**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГОВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Методические указания

к курсовому и дипломному проектированию

для студентов направления

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительного производства

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2024

Цель работы – оказание помощи студентам в решении задачи в курсовом и дипломном проектировании по технологии машиностроения по выбору оптимального технологического процесса механообработки.

В методичке изложен новый подход, базирующийся на граф-структурном анализе сложной технологической системы, который содержит необходимое количество технологических алгоритмов, облегчающих разработку оптимального маршрутного технологического процесса.

1.Основная часть

Граф-структурное представления маршрутной технологии.

Наиболее эффективный путь для решения задачи оптимизации технологии – граф-структурный. Он предполагает представление любого сложного технологического процесса в виде графа. Узлами этого графа являются: заготовка, полуфабрикат после выполнения каждой технологической операции и готовая деталь, а дугами – затраты времени (трудоемкость) и денежные затраты (себестоимость).

Суммарная трудоемкость и себестоимость всех операций определяется путем суммирования соответствующих затрат на получение готовой детали. Поиск минимального пути в графе по критерию трудоемкости и себестоимости и есть оптимизационная задача при выборе маршрутной технологии изготовления детали.

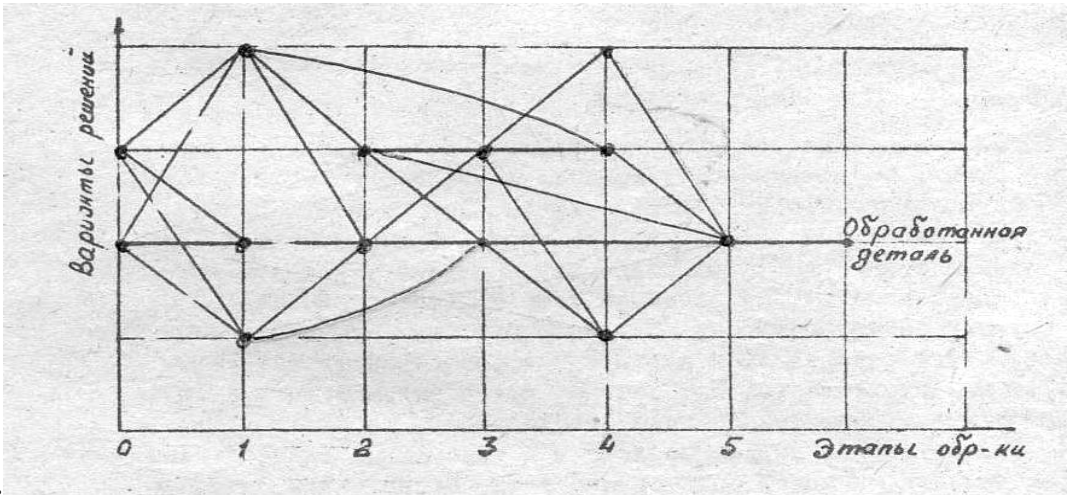
Как известно, получение детали с требуемыми техническими характеристиками может быть выполнено несколькими способами (вариантами). Например, заготовка детали типа ступенчатый вал может быть получена разными технологическими способами: из сортового проката, штамповкой на молоте, штамповкой на горизонтально-ковочной машине и т.д.

Токарная обработка этой детали может осуществляться на универсальных станках, многорезцовых, многошпиндельных, на токарных станках с ЧПУ. Очевидно, что возможны разные варианты обработки деталей на фрезерных, сверлильных, расточных и шлифовальных станка.

Формирование структуры вариантов обработки детали целесообразно осуществлять следующим способом: на одной горизонтальной ординате необходимо отложить основные этапы технологического процесса, которые определяются конфигурацией детали, точностью и качеством обработки. На другой ординатной оси откладываются возможные варианты применения станочного оборудования или способы обработки.

Пересечение вертикальной и горизонтальной ординат формирует узел графа. Линии , соединяющие разные узлы графа, составляют дуги графа.

На рис 1 приведен пример построения граф-структуры технологического процесса изготовления детали



.

Рис 1 Граф-структура вариантов механической обработки детали

0 – этап получения заготовки; 1–5 - этапы механической обработки.

1- черновая обработка; 2 – получистовая обработка; 3 – чистовая обработка;

4,5 – отделочная обработка поверхностей

Граф-структурная сеть представляет собой совокупность всех принятых к рассмотрению вариантов получения заготовки и вариантов механической обработки. Так граф-структура, представленная на рис 1 включает 2 варианта получения заготовки, 3 варианта черновой обработки заготовки, 2 варианта получистовой обработки, 4 варианта чистовой обработки и 2 варианта отделочной обработки .

Среди рассматриваемых вариантов есть варианты, включающие оборудование одноцелевого назначения и варианты с оборудованием многоцелевого назначения . Один из представленных вариантов является оптимальным.

Расчет параметров сети включает:

-определение затрат на получение заготовки;

- определение трудоемкости механической обработки по каждому этапу и по всему маршруту вцелом;

- определение себестоимости обработки по каждому этапу и всему маршруту вцелом.

Расчеты на этом этапе не должны быть излишне трудоемкими и в то же время должны обеспечить достаточную точность для выбора оптимального из вариантов. Ниже приводится методика выполнения расчетов по трудоемкости и себестоимости заготовки и операций механической обработки.

2. Определение стоимости получения заготовки

Стоимость получения заготовки из сортового проката определяется по формуле:

$$S = M + \sum C_1$$

M – затраты на материал;

C_1 – технологическая себестоимость заготовительных операций (правка, калибровка, разрезание на штучные заготовки и т.д.).

Затраты C_1 можно укрупнено принять равными 15-20% от стоимости материала заготовки.

Затраты на материал определяются по массе проката, необходимого для изготовления детали за вычетом массы сдаваемой стружки:

$$M = Q\ S1 - (Q - q)\ S\ отх$$

Q- масса заготовки, кг;

S_1- стоимость 1 кг материала заготовки;

q - масса готовой детали;

Sотх - цена 1 кг отходов (стружки).

Справочный материал для определения S_1 приведен в приложении 1 .

Стоимость отходов (стружки) можно принять равной Sотх =5-5,5 руб/ кг

Стоимость заготовок, получаемых методами литья в земляные формы, кокиль, по выплавляемым моделям, литьем под давлением, а также штамповкой на молотах, горизонтально-ковочных машинах, прессах и другими способами можно определить по формуле:

$$S_2 = Ci\ Q\ K1\ K2\ K3\ K4\ K5 - (Q - q)\ Sотх$$

Ci - стоимость 1кг заготовок,руб;

K1-K5 - коэффициенты, зависящие от класса точности заготовок (K1), группы сложности (K2),массы (K3), марки материала (K4) и объема производства (K5).

Численные значения коэффициентов приведены в [1].

Ориентировочная стоимость 1кг заготовок представлены в приложении 2.

3 Определение затрат на механическую обработку

3.1 Определение трудоемкости механической обработки

Определение трудоемкости механообработки сводится к определению штучного или штучно-калькуляционного времени и включает ряд структурных составляющих, определение численной величины которых требует значительных затрат времени. Поэтому на этапе выбора оптимального варианта технологического процесса целесообразно применять методику упрощенного расчета.

Суть ее заключается в том, что определение затрат времени на механическую обработку производится на основе размерных параметров обрабатываемых поверхностей детали, заданных по чертежу детали.

На первом этапе определяется суммарная величина машинного времени, необходимая для выполнения соответствующих технологических переходов по каждой операции техпроцесса.

$$T_м = \sum_{i=1}^{n} T_i$$

Ti - затраты времени на один технологический переход,мин;

n- количество технологических переходов, выполняемых на данной операции.

Для определения машинного времени, затрачиваемого на технологический переход можно использовать приближенные формулы, приведенные в приложении 3.

На втором этапе определяется численная величина вспомогательного времени на установку и снятие заготовки на станок из справочной литературы [2].

Для определения штучного (штучно-калькуляционного времени) Тшк можно использовать следующую формулу

$$Тшт\ к = (\sum Ti + Твсп)\ \varphi$$

φ - коэффициент, укрупнено учитывающий все другие составляющие Тшт или Тштк.

В приложении 3 приведены значения коэффициента φ для различных видов технологического оборудования и условий обработки.

3.2 Выбор плана обработки поверхностей

На этом этапе проектирования определяется количество технологических переходов (операций) необходимых и достаточных для получения заданных характеристик точности и качества обработки. Алгоритм формирования точности обрабатываемых поверхностей имеет вид:

$$\varepsilon_0 = \frac{T_{заг}}{T_д} = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdots \frac{T_{n-1}}{T_2}$$

$$\varepsilon_0 = \prod_1^n \varepsilon_i$$

- общее достигаемое уточнение (повышение точности обработки) при механической обработке заготовки;

- отдельная ступень уточнения, достигаемая на выполняемом переходе.

- количество ступеней уточнения;

- допуск на поверхность заготовки;

- допуск на поверхность у обработанной детали;

- допуск на выполняемый технологический переход.

При разделении общего уточнения на отдельные сомножители необходимо учитывать следующие рекомендации:

1. Для первой ступени уточнения (черновая обработка с точностью размеров по 12-13 квалитету) допустимая величина уточнения не должна превышать ε_1 = 4-6;

2.Для второй ступени уточнения (получистовая обработка с точностью по 9 квалитету) допустимая величина уточнения не должна превышать ε_2 = 3;

3. Для третьей ступени уточнения (чистовая обработка по 7 квалитету) допустимая величина уточнения не должна превышать ε_3 =2;

4. Для всех последующих ступеней уточнения (операции отделочной обработки по 6,5 и т.д. квалитетам точности) величина ε на каждой операции должна быть равной 1

3.3 Определение себестоимости механической обработки

Оценку денежных затрат на обработку по каждой операции целесообразно производить по следующим формулам

$$C_{пз} = C_з + C_{чз} + E_н (K_с + K_{зд})$$
$$C_о = C_{пз}\, T_{штк}/60$$

$C_{чз}$ - приведенные часовые затраты на операцию;

$C_з$ - часовая зарплата станочника;

$E_н$ - часовые эксплуатационные затраты на рабочее место;

$E_н$ - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных затрат в машиностроении ($E_н$=0,2);

$K_с$ - капитальные вложения в станок (стоимость станка);

$K_{зд}$ - капитальные затраты на производственное здание.

$T_{штк}$- трудоемкость изготовления детали на операции, мин.

Часовая зарплата определяется по формуле

$$Сз = С_{тф}\ М$$

$С_{тф}$ - тарифная часовая ставка станочника- сдельщика;

М - коэффициент многостаночного обслуживания.

Средняя тарифная ставка станочников 2-6 разрядов приведена в таблице

Таблица 1

Разряд работника	2	3	4	5	6
Часовая ставка, руб.	35	40	45	55	60

Коэффициент многостаночного обслуживания зависит от отношения машинного времени к неперекрываемому вспомогательному времени, затрачиваемого на установку и снятие детали

$$М = t_м / t_{всп}$$

Для различных видов технологического оборудования коэффициент многостаночного обслуживания приведен в таблице

Коэффициент многостаночного обслуживания М Таблица 2

№п/п	Вид технологического оборудования	Значения Ко
1	Универсальное технологическое оборудование	1,0
2	Станки с ЧПУ	1,5-2,0
3	Зубообрабатывающие станки	3,0-4,0

Часовые затраты на эксплуатацию рабочего места включают текущие затраты на электроэнергию, режущий инструмент и ремонт и определяются по формуле

$$Сэкс = С_б\ Км$$

$С_б$ часовые затраты на базовом рабочем месте;

Км -коэффициент, учитывающий сложность применяемого оборудования в сравнении с базовым;

Часовые эксплуатационные затраты на базовом рабочем месте для условий серийного производства следует принимать равны $C_б$ =5,3- 5,4 руб/час.

Значения коэффициентов Км зависят от сложности технологического оборудования и определяются из приложения 4 .

Капитальные вложения в станок Кс рассчитываются по формуле

$$Кс = 100 Ц / Fд m$$

Ц- балансовая стоимость станка, руб;

Fд - действительный годовой фонд времени работы оборудования в часах в одну смену (=1950 час)

m - количество рабочих смен машиностроительного предприятия (m=2)

Данные по стоимости станочного оборудования за 2006 год представлены в каталогах (3) .

Удельные часовые капитальные вложения в производственное здание Кзд определяются по формуле

Кзд = S F

S - часовая стоимость 1кв. м производственной площади;

F - площадь, занимаемая станком с учетом проходов

$$F = Fo\ Kf$$

Fo -площадь станочного оборудования (данные из каталога) $м^2$;

Kf - коэффициент, учитывающий проходы между станками и планировку оборудования на участке; Для укрупненных расчетов принимать значения

$$Kf = 1,5 - 1,7.$$

Средняя часовая стоимость $1м^2$ производственной площади принять равно 1,0 -1,2 руб/час.

3.4 Выбор оптимального варианта маршрутного технологического процесса

Заключительный этап технологического проектирования – выбор наилучшего варианта по заданным критериям. Такими критериями являются минимальная трудоемкость и минимальная себестоимость изготовления детали.

При этом возможны следующие случаи:

- вариант имеет минимальную трудоемкость и минимальную себестоимость;
- вариант имеет только минимальную трудоемкость;
- вариант имеет только минимальную себестоимость.

В первом случае вариант является безусловно оптимальным и ему следует отдать предпочтение перед другими вариантами граф-структуры. Во втором и третьем случаях одного критерия недостаточно для определения оптимального варианта и требуется дополнительная оценка вариантов по отношению их трудоемкостей (Т1/Т2) и себестоимостей (С1/С2).Предпочтение следует отдать варианту, у которого отношение трудоемкости превышает степень снижения себестоимости.

Сравнение отобранных наилучших вариантов для выбора оптимального целесообразно представить в виде таблицы3

Технико-экономические данные сравниваемых вариантов Таблица 3

№ варианта	Трудоемкость Мин	Себестоимость Руб	Отношение С1/С2	Отношение Т1/Т2
№1 №2	Т1 Т2	С1 С2		

Литература

1.Справочник технолога-машиностроителя, од редакцией Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К.-М: Машиностроение-630 с.

2. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для нормирования станочных работ.-М:Машиностроение.-1974.-424 с.

3. Металлорежущие станки, каталог. 2006 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Оптовые цены на некоторые материалы и заготовки

№п/п	Наименование материала (заготовки)	Цена за 1кг
	Сортовой горячекатанный прокат	
	Сталь углеродистая 10,20,40,45,50	30
	Сталь легированная 15Х,20Х,30Х,40Х,50х	38
	Сталь качественная калиброванная	
	Углеродистая 35,40,45,50,55	45
	Трубы холоднокатанные из стали 10-60	35
	Трубы горячекатанные из стали 10-60	29
	Прутки латунные	315
	Отливки из серого чугуна	
	Литье в земляные формы	60
	Литье в кокиль	90
	Центробежное литье	110
	Литье под давлением	310
	Литье по выплавляемым моделям	350
	Литье в оболочковые формы	330
	Стальное литье	70
	Горячекатанные стальные заготовки, полученные на прессах,ГКМ,высадкой	65

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Формулы для приближенного определения машинного времени выполнения технологических переходов (мин. * 10^{-3}) Таблица

№п/п	Наименование технологических Переходов	Квал. Точн	Rz	Ra	Расчетная Формула
1	Черновое наружное точение	12	40		0,12 Dl
2	Черновое наружное точение	10	20-25		0.17 Dl
3	Черновая подрезка торца	10	20		0.03 (D^2-d^2)
4	Отрезка	9	15		0.075 (D^2-d^2)
5	Получистовая обточка	9	15		0.35 Dl
6	Чистовое точение	8	10		0.8 dL
7	Чистовая подрезка торца	8	10	2,5	0.15 (D^2-d^2)
8	Сверление отверстий	11	30	1,25	0.52 dL
9	Зенкерование отверстий	8-9			0.21dL
10	Развертывание отверстий	7-8			0.43dL
11	Растачивание отверстий .	12	40		0.17dL
12	Растачивание отверстий	10	20	1,25	0.35dL
13	Растачивание чистовое	8	15		0.75dL
14	Растачивание алмазное	7			0.9dL
15	Цекование торца	10	20	1,25	0.12dL
16	Нарезание резьбы метчиком	8-9	15		0.4dL
17	Протягивание отверстий	7			0.4dL
18	Фрезерование торцовой фрезой	10	20	1,25	4 L
19	Фрезерование торцовой фрезой	8	12-15		6 L
20	Фрезерование торцовой фрезой	7			8 L
21	Фрезерование цилиндрическое	10	20-25	2,5	7.0 L
22	Фрезерование цилиндрическое	8	15	1,25	9.0 L
23	Круглое наружное шлифование	8		1,0	0.5 dL
24	Круглое наружное шлифование	7		1,6	0.7 dL
25	Круглое наружное шлифование	6		1,25	0.9 dL
26	Шлифование плоское	8		2,0	2.5 L
27	Шлифование плоское	7		1,6	4.0 L
28	Шлифование внутреннее	9			0.3 dL
29	Шлифование внутреннее	8			0.5 dL
30	Зубофрезерование черновое	10	20-25	1,25	2.2 Lz
31	Зубофрезерование чистовое	8	15	1,0	4.0 Lz
32	Зубошлифование	7			20с/зуб
33	Зубошифование	6			25с/зуб

L –длина обработки; B – ширина детали. z- число зубьев

ПРИЛОЖЕНИЕ №3

Значение коэффициента φ

№п/п	Вид технологического оборудования	Коэффициент
	Токарные универсальные	2,14
	Токарно-револьверные	1,96
	Токарные с ЧПУ	1,35
	Токарные многорезцовые	1,96
	Токарные многошпиндельные	2,2
	Вертикально сверлильные	1,72
	Радиально сверлильные	1,85
	Агрегатные	2,5
	Расточные универсальные	3,25
	Фрезерные универсальные	1,85
	Фрезерные с ЧПУ	1,5
	Сверлильные с ЧПУ	1,6
	Многооперационные с ЧПУ	1,75
	Зубообрабатывающие	1,6
	Шлифовальные универсальные	2,2
	Шлифовальные с ЧПУ	1,65

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Коэффициент сложности технологического оборудования Км

Тип станочного оборудования	Среднее значение коэффициента сложности Км по группам оборудования
Токарно-винторезные станки	1,3
Токарно-револьверные станки	1,5
Токарные многорезцовые полуавтоматы	2,3
Токарные многошпиндельные полуавтоматы	2,7
Вертикально-сверлильные станки	0,9
Радиально-сверлильные станки	1,5
Горизонтально-расточные станки	3,2
Координатно-расточные станки	4,2
Круглошлифовальные станки	3,1
Внутришлифовальные станки	2,7
Плоскошлифовальные станки	2,6
Бесцентровошлифовальные станки	2,4
Зубодолбежные станки	2,7
Зубострогальные станки	4,1
Зубофрезерные станки	2,8
Зубошевинговальные станки	2,7
Зубошлифовальные станки	4,9
Шлицефрезерные станки	2,3
Вертикально-фрезерные станки	2,0
Горизонтально-фрезерные станки	1,5
Протяжные станки	3,4
Токарные программные станки с ЧПУ	5,8
Сверлильные программные станки с ЧПУ	7,8
Фрезерные программные станки с ЧПУ	6,5
Многооперационные программные станки с ЧПУ	12,3
Шлифовальные станки с ЧПУ	5,2