомою вагою моментів, у які відмічали ті чи інші стани (підготівельно-заключні дії, простій, оперативна робота тощо), у загальній кількості врахованих моментів за весь період спостереження. Щоб результати спостереження були близькими до фактичних витрат робочого часу, застосовуючи зазначений метод, необхідно дотримуватися таких умов [20, 21]:

1) кожне спостереження має бути настільки коротким, щоб охопити лише один досліджуваний об'єкт;

2) період проведення серії спостережень має бути досить тривалим, щоб можна було охопити всі елементи роботи;

3) обсяг вибірки має бути досить великим, щоб правильно охарактеризувати досліджувані явища і забезпечити бажану точність результатів.

За метою вивчення витрат робочого часу виділяють такі методи: фотографія робочого часу, хронометраж і фотохронометраж [20, 21].

Фотографія робочого часу [20, 21] застосовується, коли необхідно вивчити всі без винятку витрати робочого часу протягом робочого дня або якоїсь його частини. Безпосереднє спостереження і вимірювання витрат робочого часу ведуть за поточним часом зазвичай із точністю не більше 0,5 хв, що дає змогу користуватися годинником із секундною стрілкою. До

процесу фотографування спостерігач розпочинає в момент початку робочого дня і закінчує свої дії в момент його завершення, фіксуючи всі результати спостереження в спеціальному спостережному листі.

Фотографія робочого часу [20, 21] може використовуватися з різними цілями. По-перше, мета застосування цього методу полягає у визначенні раціональності використання робочого часу, виявленні втрат робочого часу з різних причин і розробці організаційно-технічних заходів щодо усунення таких втрат, удосконалення організації виробництва і праці. У цьому випадку фотографія робочого часу повинна здійснюватися без попереднього втручання в існуючу організацію праці та обслуговування робочого місця, а об'єктом спостереження мають бути всі робітники, зайняті на цій ділянці.

По-друге, метою цього методу є вивчення та узагальнення передового виробничого досвіду щодо розподілу робочого часу протягом зміни та встановлення раціональнішого балансу робочого часу.

По-третє, метою застосування зазначеного методу є зіставлення фактичної завантаженості робітника з його можливою завантаженістю за умови проведення будь-яких організаційно технічних заходів. У цьому разі фотографування робочого часу проводять до впровадження запланованих заходів, але після того, як буде усунуто втрати робочого часу.

Дані, отримані в результаті методу фотографування робочого часу, використовуються для визначення можливого підвищення продуктивності праці за рахунок поліпшення організації праці виробництва, а також для розроблення нормативів підготовчо-заключного часу, часу на обслуговування робочого місця, часу на відпочинок та особисті потреби.

Залежно від спостережуваного об'єкта фотографія робочого часу може бути трьох видів [20, 21]:

1) фотографія використання робочого часу працівників;

2) фотографія часу використання обладнання;

3) фотографія виробничого процесу.

Широкого поширення набула індивідуальна фотографія робочого часу, за якої об'єктом спостереження є один працівник на певному робочому місці.

Такий метод дає змогу якнайповніше і всебічно вивчати та вимірювати витрати часу.

При груповій фотографії спостереження ведеться одночасно за кількома працівниками, кожен з яких виконує роботу на своєму робочому місці. Через певні проміжки (1-2 хв) спостерігач відмічає в спеціальному аркуші індексами, що робиться на кожному робочому місці.

Самофотографія робочого дня полягає в тому, що робітник сам фіксує наявні в його роботі втрати робочого часу Це найефективніший метод боротьби з втратами робочого часу, бо він ґрунтується на залученні широких мас робітників до участі у виявленні цих втрат і розробці пропозиції щодо їх ліквідації. До недоліків самофотографії робочого часу належить недостовірність даних про його втрати, пов'язані з порушенням трудової дисципліни [20, 21].

Хронометраж - це метод вивчення витрат робочого часу шляхом спостереження і вимірювання окремих повторюваних елементів операції [20, 21]. На відміну від фотографії робочого часу під час хронометражу об'єктом вивчення є не робочий день, а окрема виробнича операція або ж її елементи. Хронометрування полягає у вимірюванні витрат часу за окремими елементами операції, зафіксованими заздалегідь у спостережному аркуші. Під час хронометрування застосовують секундоміри, які дають змогу проводити точніший відлік тривалості окремих прийомів.

Хронометраж проводиться з такою метою [20, 21]:

1) установлення норм часу на операцію;

2) перевірка й уточнення застосовуваних норм;

3) вивчення методів і прийомів роботи передових робітників;

4) одержання вихідних даних для розроблення нормативів часу на елементи ручної та машинно-ручної роботи.

Розрізняють три способи проведення хронометражу: суцільний, вибірковий, цикловий. Під час суцільного хронометрування вивчають усі елементи операції в послідовному порядку, під час вибіркового - тільки окремі прийоми та елементи операцій, під час циклового вивчення проводять за групою прийомів, дій, рухів, які мають таку малу тривалість, що за такої умови виміри їхньої окремішності неможливі.

Фотохронометраж - поєднання вивчення структури витрат робочого часу протягом зміни за допомогою фотографії робочого часу і хронометражу окремих елементів роботи [20, 21].

Розрізняють такі способи ведення спостережень.

Візуальний спосіб - спостереження і фіксація витрат часу здійснюються безпосередньо спостерігачем за допомогою стрілочно-циферблатних приладів часу - годинників із секундною стрілкою, одно- і двострілочних секундомірів.

Спостереження за допомогою приладів (напівавтоматичних) забезпечує фіксування окремих витрат часу приладами (хронографами та ін.) під керуванням спостерігача.

Автоматичний спосіб спостереження передбачає використання кіно- і відеозйомки, промислового телебачення, осцилографії тощо.

Нарешті, за способом запису результатів спостереження розрізняють: цифрову (хвилини, секунди), індексну (літерні й умовні позначення), графічну (графіки в масштабі часу запису); фото-кінореєстрацію; змішану (комбіновану) форму запису, наприклад індексно-цифрову [20, 21].

Для того, щоб у результаті вимірювання виявити непродуктивні витрати робочого часу, а надалі усунути їх і обґрунтувати величину норм праці, необхідно насамперед класифікувати всі витрати робочого часу, тобто об'єднати їх у групи відповідно до певних ознак.

Отже, з огляду на мету дослідження, тривалості операцій доцільно вивчати методом хронометражу.

3.2 Дослідження тривалості операцій

Виріб (рис. 3.1) складається із 36-ти деталей, які потребують обробки після розкрою, а саме – свердління отворів під фурнітуру.

Деякі деталі потребують оброблення із двох сторін, що для оброблення на верстаті слід вважати обробленням двох окремих деталей за двома різними управляючими програмами.

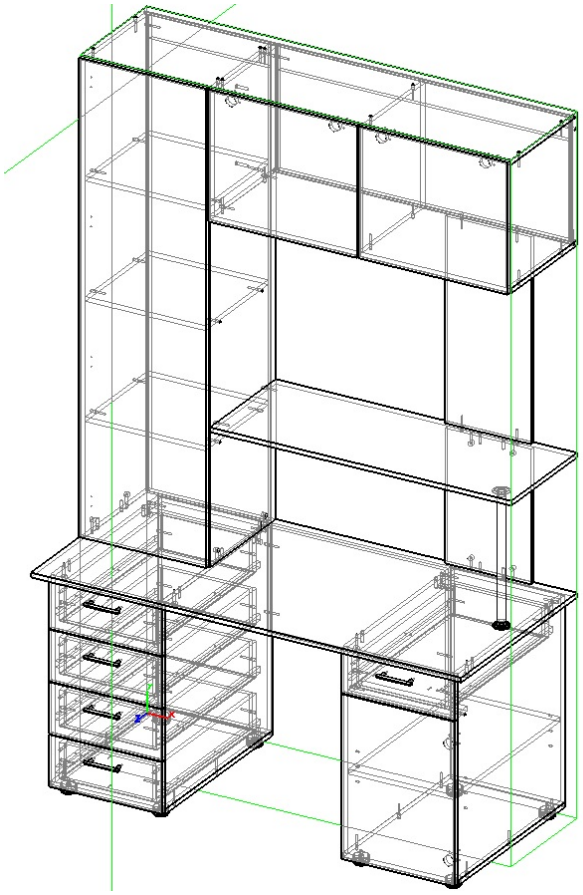


Рисунок 3.1 – Досліджуваний виріб

Загальний час оброблення заготовки на обробному центрі з ЧПУ включає

- час встановлення вакуумних тримачів за розміром заготовки;
- час встановлення (базування) заготовки;
- час власне механічного оброблення заготовки;
- час знімання заготовки із верстата.

Якщо підряд на оброблення надходять деталі однакових розмірів, то непотрібно змінювати розташування вакуумних присосок, тобто затрати часу

на розставлення вакуумних присосок відсутній.

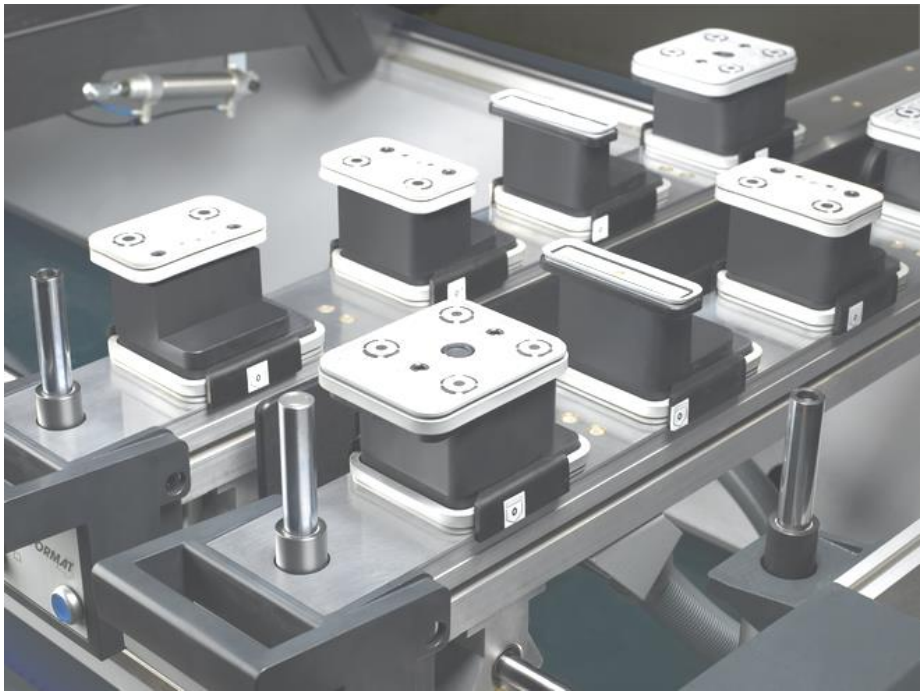


Рисунок 3.2 – Вакуумні присоски

Експериментальні дослідження виконані шляхом хронометрування тривалості зазначених вище елементів операції (таб. 3.1) під час свердління отворів на верстаті з ЧПК (рис. 3.3).

Рисунок 3.3 – Верстат, на якому виконано оброблення заготовок після розкрою

Таблиця 3.1 – Тривалість операції

Порядковий номер заготовки	Час оброблення заготовки, сек	Кількість, шт	Час оброблення разом, сек	Час на виставлення присосок	Час завантаження,с	Час розвантаження, с
15354401_1	29	1	29,00	75	15	10
15354401_2	34	1	34,00	0	15	10
15354402_1	46	1	46,00	75	15	10
15354403_1	38	1	38,00	0	15	10
15354404_1	42	1	42,00	75	15	10
15354405_1	9	1	9,00	75	15	10
15354405_2	9	1	9,00	0	15	10
15354406_1	40	1	40,00	0	15	10
15354407_1	45	1	45,00	0	15	10
15354408_1	31	1	31,00	0	15	10
15354408_2	19	1	19,00	0	15	10
15354409_1	34	1	34,00	75	15	10
15354410_1	20	1	20,00	75	15	10
15354411_1	25	2	50,00	75	15	10
15354413_1	14	2	28,00	75	15	10
15354414_1	13	1	13,00	75	15	10
15354415_1	15	1	15,00	75	15	10
15354416_1	15	1	15,00	75	15	10
15354417_1	25	1	25,00	75	15	10
15354418_1	23	1	23,00	0	15	10
15354420_1	15	3	45,00	75	15	10
15354421_1	15	1	15,00	75	15	10
15354422_1	25	1	25,00	75	15	10
15354423_1	12	1	12,00	75	15	10
15354424_1	17	4	68,00	75	15	10
15354425_1	16	4	64,00	0	15	10
15354426_1	14	4	56,00	75	15	10
15354427_1	16	1	16,00	75	15	10
15354428_1	17	1	17,00	0	15	10
15354429_1	15	1	15,00	75	15	10
15354430_1	14	4	56,00	75	15	10
15354431_1	11	4	44,00	0	15	10
15354432_1	11	1	11,00	75	15	10
15354433_1	14	1	14,00	75	15	10
15354434_1	11	1	11,00	0	15	10
15354435_1	11	2	22,00	75	15	10
15354436_1	11	1	11,00	0	15	10
15354441_1	13	1	13,00	75	15	10
Загалом, сек		58	1080,00	1875,00	570,00	380,00

Незалежно від того, чи потрібно виготовляти серійні стандартні вироби, чи індивідуально розроблені одиничні екземпляри, універсальний обробний центр Format4 profit H200R (рис. 3.3) виготовляє готові деталі з максимальною ефективністю і приносить реальний прибуток вже з першого дня.

Станина верстата з суцільними сталевими ребрами гарантує максимальну стабільність при максимальній продуктивності. Завдяки широкому вибору різноманітних пристроїв для зміни інструменту та програмному забезпеченню Format-4, яке ідеально підходить до верстата, обробний центр з ЧПК FORMAT-4 (рис. 3.3) є надійним повним комплексом для виробництва дверей, вікон, сходів та меблів.

Коли захисний кожух знаходиться в паркувальному положенні, вся робоча зона вільно доступна (рис. 3.4). Тому оператор верстата не має жодних обмежень під час позиціонування заготовки, що суттєво спрощує реалізацію маятникового режиму.

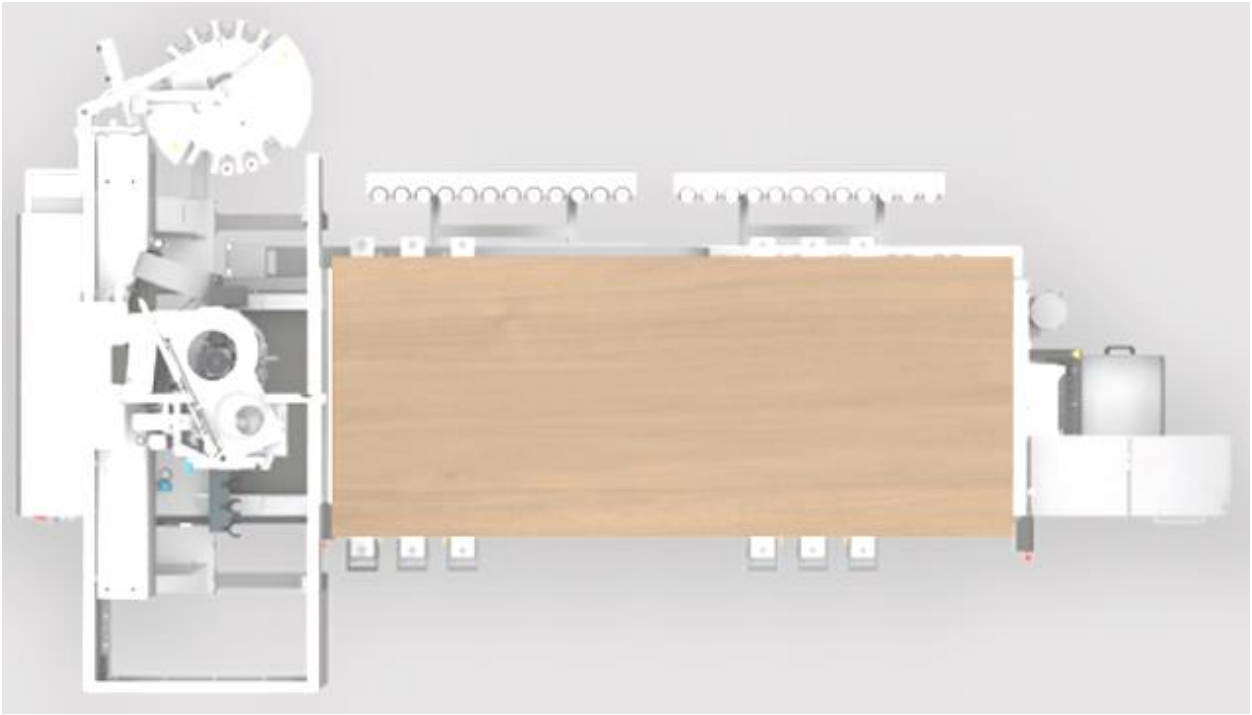


Рисунок 3.4 – Робоча зона обробного центра

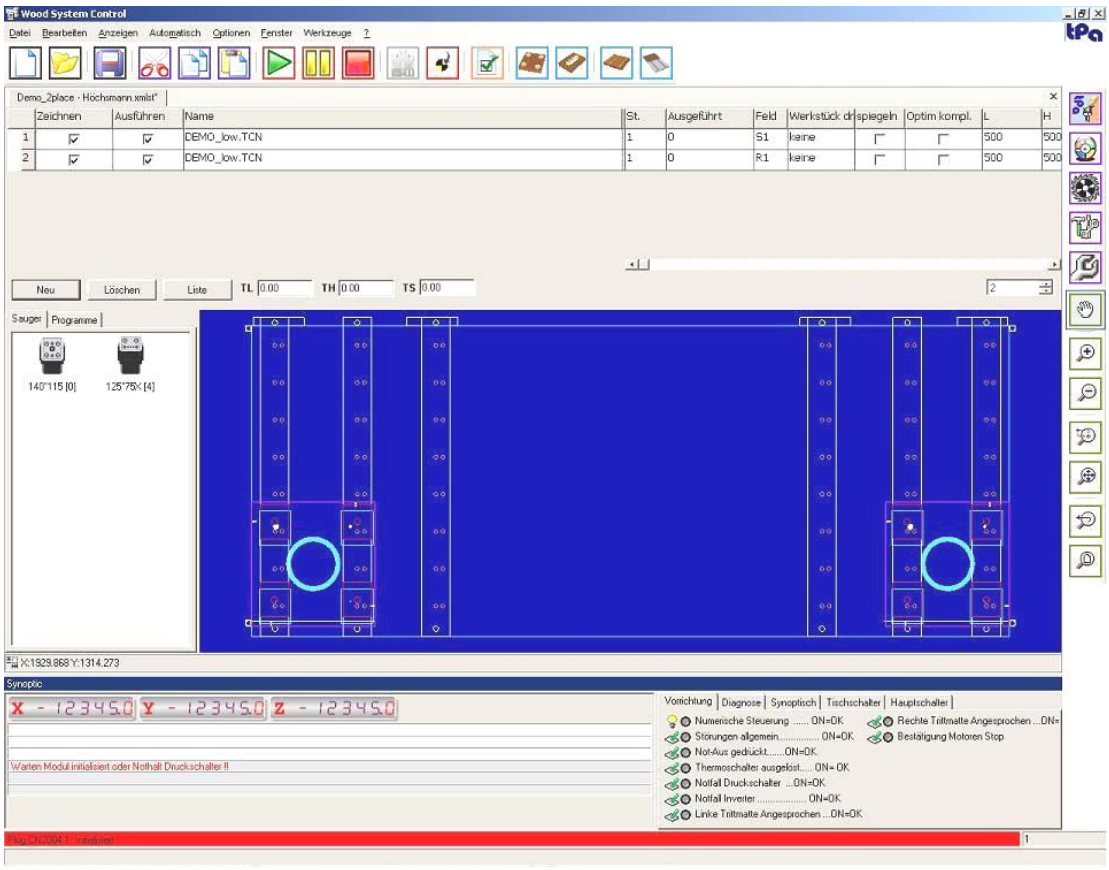


Рисунок 3.5 – Інтерфейс програми Wood Flash

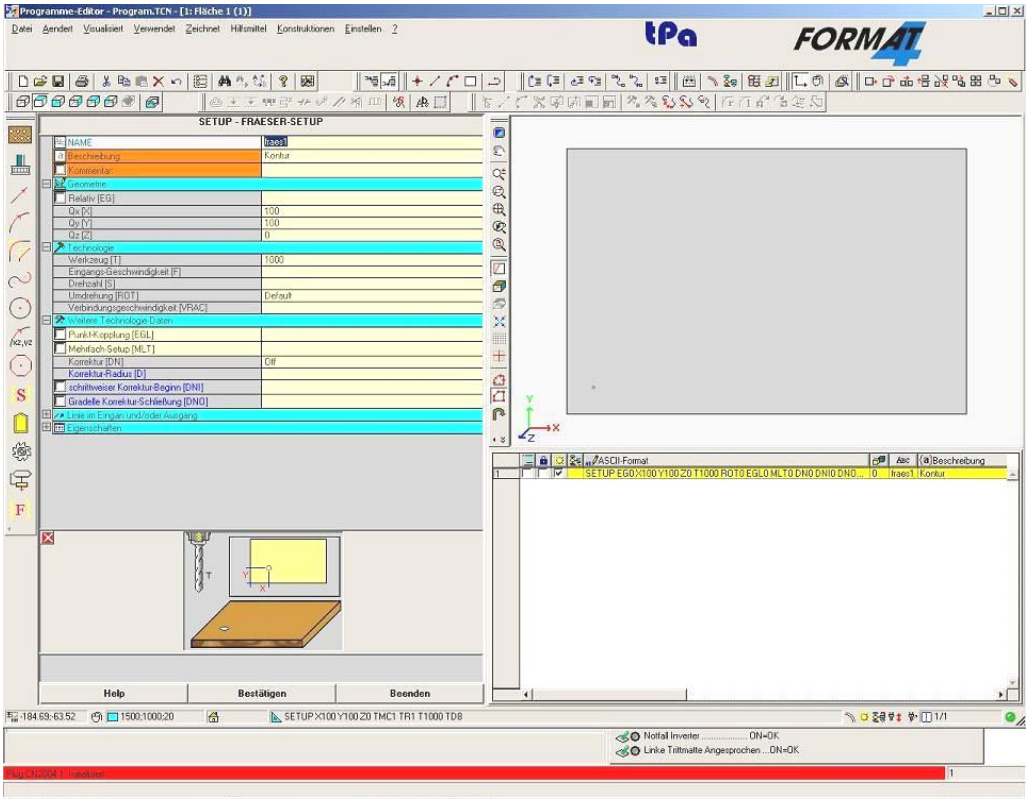


Рисунок 3.6 – Редагування програми обробки

Схематично використання маятникового режиму роботи верстата показано на рис. 3.7, де видно розміщення двох заготовок, оброблення яких здійснюється почергово таким чином, що поки обробляється одна заготовка, оператор має можливість замінити іншу.

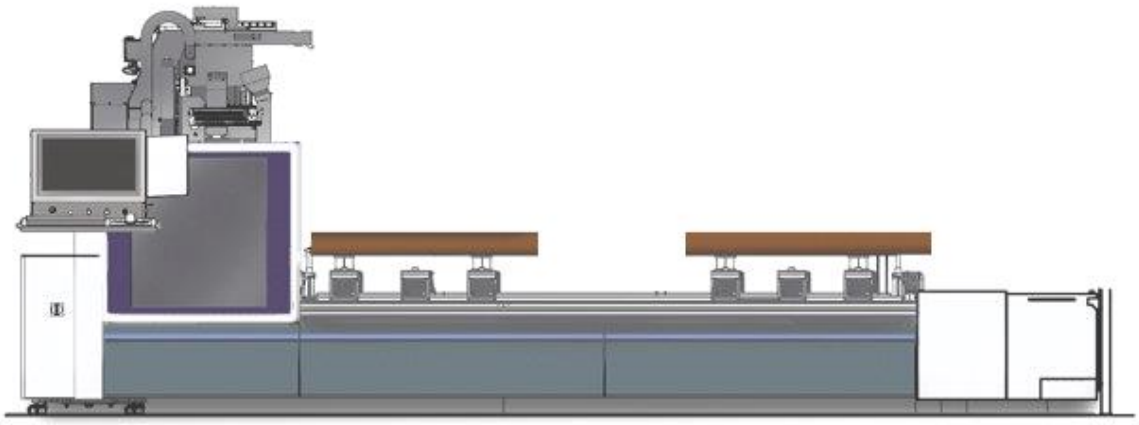


Рисунок 3.7 – Схема використання маятникового режиму

Перед початком реалізації маятникового режиму, його налаштування можна перевірити у 3D-симуляторі [19].

3D-симулятор (рис. 3.8) дає змогу розрахувати точний час обробки і точно відобразити відстань переміщення, швидкість подачі, висоту переміщення та додаткове обладнання, таке як 5-координатний блок, стружкоуловлювачі, ротаційний пристрій для зміни інструменту та свердлильна головка. Перевірка на зіткнення перевіряє, чи можливі зіткнення, і гарантує безпеку роботи на верстаті. Завдяки виділенню DXF-профілю інструменту, контур фрези може бути показаний на заготовці. Навіть при калібруванні нових інструментів можна використовувати DXF-профіль, що допомагає зменшити кількість використовуваного матеріалу.

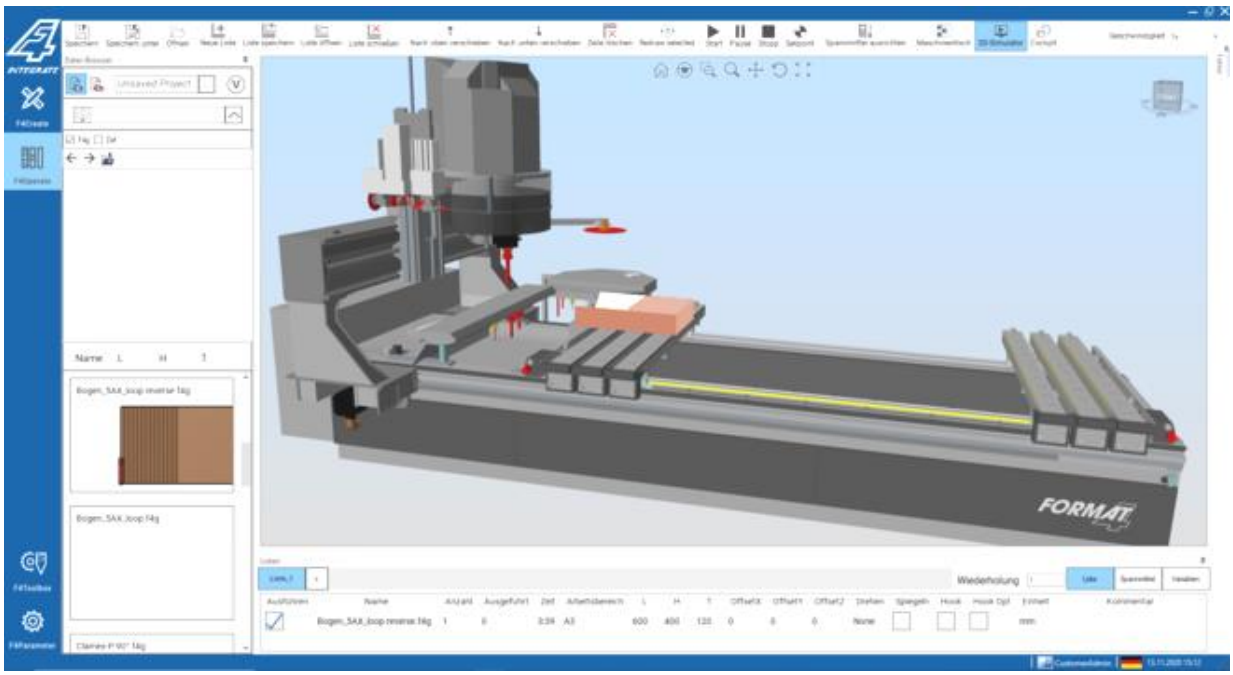


Рисунок 3.8 – Інтерфейс 3D-симулятора

Окрім іншого, застосування маятникового режиму вимагає дотримання всього комплексу заходів безпеки, передбачених виробником обладнання (рис. 3.9). Зокрема, слід застосовувати килимки безпеки та належне механічне огородження (рис. 3.9).

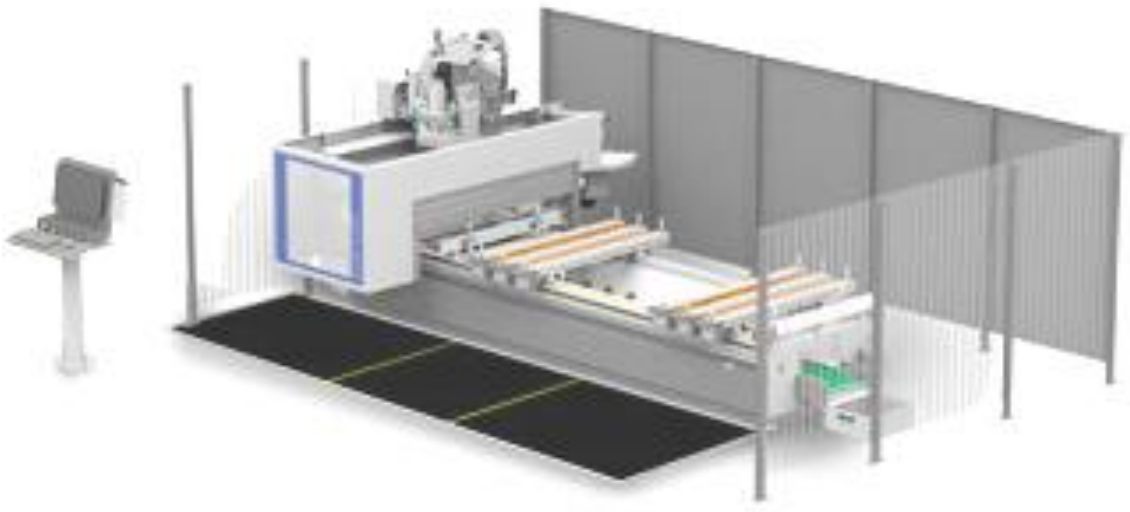


Рисунок 3.9 – Засоби безпеки під час використання маятникового режиму

Загалом за результатами досліджень (таб. 3.1) встановлено, що

середній час на виставлення (розташування) вакуумних присосок складає 75с.

Час встановлення деталі 15с час забирання деталі 10с (рис. 3.10, рис. 3.11).

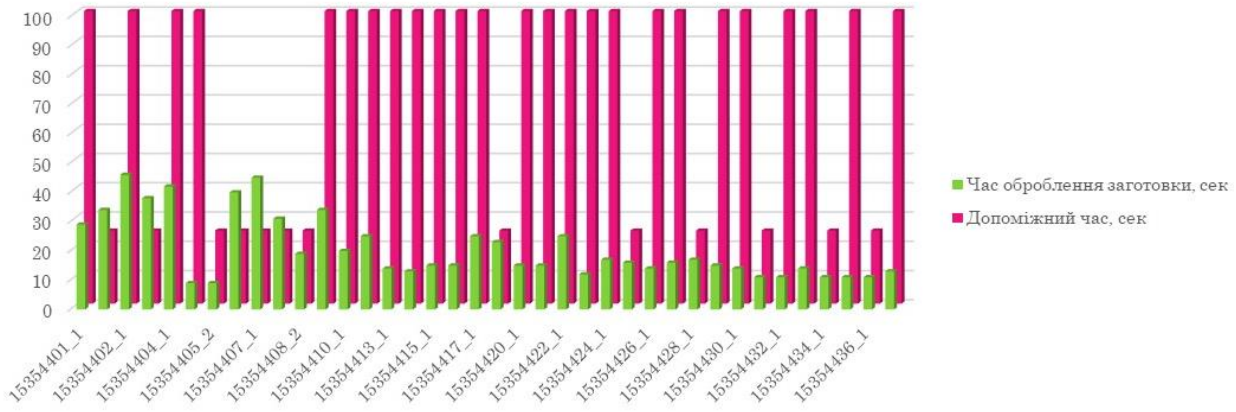


Рисунок 3.10 – Тривалість механічного оброблення і допоміжний час

Витрата часу у випадку використання маятникового режиму може бути до 50% менша, залежно від кількості оброблених деталей (рис. 3.10).

Рисунок 3.11 – Затрати часу за двох режимів обробки

3.3 Висновки до розділу

Експериментально встановлено, що затрати часу на встановлення та базування заготовок є суттєво вищі за час механічного оброблення та становлять понад 70% від загальної тривалості операції.

За умови оброблення партії деталей обсягом не менше 30 штук, загальні витрати часу на їх свердління можна зменшити до 50%.

ВИСНОВКИ

Застосування принципу суміщення операцій є ефективним засобом для зменшення сумарних витрат часу на виконання операцій механічного оброблення деталей на верстаті з ЧПУ.

Встановлено, що затрати часу на встановлення та базування заготовок є суттєво вищі за час оброблення та становлять понад 70%.

За умови оброблення партії деталей обсягом не менше 30 штук, загальні витрати часу на їх свердління можна зменшити до 50%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Dolgui, A., Levin, G., Rozin, B., & Kasabutski, I. (2016). Cost optimization for series–parallel execution of a collection of intersecting operation sets. *Engineering Optimization*, *48*(5), 756-771.

2. Arezoo, B., Ridgway, K., Al-Ahmari, A.M.A. 2000. Selection of cutting tools and conditions of machining operations using an expert system. *Computers in Industry*, 42: 43–58.

3. Battaïa, O., Dolgui, A. 2013. A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142(2): 259-277.

4. Battaïa, O., Dolgui, A., Guschinsky, N., and Levin, G. 2014. Integrated configurable equipment selection and line balancing for mass production with serial–parallel machining systems, *Engineering Optimization*, 46(10): 1369–1388.

5. Bennett, D. P., Yano, C. A. 2004. A decomposition approach for an equipment selection and multiple product routing problem incorporating environmental factors. *European Journal of Operational Research*, 156: 643–664.

6. Boysen, N. A., Fliedner, M. and Scholl, A. 2007. A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183: 674–693.

7. Bukchin, J., Rubinovitz, J. 2003. A weighted approach for assembly line design with station paralleling and equipment selection. *IIE Transactions*, 35: 73–85.

8. Bukchin, J., Tzur, M. 2000. Design of flexible assembly line to minimize equipment cost. *IIE Transactions*, 32: 585–598.

9. Thoma, H., Kola, E., Peri, L., Lato, E., & Ymeri, M. (2013). Improving time efficiency using CNC equipments in wood processing industry. Int J Curr Eng Tech, 3, 666-71.

10. Cheng, T. C. E., Yuan, J. J., and Yang, A. F. 2005. Scheduling a batch-processing machine subject to precedence constraints, release dates and identical processing times. *Computers & Operations Research*, 32: 849–859.

11. Dolgui, A., Gordon, V., Strusevich, V. 2012. Single machine scheduling with precedence constraints and positionally dependent processing times. *Computers & Operations Research*, 39: 1218–1224.

12. Dolgui, A., Guschinsky, N., Levin, G. 2006. A special case of transfer lines balancing by graph approach. *European Journal of Operational Research*, 168: 732–746.

13. Grazia Speranza, M., Vercellis, C. 1993. Hierarchical models for multi-project planning and scheduling. *European Journal of Operational Research,* 64(2): 312–325.

14. Gupta, A. K., and Sivakumar, A. I. 2006. Optimization of due-date objectives in scheduling semiconductor batch manufacturing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 1671–1679.

15. Halevi, G. 2003. *Process and Operation Planning,* Dordrecht: Springer.

16. Huang, J., Wang, X., Chen, R. 2010. Genetic Algorithms for Optimization of Resource Allocation in Large Scale Construction Project Management. *Journal of Computers*, 5(12): 1916–1924.

17. Kara, Y. 2008. Line balancing and model sequencing to reduce work overload in mixed-model U-line production environments. *Engineering Optimization*, 40(7): 669–684.

18. Kara, Y., Ozguven, C., Yalcin, N. and Atasagun Y. 2011. Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times. *International Journal of Production Research*, 49(21): 6387–6405.

19. https://www.felder-group.com/uk-ua/produkcija/obrobchi-centri-z-chpk-c1953/cnc-machining-centre-profit-h200r-p580907

20. Пилипчук, Д. С., & Ткаченко, Т. П. (2011). Облік та раціональне використання робочого часу на підприємстві. Актуальні проблеми економіки та управління, 5.

21. В. Я. Брич, О. П. Дяків, С. А. Надвиничний, В. М. Островерхов. (2006) Економіка праці та соціально-трудові відносини// За ред. Качана Е.П. ТДЕУ.

ДОДАТОК А.

СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДОПОВІДІ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
1874
SI NATURAM VIVERE DECERNIS
Аналіз раціональних варіантів суміщення технологічних операцій на верстаті з CNC
Виконав: Бернацький Я.І.
Керівник: к.т.н. Миськів Є.М.
Львів 2024

Актуальність теми

- Програмування сучасних систем CNC дотепер здійснюється переважно згідно зі стандартом ISO 6983 (DIN 66025), який був розроблений більше 50 років тому.
- Цей стандарт не дає змоги створювати двосторонній обмін інформацією між CAD-CAM-CNC-рівнями.
- А це зазвичай призводить до розроблення не найфективніших програм оброблення через суттєвий вплив на цей процес людського чинника, зокрема, не реалізуються відомі способи зменшення тривалості виробничого циклу шяхом суміщення операцій, тому **тема роботи є актуальною.**

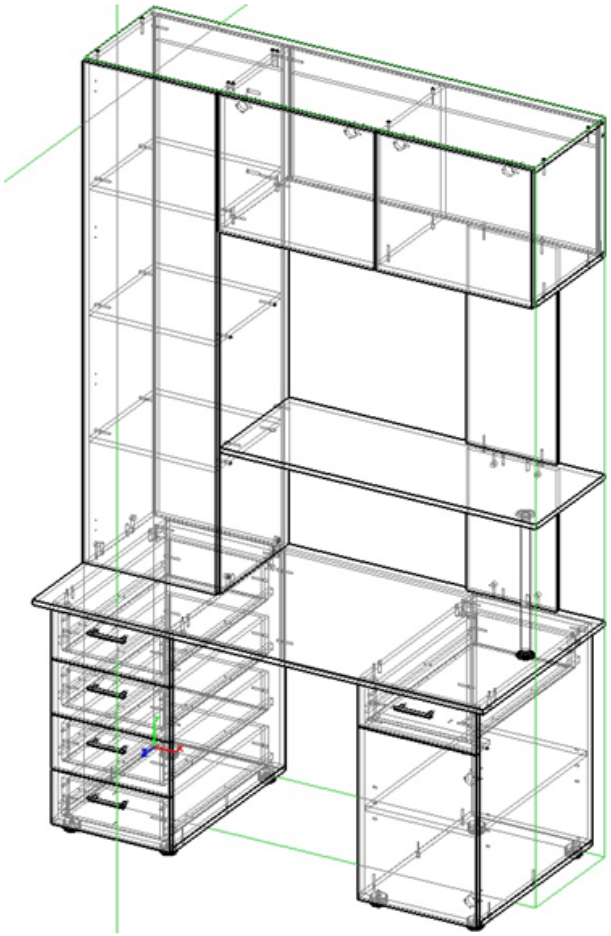
- **Мета роботи** – оцінити вплив суміщення операцій у маятниковому режимі роботи верстата на його продуктивність під час оброблення деталей меблів.
- **Об’єкт дослідження** – автоматизовані процеси механічної обробки деревини і деревинних матеріалів на оброблювальних центрах з CNC та підготовка програм для їх реалізації.
- **Предмет дослідження** – процеси виготовлення деталей меблів на оброблювальних центрах з CNC.

Принцип суміщення операцій

- Суть суміщення технологічних процесів (у часі і просторі) – реалізація двох і більше процесів на одному обладнанні чи в одному робочому просторі одночасно.
- Це дає змогу, щонайменше, суттєво скоротити сукупну тривалість технологічних операцій, а іноді й спростити технологічну схему чи зменшити кількість обладнання.
- Перевірку доцільності застосування цього принципу до механічного оброблення деталей на верстаті з ЧПУ представлено для прикладу на такому виробі:

4

Приклад досліджуваного виробу



Виріб складається із 36-ти деталей, які потребують обробки після розкрою – свердління отворів під фурнітуру.

Деякі деталі потребують оброблення із двох сторін, що слід вважати обробленням двох окремих деталей за двома різними програмами та відповідними затратами часу.

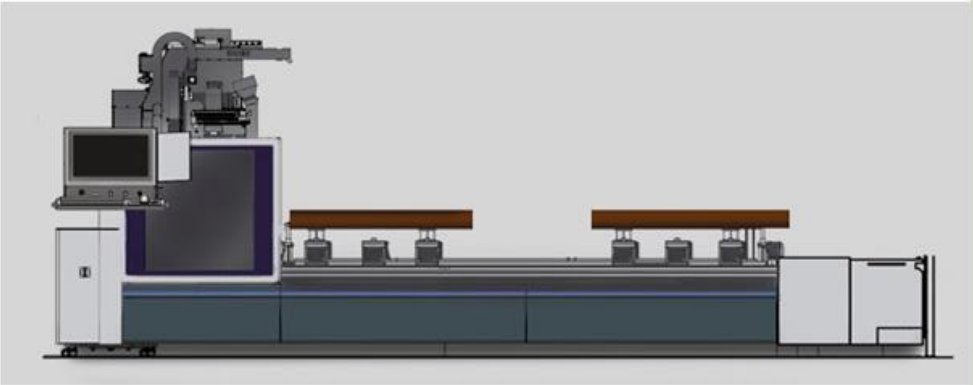
5

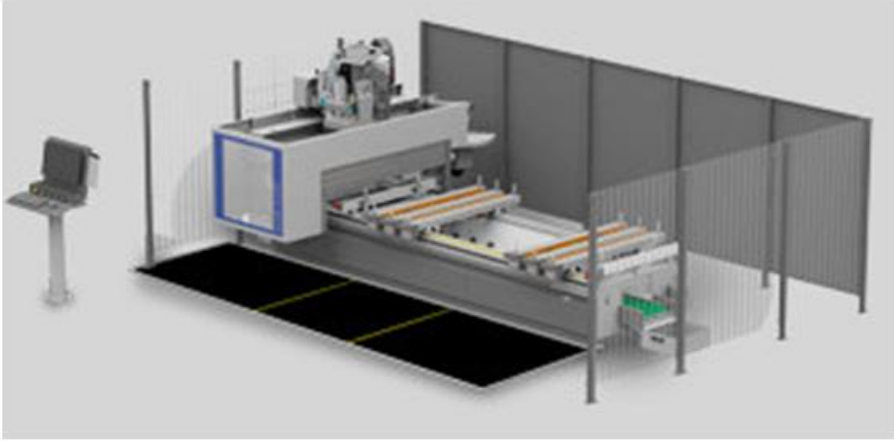
Обладнання для експериментальних досліджень

- Необхідною умовою застосування принципу суміщення операцій є наявність у верстата так званого режиму «маятника», чим і зумовлений вибір обладнання.

6

Схема використання маятникового режиму





7

Затрати часу на оброблення однієї заготовки на верстаті з CNC

- час встановлення (базування) заготовки
- час виставлення (за розміром заготовки) вакуумних присосок та траверс верстату CNC
- час самого оброблення заготовки
- час знімання заготовки із верстату

8

Порядковий номер заготовки	Час оброблення заготовки, сек	Кількість, шт	Час оброблення разом, сек	Час на виставлення присосок	Час завантаження,с	Час розвантаження, с
15354401_1	29	1	29,00	75	15	10
15354401_2	34	1	34,00	0	15	10
15354402_1	46	1	46,00	75	15	10
15354403_1	38	1	38,00	0	15	10
15354404_1	42	1	42,00	75	15	10
15354405_1	9	1	9,00	75	15	10
15354405_2	9	1	9,00	0	15	10
15354406_1	40	1	40,00	0	15	10
15354407_1	45	1	45,00	0	15	10
15354408_1	31	1	31,00	0	15	10
15354408_2	19	1	19,00	0	15	10
15354409_1	34	1	34,00	75	15	10
15354410_1	20	1	20,00	75	15	10
15354411_1	25	2	50,00	75	15	10
15354413_1	14	2	28,00	75	15	10
15354414_1	13	1	13,00	75	15	10
15354415_1	15	1	15,00	75	15	10
15354416_1	15	1	15,00	75	15	10
15354417_1	25	1	25,00	75	15	10
15354418_1	23	1	23,00	0	15	10
15354420_1	15	3	45,00	75	15	10
15354421_1	15	1	15,00	75	15	10
15354422_1	25	1	25,00	75	15	10
15354423_1	12	1	12,00	75	15	10
15354424_1	17	4	68,00	75	15	10
15354425_1	16	4	64,00	0	15	10
15354426_1	14	4	56,00	75	15	10
15354427_1	16	1	16,00	75	15	10
15354428_1	17	1	17,00	0	15	10
15354429_1	15	1	15,00	75	15	10
15354430_1	14	4	56,00	75	15	10
15354431_1	11	4	44,00	0	15	10
15354432_1	11	1	11,00	75	15	10
15354433_1	14	1	14,00	75	15	10
15354434_1	11	1	11,00	0	15	10
15354435_1	11	2	22,00	75	15	10
15354436_1	11	1	11,00	0	15	10
15354441_1	13	1	13,00	75	15	10
Загалом, сек		58	1080,00	1875,00	570,00	380,00

Експериментальні дані

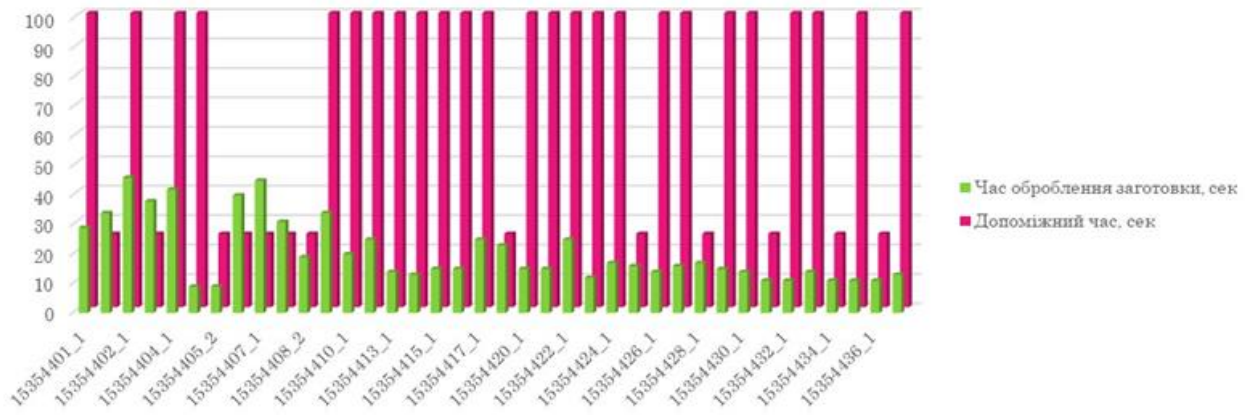
9

Результати реалізації принципу суміщення операцій

- Витрата часу у випадку використання маятникового режиму (суміщення в часі основних і допоміжних операцій) може бути до 50% менша, залежно від кількості та розмірів оброблених деталей.

10

Результати реалізації принципу суміщення операцій



- Сумарний допоміжний час на виготовлення виробу становить приблизно 72% від загальних затрат часу.

11

Висновки

- Застосування принципу суміщення операцій є ефективним засобом для зменшення сумарних витрат часу на виконання операцій механічного оброблення деталей на верстаті з ЧПУ.
- За умови оброблення партії деталей обсягом не менше 30 штук, загальні витрати часу на їх свердління можна зменшити до 50%.
- Встановлено, що затрати часу на встановлення та базування заготовок є суттєво вищі за час оброблення та становлять понад 70%