

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи з дисципліни
«Теорія проектування автоматизованих верстатних комплексів»

Донецьк ДонНТУ 2003

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи з дисципліни
«Теорія проектування автоматизованих верстатних комплексів»
(для студентів спеціальності 7.090203 „Металорізальні верстати та системи”)

Затверджено
на засіданні кафедри
металорізальних верстатів
та інструментів.
Протокол № від

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни „Теорія проектування автоматизованих верстатних комплексів» (для студентів спеціальності 7.090203) / Укл.: Калафатова Л.П., Молчанов О.Д. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – с

Визначені головні вимоги до виконання курсової роботи. Надані методичні вказівки щодо проектування та розрахунків структури автоматичної системи машин для механічної обробки конкретних деталей в умовах крупносерійного та масового виробництва. Розкрито зміст пояснювальної записки та графічної частини курсової роботи.

Рекомендовані для використання при виконанні відповідних розділів дипломного проекту та самостійному вивченні методів технологічної підготовки та розрахунків багатопозиційних автоматичних машин і ліній.

Розділ виконаний за участю студентки гр. МС 98-н О. Д. Швець

Укладачі:

Л.П. Калафатова
О.Д. Мовчанов

Відповідальний за випуск

П.Г. Матюха

Сучасне виробництво відрізняється складністю виробничих і технологічних процесів. У цих умовах вирішення проблеми підвищення продуктивності праці та якості виробленої продукції при мінімальних витратах можливе тільки шляхом впровадження комплексної механізації та автоматизації. Для цього необхідно вміти проектувати та широко використовувати автоматизовані системи технологічного обладнання (автоматичні лінії), до складу яких входять самі верстати-автомати, автоматизовані завантажувальні пристрої, транспортно-накопичувальні системи та інше.

Дисципліна «Теорія проектування автоматизованих верстатних комплексів» - є однією з заключних у системі профільюючих дисциплін. Мета вивчення курсу - дати студентам методологію проектування та організації раціональної експлуатації систем автоматизованого обладнання на основі теорій продуктивності та агрегування робочих машин.

І РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета роботи – дати практичні навички з розрахунків і проектування (вибору та обґрунтування оптимального структурно-компонувального варіанту) автоматичних ліній (АЛ) для умов крупносерійного та масового виробництв.

1.1 Структура та об'єм курсової роботи

Вихідними даними для виконання курсової роботи є: креслення оброблюваної деталі з переліком усіх вимог щодо якості обробки, точності і взаємного розташування поверхонь; програма випуску деталей.

До складу курсової роботи входять розрахункова та графічна частини. Пояснювальна записка об'ємом 15-20 листів формату А4 повинна містити всі необхідні технічні та техніко-економічні розрахунки, на базі яких приймаються рішення. Записка оформлюється з урахуванням вимог ДЕРЖСТАНДАРТУ 2.105-60, 19600-74 і має наступну структуру: титульний лист; реферат; зміст; завдання на курсову роботу та креслення деталі, для якої відбувається проектування АЛ; основну частину, яка містить усі етапи вирішення задачі; висновки; перелік застосованої літератури; додатки, до яких можуть входити, наприклад, алгоритми, або програми розрахунків окремих параметрів системи та ін.

Графічна частина курсової роботи повинна містити: креслення деталі, для якої проектується лінія; ескізи технологічних наладок, які виконуються в умовах автоматизованого виробництва на спроектованій машині або автоматичній лінії; структурну схему та компонентувальне креслення автоматичної системи технологічного обладнання; циклограму роботи АЛ.

1.2 Технологічна підготовка

Основою для проектування будь-якої системи технологічного обладнання, яке працює в автоматичному циклі, є технологічний процес обробки деталі, який повинен забезпечити виробництво конкретних деталей потрібної кількості, заданої якості при мінімальних витратах.

Технологічна підготовка проектних робіт передбачає виконання наступних етапів.

Етап 1. Аналіз конструкції деталі на технологічність.

Виконується за рекомендаціями курсу „Технологія машинобудування”.

Етап 2. Аналіз існуючого або розробка маршрутного технологічного процесу (ТП) обробки деталі в неавтоматизованому виробництві, виходячи з умов забезпечення потрібних точності та якості деталі.

Наводиться маршрут обробки деталі в спрощеному варіанті, без заповнення маршрутних технологічних карт.

Етап 3. Вибір із маршрутного ТП операцій, які передбачаються для виконання в умовах автоматизованого виробництва на АЛ, що проектується, та розробка операційного ТП в умовах реалізації на однопозиційних машинах при одноінструментальній обробці.

Із усього переліку операцій, що входять до складу маршрутного ТП, відбирається ряд операцій, які гадано можуть бути реалізовані на АЛ. Основні принципи для відбору операцій: близькі по тривалості виконання операції, що виконуються послідовно та без переривання їх операціями, які не можуть вийти до складу АЛ. Приклади обробки деталей: варіант а) - операції механічної обробки, термічна обробка, потім знов операції механічної обробки; до складу АЛ рекомендується включити першу частину операцій механічної обробки; варіант б) – операції точіння, свердлення, фрезерування шпоночних пазів, (термін виконання кожної з них відрізняється від інших на 30 – 50%), потім зуборізні операції, тривалість яких в середньому в 3 рази більше, ніж операцій із попередньої групи, а потім шліфувальні операції, тривалість яких в 2 рази менше в порівнянні з першою групою операцій; до АЛ рекомендується включити першу групу операцій (до зуборізних операцій).

При розробці операційного ТП використовуються найбільш перспективні схеми та методи обробки, а також конструкції інструменту та інструментальні матеріали, які передбачають можливість максимальної інтенсифікації режимів різання.

Етап 4. Вибір режимів різання, розрахунок машинного часу t_p виконання переходів та операцій, розрахунок технологічної продуктивності процесу k_0 в умовах неавтоматизованого виробництва.

Вибір режимів різання відбувається відповідно з загально-машинобудівними нормативами для технічного нормування робіт на

металорізальних верстатах [1]. Результати розрахунків заносяться до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Розрахунок машинного часу виконання операцій

| Найменування | | Инструмент | Параметри режиму різання | | | | | D , мм | L , мм | t_p , хв |
|---------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------|----------------|---------------------|-------------|-------------|------------------------|
| операції | Переходу | | t , мм | $s_{об}$, мм/об | v , м/хв | n , об/хв | $s_{хв}$, мм/хв | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1.Токарна | Підрізка торцю | Різець підрізний, тв. сплав | 0,5 | 0,1 | 60 | 640 | 64 | 30 | 18 | 0,28 |
| 2.Свердлильна | Свердлення отвору $\phi 6$ | Свердло $\phi 6$, Р6М5 | 3 | 0,12 | 12,4 | 660 | 79,2 | 6 | 17 | 0,22 |
| 3..... | | | | | | | | | | $\sum t_{M_i}$ = .. |

Розрахунок технологічної продуктивності процесу. Найпростішим варіантом побудови технологічного процесу неавтоматизованого виробництва при прийнятих методах, технологічному маршруті та режимах обробки є повна обробка деталі на однієї позиції при послідовному виконанні всіх складових операцій. Критерієм оцінки технологічного процесу є технологічна продуктивність k_0 , яка визначається за формулою

$$k_0 = \frac{1}{\sum t_{p_i}}, \quad (1.1)$$

де t_{p_i} - машинний час виконання складової операції.

Значення технологічної продуктивності може бути основою для розрахунку оптимального ступеня диференціації та концентрації операцій у багатопозиційній машині або в автоматичній лінії.

Етап 5. Визначення переліку холостих операцій, які необхідні для реалізації робочих операцій технологічного процесу.

При виконанні цього етапу розробник визначає всі складові операції, які необхідно виконати для забезпечення реалізації робочої операції. Холості операції містять дії, які пов'язані з орієнтацією заготовки в просторі, подачу

заготовки до робочої зони, закріплення її на робочій позиції, фіксацію пристрою або супутника на робочій позиції, тощо. Результати вибору холостих операцій оформлюються у вигляді таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік холостих операцій, необхідних для виконання робочих операцій ТП

| Найменування робочої операції | Найменування холостої операції |
|---|--|
| 1. Токарна - точити поверхню 1 на довжині L ; - підрізати торець на поверхні 4; | 1.1. Орієнтувати деталь 1.2. Подати деталь до робочої зони 1.3. Закріпити деталь 1.4. Підвести різець на швидкій ході 1.5. Відвести різець на швидкій ході 1.6. Розкріпити деталь 1.7. Вилучити деталь із робочої зони |
| 1. Свердлильна .. | 2.1. |

Етап 6. Аналіз базового операційного ТП та системи технологічного обладнання за критерієм забезпечення заданої змінної продуктивності обробки конкретної деталі $Q_{номр}$.

Визначення очікуваної змінної продуктивності системи технологічного обладнання в умовах неавтоматизованого виробництва $Q_{вих}$ робиться з формули

$$Q_{вих} = \frac{480}{\sum t_{p_i} + t_x}, \text{ (шт./зміну)} \quad (1.2)$$

де t_x - час виконання холостих (допоміжних) операцій (на даному етапі проектування тих, що наведені у табл. 1.2).

Умовно можна визначити t_x як $t_x \approx 0,3 t_{p_{\max}}$, де $t_{p_{\max}}$ - час виконання найбільш тривалої з несумісних робочих операцій. В умовах неавтоматизованого виробництва $t_x \approx 0,3 \sum t_{p_i}$.

Далі відбувається порівняння $Q_{вих}$ із заданою змінною продуктивністю обробки конкретної деталі $Q_{номр}$, результатом якого становить рішення щодо необхідності вибору оптимального структурно-компонувального варіанту АЛ. При цьому необхідно виконання наступних умов: вибраний варіант АЛ повинен забезпечувати задану продуктивність обробки $Q_{номр}$ з можливим перебільшенням не більше, ніж 15%, і бути найбільш економічним за критерієм наведених витрат.

1.3 Визначення раціональної структури системи технологічного обладнання на прикладі АЛ

1.3.1 *Основні положення обґрунтування структури системи технологічного обладнання.* Оптимальним слід визначити такий проект, який приводить до створення найкращого об'єкту із реально можливих у даних конкретних умовах. Щодо проектування автоматичних ліній, то це визначає створення таких конструкцій, які забезпечують випуск виробів заданої якості з потрібною продуктивністю при найвищих економічних показниках і відповідають вимогам технічної естетики та охорони праці, зручні в обслуговуванні та ін.

Сучасні методи оптимального проектування АЛ базуються на використанні спеціального методологічного та математичного апарату та обчислювальної техніки. Основні категорії оптимального проектування [1]:

- цільова функція проектного рішення, для якої в результаті процесу проектування повинні бути одержані оптимальні або граничні значення (мінімум приведених витрат, максимальна ефективність капіталовкладень, максимальна продуктивність та ін.);

- керуючі перемінні – параметри об'єкту, що проектується, чисельні значення яких і є предметом розрахунку та вибору при проектуванні, тобто предметом оптимізації (технологічні режими; число робочих позицій, верстатів і ділянок у лінії та ін.);

- перемінні, які керуються, - є випадковими функціями сполучення керуючих перемінних і в процесі оптимізації виступають в якості обмежуючих факторів (задана програма випуску, обмеження щодо маси або габаритів та ін.);

- константи проектування – постійні для даних умов величини при проектних розрахунках, в тому числі при оптимізації (норма амортизаційних відрахувань; середня заробітна плата; значення показників надійності обладнання, що очікуються; час спрацьовування типових механізмів та ін.).

Задача розрахунків при оптимізації складається з того, що по заданому або екстремальному значенню цільової функції визначається такий варіант сполучення керуючих перемінних із урахуванням усіх обмежень, при якому забезпечується дане значення. Розрізняють однокритеріальну оптимізацію, коли цільова функція одинична, а результати однозначні, що робить задачу достатньо простою, та багатокритеріальну, коли є декілька цільових функцій і необхідні компромісні рішення – складна задача. При проектуванні АЛ треба вирішувати задачі багатокритеріальної оптимізації, коли у взаємозв'язку вибирають значення декількох керуючих перемінних.

Найбільш складним та відповідальним із точки зору вибору оптимальних рішень є ранні етапи проектування – етапи технічного завдання та технічної пропозиції, коли формуються основні структурно-компонувальні рішення АЛ в цілому. На цій стадії проектування є значне число варіантів, які відрізняються методами, маршрутами, режимами обробки; числом робочих позицій і верстатів у лінії, ділянок-секцій і типом транспортно-завантажувальної системи та ін.

Процес оптимізації на цих етапах проектування включає дві основні стадії:

- формування сукупності технічно можливих і доцільних проектних варіантів лінії, які відрізняються сукупністю керуючих перемінних – технологічних, структурних, конструктивних і тому подібних параметрів (ця стадія носить експертний, процедурний характер);

- вибір оптимального варіанту по заданій цільовій функції; стадія носить розрахункових характер і для її реалізації необхідно мати для даного типу об'єктів математичні моделі взаємозв'язку керуючих перемінних із цільовою функцією та обмежуючими факторами.

Процес вибору оптимального варіанту носить, як правило, характер поступового, покрокового відбору, із поступовим звуженням згідно з прийнятими критерієм і залежностями числа конкретних варіантів лінії, що аналізуються. Однак кількість варіантів ліній, що проектуються, при цьому дуже велика. Так, наприклад, при проектуванні лінії для обробки ступінчастих валів за традиційною типовою технологією число варіантів структурно-компонувальних рішень досягає 1050 [1]. В умовах навчального процесу рішення задачі оптимізації при проектуванні АЛ у повному обсязі неможливо із-за недостатку часу. Тому при виконанні курсової роботи студенти повинні вибрати раціональний, з точки зору наближення до мінімальних витрат, структурно-компонувальний варіант АЛ згідно з основними положеннями, які наведені в наступному підрозділі.

1.3.2 Основні положення щодо вибору раціонального варіанту структури АЛ. При обробці на АЛ конкретної деталі весь технологічний процес (див. п. 1.2) дробиться (диференціюється) на складові частини, що виконуються в різних позиціях на різних верстатах. В процесі обробки - от заготовки до готової продукції - виріб передається послідовно із позиції в позицію, де отримує заданий обсяг технологічної дії таким чином, що на кожній позиції виконується лише визначена частина обробки. При цьому прийняті методи, маршрут і режими обробки, технологічні бази та різальний інструмент (див. п. 1.2) повинні забезпечити виконання заданих вимог якості (точність розмірів, шорсткість поверхні та ін.) при будь-якому структурно-компонувальному варіанті, який аналізується.

До варіантних параметрів АЛ будуть входити:

- 1) число робочих позицій обробки q (з урахуванням вибраного виду верстатного обладнання - однопозиційні, багатопозиційні, агрегатні верстати, тощо), на яких буде розподілена загальна тривалість обробки з метою забезпечення заданої продуктивності обробки;

- 2) число верстатів-дублерів на позиціях, що лімітують, m ;

- 3) число паралельних потоків обробки p (незалежних або залежних), які потрібні для виконання виробничої програми;

- 4) число ділянок-секцій n_0 , на які розподілена лінія, як чисельна характеристика міжагрегатного зв'язку;

5) тип транспортно-завантажувальної системи, тобто компоувальний варіант лінії, який характеризується взаємним просторовим розташуванням верстатів і елементів транспортної системи.

Далі за заданими для проектування умовами треба проаналізувати можливі значення кожного параметру АЛ і вибрати раціональний найбільш простий варіант, при якому виконуються всі сформульовані в завданні умови – потрібна продуктивність у сполученні з мінімальними наведеними витратами.

За першим варіантним параметром – числом робочих позицій обробки q та ступенем диференціації технологічного процесу – число варіантів визначається діапазоном між мінімальним і максимальним числом робочих позицій у лінії $q_{\min} < q \leq q_{\max}$. Для визначення q розроблюється технологічний процес, який призначений для реалізації в автоматичній системі технологічного обладнання – на АЛ. Основою для нього є технологічний процес (ТП), розроблений для реалізації на однопозиційних машинах при одноінструментальній обробці (див. п. 1.2). При цьому тривалість обробки на кожній із не суміщених операцій повинна бути як можна ближче до інших по часу, тобто повинен виконуватися принцип рівномірної диференціації. Відомо [2], що збільшення ступені диференціації технологічного процесу супроводжується зростанням технологічної продуктивності обробки k_0 , тобто чим більше значення q , тим більше k_0 .

Але під час вибору реального числа позицій треба враховувати:

- характер технологічного процесу та конструктивні особливості, які не дозволяють вибрати число позицій менше ніж q_{\min} . Мінімальне число позицій q_{\min} визначається технологічними можливостями обладнання, що використовується. Наприклад, не можна на звичайному токарному верстаті виконувати зуборізальну операцію. До того на кожній позиції може відбуватися, як правило, лише один хід механізму та інструменту за час робочого циклу;

- максимальне число позицій q_{\max} лімітується необхідністю задовольнити вимоги якості та точності обробки. Наприклад, не можливо виконувати операції нарізання різьби, або чистової розточки, які лімітують за часом процес обробки, на декількох позиціях. До того треба пом'ятати, що чим більше число одиниць обладнання, тим менш надійною буде технологічна система, на якій відбувається обробка.

Враховуючи ці положення, технолог-розробник на основі методу суміщення операцій за рахунок використання багатоінструментальних наладок та диференціюючи найбільш тривалі операції розроблює новий технологічний процес. Число позицій q визначається, виходячи з задоволення заданої змінної продуктивності Q_{AL_u} , укрупнений розрахунок якої відбувається за формулою

$$Q_{AL_u} = \frac{480}{t_p(q) + t_x} K_{вик} = \frac{480}{T_u} K_{вик}, \quad (1.3)$$

де $t_p(q)$ - час машинної обробки (робочих ходів) на позиції, що лімітує, хвил.; T_u - час робочого циклу АЛ, хвил.; t_x - час не суміщених допоміжних ходів циклу, хвил.; $K_{вик}$ - очікуваний коефіцієнт використання АЛ, у більшості $K_{вик}=0,75$.

Якщо при прийнятому значенні $Q_{АЛ_u}$ менше заданої, то підвищення продуктивності може бути забезпечено за рахунок зменшення часу робочих ходів циклу завдяки дробленню (диференціації) тривалості обробки на позиції, що лімітує, якщо це можливо з точки зору технології, на дві частини, тобто завдяки збільшенню числа позицій АЛ на одну одиницю ($q+1$):

$$t_p(q+1) < t_p(q). \quad (1.4)$$

Таким чином послідовно відбувається диференціювання наступної позиції, що після цього лімітує. Цей процес відбувається аналогічним чином до тих пір, доки $Q_{АЛ_u}$ не зрівняється з заданою, або наступна диференціація технологічного процесу та збільшення числа позицій недоцільні, так як вони мало відображуються на тривалості робочих ходів циклу; при цьому виникає небезпека втрати показників якості, наприклад, при розділенні чистової операції обробки.

Другим варіантним параметром АЛ є число верстатів-дублерів m . Для підвищення продуктивності крім диференціації обробки на позиціях, що лімітують, може бути використаний метод дублювання верстатів, тобто встановлення на позиціях, що лімітують, не одного, а двох і більше паралельно працюючих верстатів. Число верстатів-дублерів обмежується лише потрібною продуктивністю лінії. На рис. 1.1 наведені деякі можливі структурні варіанти побудови лінії із жорстким зв'язком і верстатами-дублерами при п'яти робочих позиціях ($q=5$).

Варіант *а* на рис. 1.1 – це звичайна однопоточна лінія з явно нерівномірною диференціацією технологічного процесу ($m=0$). За варіантом *б* на позиції II, що лімітує, замість того, щоб диференціювати обробку та одержати таким чином лінію з шістьма робочими позиціями, встановлений ще один додатковий паралельно працюючий верстат ($m=1$). Якщо після цього позицією, що лімітує, стане IV позиція, то на ній також можна встановити додатковий верстат (рис. 1.1, *в*). Якщо одна з операцій, що лімітує, є дуже тривалою, на ній можна встановлювати більш ніж один додатковий верстат (рис. 1.1, *г*, позиція II, $m=3$).

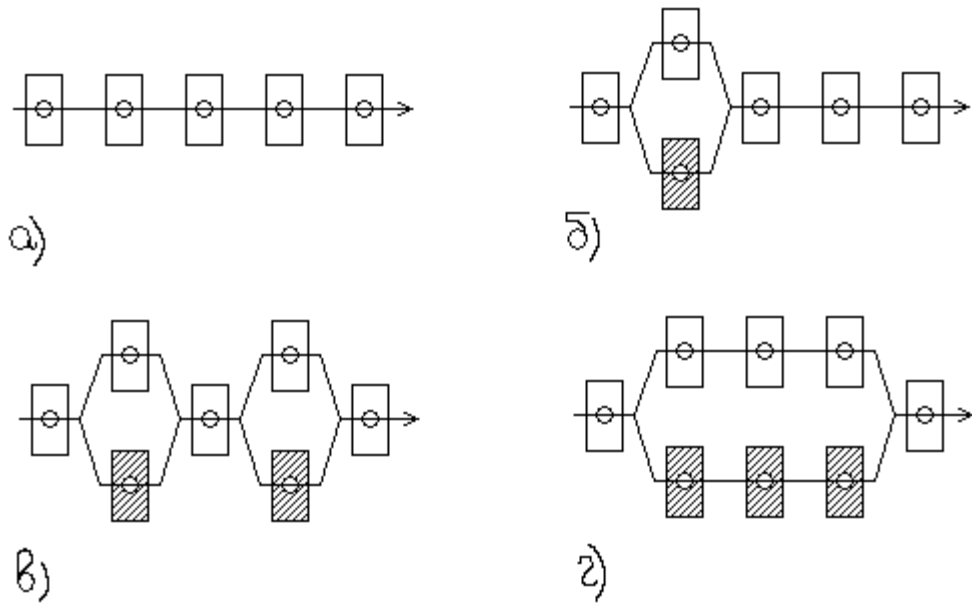


Рисунок 1.1 – Структурні варіанти автоматичної лінії із п'яти робочих позицій і з верстатами-дублерами

Третім варіантним параметром є вибір числа паралельних потоків обробки p , які потрібні для виконання виробничої програми. Цей засіб підвищення продуктивності використовується тільки в тому разі, якщо перші два – диференціація технологічного процесу по q позиціях і введення додаткового числа верстатів-дублерів m на позиціях, які лімітують, не задовольняє потрібної продуктивності АЛ. Це буває відносно рідко.

Четвертим варіантним параметром є число ділянок-секцій n_d , на які розділяється лінія, тобто вид міжагрегатного зв'язку. Граничними варіантами є одноділянкова лінія з жорстким міжагрегатним зв'язком ($n_d=1$) і багато ділянкова лінія з гнучким міжагрегатним зв'язком ($n_d=q$).

Число варіантів за цим параметром залежить наперед за все від числа позицій q . Лінія з чотирьох верстатів ($q=4$) може бути структурно побудована за трьома варіантами ($n_d=1, 2, 4$). Таке ж число варіантів буде й для лінії з п'яти верстатів. Лінія з шести верстатів може бути побудованою за чотирма варіантами: лінія з жорстким зв'язком ($n_d=1$); лінія з двох ділянок ($n_d=2$) по три верстати; лінія з трьох ділянок ($n_d=3$) по два верстати; лінія з гнучким зв'язком ($n_d=6$). Аналогічно оцінюється число окремих структурних варіантів і для ліній із більш високим числом позицій.

Всі варіанти з $n_d > q/2$ треба виключити з аналізу як мало перспективні (наприклад, розподіл лінії з чотирьох верстатів на три ділянки, лінії з шести верстатів - на чотири та п'ять ділянок та ін.).

П'ятим варіантним параметром – тип транспортно-завантажувальної системи (ТЗС) автоматичної лінії. При цьому варіанти ТЗС відрізняються

наступними ознаками: видом транспортних і завантажувальних пристроїв (транспортери, маніпулятори, автооператори, промислові роботи, бункерні завантажувальні пристрої, тощо); розташуванням основної траси транспортування виробів відносно до робочих зон обробки (бокове, верхнє, крізне); розташуванням верстатного обладнання відносно до напрямку транспортування (паралельне або перпендикулярне); положенням осей виробів, що транспортуються, (горизонтальне або вертикальне), тощо.

Так, без урахування виду завантажувальних пристроїв, для АЛ по обробці ступінчастих валів [1] можна виділити наступні сім варіантів найбільш розповсюджених ТЗС (рис. 1.2): 1- з паралельним розташуванням обладнання та боковою трасою транспортування; 2 – паралельним розташуванням обладнання та верхньою трасою транспортування; 3 - з паралельним розташуванням обладнання, боковим транспортуванням і вертикальним розташуванням валів на транспортері; 4 – з перпендикулярним розташуванням обладнання та трасою транспортування, яка проходить крізь робочі зони обробки; 5 - з перпендикулярним розташуванням обладнання та боковою трасою транспортування; 6 – з перпендикулярним розташуванням обладнання та верхньою трасою транспортування; 7 – з перпендикулярним розташуванням обладнання, боковим транспортуванням і вертикальним розташуванням валів на транспортері.

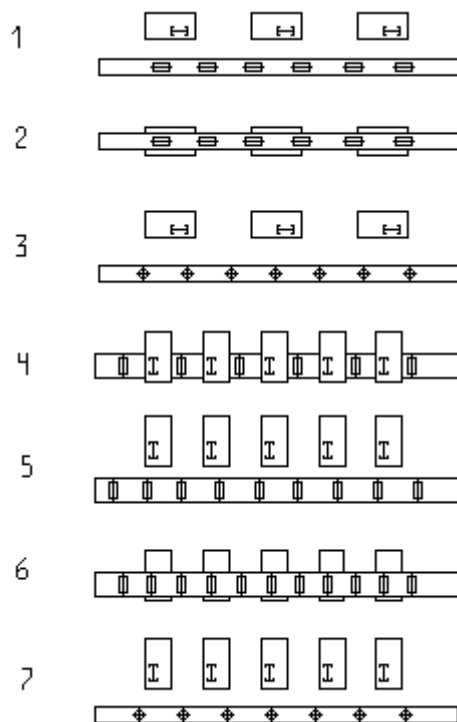


Рисунок 1.2 - Типи транспортно-завантажувальних систем АЛ для обробки ступінчастих валів

Загальне число технічно доцільних варіантів побудови ліній при варіюванні п'ятьома основними параметрами (q , m , p , n_d , тип транспортно-завантажувальної системи) може бути значним. При виборі остаточного

варіанту треба виходити з того, що провідним варіантним параметром приймається число позицій лінії q .

1.3.3 *Вибір раціонального варіанту автоматичної лінії.* Найбільш вірогідним методом вибору оптимального варіанту при рішенні будь якої технічної задачі є метод прямого (повного) перебору, при якому для кожного з варіантів обчислюється цільова функція, після чого по заданому критерію оптимальності (максимум чи мінімум цільової функції) відшукується потрібний варіант. Щодо оптимальних задач проектування та експлуатації АЛ, які вирішуються за критеріями економічної ефективності, ознакою оптимального варіанту є, як правило, мінімум наведених витрат. При виконанні курсової роботи задача оптимізації не вирішується в повному обсязі, тому студенти повинні вибрати раціональний, з точки зору наближення до мінімальних витрат, структурно-компонувальний варіант АЛ.

Вибір варіанту відбувається в наступній послідовності:

- відбір варіантів, які задовольняють вимогам якості виробів і продуктивності їх випуску в заданому діапазоні. Варіюють перемінними структурними параметрами АЛ у наступній послідовності: q , m , p , n_0 і відбирають декілька найбільш структурно простих варіантів, які відповідають вимогам продуктивності;
- аналіз відібраних структурних варіантів АЛ із урахуванням типу верстатного обладнання та вибір типу ТЗС за критерієм мінімальних питомих капіталовкладень, відбір конкретного варіанту транспортної системи;
- розрахунок економічних показників для відібраних варіантів і вибір варіанту з кращими показниками.

Перший етап – вибір варіантів структури АЛ і визначення її продуктивності. На базі раніш розробленого технологічного процесу обробки деталі для умов неавтоматизованого виробництва (див. п. 1.2) розроблюють декілька варіантів ТП у автоматизованому виробництві, використовуючи положення, які наведені в п. 1.3.2 і формули (1.3) та (1.4), насамперед варіюючи параметрами структури АЛ - q та m , які впливають на тривалість роботи лінії $t_p(q)$ в позиції, що лімітує. Для подальшого аналізу відбирають варіанти, які забезпечують продуктивність АЛ $Q_{AL_{\mu}}$ при жорсткому міжагрегатному зв'язку в заданому діапазоні.

Уточнений розрахунок повної продуктивності однопоточної АЛ із жорстким міжагрегатним зв'язком $Q_{AL_{ж}}$ відбувається згідно з формулою

$$Q_{AL_{ж}} = \frac{480 K_{зав}}{t_p(q) + t_x + \sum t_{вл}}, \quad (1.5)$$

де $K_{зав}$ - коефіцієнт завантаження лінії як характеристика умов її експлуатації – не тільки технічних, але й організаційних, в залежності від умов

експлуатації приймається в діапазоні 0,85-0,90; t_x - час не суміщених допоміжних ходів циклу, хвил., в умовах диференціації технологічного процесу умовно може бути визначений як $t_x = 0,3 t_p(q)$; $\sum t_{вл}$ - сумарні власні позациклові витрати (простої на одиницю продукції), хвил./шт., визначаються за формулою:

$$\sum t_{вл} = \sum t_{ін} + q t_{об_{ср}} , \quad (1.6)$$

де $\sum t_{ін}$ - очікувані позациклові витрати по інструменту; $t_{об_{ср}}$ - очікувані усереднені позациклові витрати по обладнанню (для однієї позиції).

Формула (1.6) може бути уточнена, якщо відомі точні значення витрат по кожній позиції $t_{об}$

$$\sum t_{вл} = \sum t_{ін} + \sum t_{об} \approx \sum t_{ін} + q t_{об_{ср}} . \quad (1.7)$$

Витрати часу з-за виходу зі строю інструменту визначаються за формулою

$$\sum t_{ін} = \sum \frac{t_{p_i}}{T_{ін_i}} (t_{з_i} + t_{з_{M_i}}) , \quad (1.8)$$

де t_{p_i} - машинний час виконання складової операції конкретним i -м інструментом, хвил.; $T_{ін_i}$ - нормативна стійкість інструменту, хвил.; $t_{з_i}$ - час, необхідний на заміну інструмента при його зносі, хвил.; $t_{з_{M_i}}$ - середня тривалість простоїв із-за випадкових збоїв у роботі та поломок інструменту, що приходиться на період його стійкості, хвил.

Значення $t_{з_i}$ та $t_{з_{M_i}}$ для різних типів інструментів при умові попередньої наладки осьових інструментів по довжині на спеціальних приборах наведені в Додатку А. При примусовій зміні різальні інструменти розбивають на групи з однаковим розрахунковим періодом стійкості. В цьому випадку замість $T_{ін_i}$ приймають $T_{ін_{гр}}$ (групова стійкість), а $t_{з_i}$ зменшується в два рази в порівнянні із значеннями, що наведені в Додатку А.

При використанні багатоінструментальних наладок час, який необхідний на заміну інструменту при його зносі $t_{з_i}$, повинен бути збільшений проти значень, наведених в Додатку А, на 20% на кожний додатковий інструмент у наладці. Так для наладки з трьох чистових різців $t_{з_i} = 3,0 + 0,2 \times 3 \times 2 = 4,2$ хвил.

Дані для розрахунку $\sum t_{ін}$ зводяться до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Розрахунок часу витрат по інструменту

| № | Інструмент | t_{p_i} , | $T_{ін_i}$, хвил. | $(t_{з_i} + t_{з_{M_i}})$, | $t_{ін}$, хвил. |
|---|------------|-------------|--------------------|-----------------------------|------------------|
|---|------------|-------------|--------------------|-----------------------------|------------------|

| | | | | | |
|-----|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------|
| п/п | | ХВИЛ. | | ХВИЛ. | |
| 1. | Спиральне свердло d=5 мм | 0,2 | 60 | 1,12 | 0,004 |
| 2. | | | | | |
| | | | | | $\sum t_{in} =$ |

Розрахунок очікуваних позациклових витрат по обладнанню (для однієї позиції) $t_{об}$ може відбуватися за формулою

$$t_{об} = \sum_{j=1}^k \frac{t_{n.o_j}}{100} t_{p_j}, \quad (1.9)$$

де $t_{n.o_j}$ - середня тривалість простоїв j -го нормалізованого вузла, що входить до складу обладнання конкретної позиції, хвил., яка приходить на 100 хвил. роботи (див. Додаток Б); t_{p_j} - час роботи j -го нормалізованого вузла при випуску одиниці продукції, хвил.; k - загальна кількість нормалізованих вузлів у обладнанні конкретної позиції.

Результати розрахунків по визначенню часу витрат по обладнанню заносяться до таблиці 1.4. Вони мають досить умовний характер. Для деяких випадків їх значення можна визначити із спрощених залежностей, які є в літературі. Так, наприклад, для токарних багатопіндельних автоматів витрати по обладнанню можна визначити, як $t_{об} = (0,02 - 0,06) \sum t_{p_i}$, де $\sum t_{p_i}$ - загальна тривалість робочих операцій, які треба виконати на багатопозиційній машині.

При необхідності значення усереднених витрат на одну позицію можна розрахувати як $t_{об_{cp}} = \frac{\sum t_{об}}{q}$.

Реальна продуктивність автоматичної лінії може бути підвищена за рахунок введення паралельних потоків p

$$Q_{АЛ_p} = \frac{480 p K_{зав}}{t_p(q) + t_x + \sum t_{вл}}, \quad (1.10)$$

або використання гнучкого між агрегатного зв'язку. Тоді формула (1,5) прийме вигляд

$$Q_{АЛ_{zn}} = \frac{480 K_{зав}}{t_p(q) + t_x + \frac{\sum t_{in} + q t_{об_{cp}} W}{n_{\delta}}}, \quad (1.11)$$

де n_{δ} - число ділянок-секцій, на які розподілена лінія; W - коефіцієнт зростання простоїв ділянки, що лімітує, в наслідок неповної компенсації витрат накопичувачами.

Таблиця 1.4 – Розрахунок витрат по обладнанню

| Найменування позиції | Найменування механізмів | Час простоїв на 100 хвил. | Час роботи j -го нормалізованого | Простої конкретних |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------|
|----------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------|

| | | роботи $t_{n.o_j}$, хвил. | вузла t_{p_j} , хвил. | механізмів $t_{об_j}$, хвил. |
|----------------|---|-------------------------------|-------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| I.Токарна | 1.Вузол подачі та затиску заготовки | 0,55 | 6,72 | 0,037 |
| | 2.Шпіндельний блок із механізмом фіксації та приводом обертання | 0,18 | 6,72 | 0,0012 |
| | 3.Вузол поперечних супортів | 0,07 | 2,12 | 0,0015 |
| | 4.Вузол повздовжніх супортів | 0,06 | 4,6 | 0,0028 |
| | 5.Гідравлічне обладнання | 0,17 | 6,72 | 0,0114 |
| | 6.Електрообладнання | 0,65 | 6,72 | 0,0437 |
| | 7.Система охолодження | 0,08 | 6,72 | 0,054 |
| | 8.Транспортер стружки | 0,24 | 6,72 | 0,016 $\Sigma t_{об_I} = 0,168$ |
| II.Свердлильна | 1.Вузол подачі та затиску заготовки | 0,53 | 2,12 | 0,0011 |
| | 2.Силова головка для свердлення глибоких отворів | 0,32 | 2,12 | 0,0068 $\Sigma t_{об_{II}} = 0,072$ |
| III.Фрезерна | | | | $\Sigma t_{об_{III}} = 0,054$ |
| | | | | $\Sigma t_{об} =$ $\Sigma t_{об_{(I-III)}} =$ $= 0,294$ |

Виходячи з результатів експлуатаційних досліджень [], при ємності накопичувачів $E=30-50$ хвил. і більше значення W як функція числа ділянок може бути характеризувана даними, які наведені нижче.

| | | | | | | |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|
| n_δ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| W | 1,0 | 1,10 | 1,15 | 1,18 | 1,20 | 1,22 |

Розрахунок $Q_{AL_{zn}}$ згідно з формулою (1.11) при поступовому збільшенні числа ділянок на одиницю раціонально продовжувати доки послідовне збільшення продуктивності ΔQ перевищує 10%, тобто, якщо

$$\Delta Q = \frac{Q_{AL(n_\delta+1)} - Q_{AL(n_\delta)}}{Q_{AL(n_\delta)}} \cdot 100\% > 10\% .$$

Оптимальне, з точки зору економічних показників, число ділянок АЛ розраховують за формулою

$$n_{\partial_{opt}} = \sqrt{\frac{\sum t_{in} + qt_{обср} \cdot 0,35K + 3_n q}{t_p(q) + t_x} \cdot 0,35K\alpha}, \quad (1.12)$$

де K - вартість обладнання лінії при найпростішому структурному варіанті з жорстким зв'язком ($n_{\partial}=1$), грн.; 3_n - річний фонд заробітної плати робочих, які обслуговують лінію (оператори, наладчики), грн.; α - відносна вартість накопичувача по відношенню до вартості одного верстата АЛ.

Розрахунки за формулою (1.12) свідчать, що із зростанням числа позицій значення $n_{\partial_{opt}}$ збільшується. Умовно число $n_{\partial_{opt}}$ можна вибирати із таблиць, аналогічних таблиці 1.5 [].

Таблиця 1.5 – Рекомендовані значення $n_{\partial_{opt}}$ для варіантів АЛ в залежності від числа позицій q

| Число робочих позицій q | Оптимальне число ділянок $n_{\partial_{opt}}$ | Число робочих позицій q | Оптимальне число ділянок $n_{\partial_{opt}}$ |
|---------------------------|---|---------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 4 | 1 | 9 | 2-3 |
| 5 | 1-2 | 10 | 3-4 |
| 6 | 1-2 | 11 | 3-4 |
| 7 | 2 | 12 | 3-4 |
| 8 | 2-3 | | |

Другий етап – вибір типу транспортно-завантажувальної системи (ТЗС). При проектуванні АЛ кількість варіантів компонувальних рішень ТЗС може бути значним. Кожний із типів при однакових характеристиках основного технологічного обладнання має різні показники вартості та не суміщеного часу холостих ходів при виконанні завантаження та розвантаження виробів, їх міжверстатного транспортування.

Критерієм порівняльного аналізу та вибору типу ТЗС можуть бути питомі капітальні витрати такі, як вартість системи, що віднесена до одиниці виробленої продукції. Щодо варіантів АЛ вартість ТЗС визначиться формулою

$$K_{mp} = A(q + 1,2m) + Bn_{\partial}, \quad (1.13)$$

де A , B – числові коефіцієнти, які характеризують вартісні показники даного типу транспортної системи лінії; q – число робочих позицій; m – число верстатів-дублерів; n_{∂} - число ділянок-секцій, на які розділена лінія, або число накопичувачів (з урахуванням пристрою на початку лінії, який виконує завантажувально-накопичувальні функції).

Вартість, яка пропорційна числу позицій, складається з вартості самих крокових транспортерів, проміжних перевантажувачів, порталів, маніпуляторів, роботів, проміжних базових елементів. Коефіцієнт A чисельно

характеризує середню вартість допоміжного оснащення однієї позиції як вартісну константу даного варіанту ТЗС.

Вартість, яка пропорційна числу ділянок-секцій, складається із вартості накопичувачів виробів і приводу транспортної системи (звичайно на кожній із n_d ділянок є окремий привід поздовжнього транспортування виробів). Коефіцієнт B чисельно характеризує середню вартість накопичувача і приводу однієї ділянки.

Кожний варіант транспортної системи відрізняється величиною та напрямком транспортних переміщень виробів, що оброблюються. Тому значення не суміщених допоміжних (холостих) ходів t_x робочого циклу може значно відрізнятися. Тому при виборі типу ТЗС для підвищення циклової продуктивності лінії треба орієнтуватися на варіанти компонувань із мінімальними значеннями t_x .

Третій етап - розрахунок економічних показників для відібраних варіантів АЛ і вибір варіанту з кращими показниками, тобто з мінімумом наведених витрат. При цьому для кожного з відібраних структурних варіантів АЛ розраховуються значення наведених витрат Z_i :

$$Z_i = K_i E_n + C_i, \quad (1.14)$$

де K_i - вартість АЛ даного варіанту; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень; C_i - собівартість річного випуску продукції при даному варіанті АЛ.

На даному етапі проектування розрахунки мають приблизний характер, тому можуть використовуватися наступні припущення:

- витрати на інструмент і електроенергію, віднесені до одиниці продукції, будуть практично однаковими для всіх варіантів (технологічний процес не змінюється) і, таким чином, на вибір варіанту не впливають;
- амортизаційні відрахування розраховуються за нормативними коефіцієнтами від вартості; аналогічно можна приймати і витрати на поточний ремонт і обслуговування.

Це дозволяє розраховувати неповні наведені витрати з урахуванням у собівартості C_i лише амортизаційних відрахувань, ремонтних витрат і виробничої заробітної плати Z_{n_i} .

При розрахунках можна прийняти: нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень $E_n = 0,15$; коефіцієнт амортизаційних відрахувань $0,122$; коефіцієнт витрат на поточний ремонт $0,08$. Тоді неповні наведені витрати по кожному з варіантів будуть

$$Z_i = K_i E_n + C_i = 0,15K + 0,122K + 0,08K + Z_{n_i} = 0,35K_i + Z_{n_i}. \quad (1.15)$$

Загальна вартість K АЛ складається з

$$K = K_{верст} + K_{тр},$$

де $K_{верст}$ – вартість основного обладнання – верстатів, які входять до складу лінії; $K_{тр}$ - вартість транспортно-завантажувальної системи, яка залежить від числа верстатів q , m і ділянок-секцій n_{∂} , що обслуговуються (див. 1.13).

Результати розрахунків заносяться в таблицю типу табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок неповних наведених витрат варіантів АЛ

| Варіант | q | n_{∂} | m | K_i , грн | Z_{n_i} , грн | Z_i , грн |
|---------|-----|----------------|-----|-------------|-----------------|-------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| . | | | | | | |
| . | | | | | | |

З таблиці 1.5 остаточно відбирається один з варіантів, який відрізняється низькими значеннями наведених витрат при найменшій конструктивній складності. Для нього наводяться ескізи карт технологічних налагоджень по позиціях лінії. Цей варіант можна використовувати як основу для подальшого проектування лінії.

2 РОЗРОБКА ЦИКЛОГРАМИ РОБОТИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛІНІЇ

Циклограма роботи системи автоматичного обладнання як графічне відображення послідовної роботи основних її структурних елементів (верстатів, транспортно-завантажувальних пристроїв, тощо) будується на основі розрахунку циклу роботи лінії

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизация процессов машиностроения: Учеб. пособие для машиностр. спец. вузов/ Я. Буда, В. Гановский, В. Лихтман и др.; Под ред. А.И. Дащенко. - М.: Высш. шк., 1991. - 480 с.
2. Автоматизация дискретного производства/Б.Е. Бонев, Г.Й. Бохачев, И.К. Бояджиев и др.; Под общ. ред. Е.И. Семенова, Л.И. Волчекевича. - М.: Машиностроение, 1987; София: Техника, 1987. - 376 с.
3. Проектирование автоматизированного производственного оборудования: Учеб. пособие для вузов / М.М. Кузнецов, Б.А. Усов, В.С. Стародубов. - М.: Машиностроение, 1987. - 288 с.
4. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов и др.; Под общ. ред. И.А. Клусова. - М.:Машиностроение, 1990. - 400с.

5. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства: Учеб. пособие. - К.: Выща шк., 1989. - - 240 с.

6. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. - М.: Машиностроение, 1987. - 425 с.

7. Васильев В.Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. - М.:Машиностроение, 1986. - 312 с.

8. Асфаль Р. Роботы и атоматизация производства. - М.: Машиностроение, 1989.- 448 с.

9. Роботизированные технологические комплексы в ГПС / Н.М. Довбня, А.Н. Кондратьев, Е.И. Юревич. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. - 303 с.