**Лабораторная работа № 3. Выбор ресурсосберегающего технологического процесса**

**Цель работы:** изучение методики и приобретение навыков расчета технологической себестоимости продукции и выбора наиболее оптимального варианта технологического процесса.

**Теоретические сведения**

Технологический процесс изготовления изделия (детали, узла) представляет собой строго определённую совокупность выполненных в заданной последовательности технологических операций. Эти операции меняют форму, размер и другие свойства детали, а также ее состояние или взаимное расположение отдельных элементов. Одна и та же операция может производиться многими способами на различном оборудовании. Поэтому выбор ресурсосберегающего технологического процесса заключается в оптимизации каждой операции по минимуму потребления материальных, трудовых, энергетических ресурсов.

Важным показателем экономичности названных ресурсов является снижение себестоимости (экономия ресурсов), связанное с применением лучшего технологического процесса.

Для определения снижения себестоимости (экономии) необходимо выполнить расчет себестоимости для каждого из сравниваемых вариантов технологического процесса. Расчет полной себестоимости продукции при применении каждого из вариантов сложен, требует большого количества исходных данных и времени. Для упрощения расчетов экономии предоставляется возможность без ущерба для точности определять и сопоставлять не полную, а так называемую технологическую себестоимость, которая включает только те элементы затрат на изготовление изделия, величина которых различна для сравниваемых вариантов. Элементы себестоимости, которые для этих процессов одинаковы или изменяются незначительно, в расчет не включаются. Таким образом, технологическая себестоимость – это условная себестоимость, состав ее статей непостоянен и устанавливается в каждом отдельном случае.

Сопоставление вариантов технологической себестоимости дает представление об экономичности каждого из них. Следует отметить, что величина технологической себестоимости изготовления отдельных изделий (деталей, узлов) в значительной мере зависит от объема производства. Следовательно, все затраты на изготовление изделий по степени их зависимости от объема производства целесообразно подразделять на переменные (*Pp*)*,* годовая величина которых изменяется прямо пропорционально годовому объему выпуска продукции (*N*)*,* и условно-постоянные (*Pv*)*,* годовая величина которых не зависит от изменения объема производства.

К переменным затратам относятся:

– затраты на основные материалы за вычетом реализуемых отходов (*Рм*);

– затраты на топливо, предназначенное для технологических целей (*Ртт*);

– затраты на различные виды энергии, предназначенной для технологических целей (*Ртэ*);

– затраты на основную и дополнительную заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями в фонд социальной защиты населения (*Р3*);

– затраты, связанные с эксплуатацией универсального технологического оборудования (*Роб*);

– затраты, связанные с эксплуатацией инструмента и универсальной ос­настки (*Ри*).

К условно-постоянным затратам относятся:

– затраты, связанные с эксплуатацией оборудования, оснастки и инстру­мента, специально сконструированных для осуществления технологического процесса по данному варианту (*Рс.об*);

– затраты на оплату подготовительно-заключительного времени (*Рп.з*).

Общая формула технологической себестоимости (*i* – *j*)-й операции имеет вид

*Ст =Рр* ∙ *N* + *Pv*. (3.1)

Подставив соответствующие значения переменных и условно-постоянных расходов в формулу (3.1), получим

Ст = (Рм + Ртт + Ртэ + Рз + Роб + Ри) ∙ N + (Рс.об + Рп.з). (3.2)

После определения технологической себестоимости по вариантам (если не более двух вариантов) для каждого из них устанавливаем годовой объем производства (*N*), при котором сравниваемые варианты экономически равно­ценны.

Для этого решаем систему уравнений относительно объема производства (*N*)*:*

 (3.3)

При *Сm*1 = *Cm*2 получим

 (3.4)

Эту величину годового объема производства продукции принято называть критической. Если такое сопоставление вариантов технологического процесса выполнить графически, то станет очевидно, что критический объем производства продукции является абсциссой точки пересечения двух прямых с начальными ординатами *Pv1* и *Pv2,* выраженных для каждого варианта уравнением его технологической себестоимости.

Определение абсциссы этой «критической точки» служит, таким образом, завершающим этапом технико-экономических расчетов, устанавливающих области наиболее целесообразного применения каждого из сопоставимых вариантов, ограничиваемые определенными размерами программ (*N*)*.*

В случае если необходимо сделать выбор технологического процесса не из двух вариантов, а из трех, четырех и т. д., строится ориентированный граф, дуги которого представляют технологические операции. Любой вершине графа соответствует множество входящих и выходящих из нее дуг. Для оценки использования ресурсов при возможных вариантах изготовления детали (изделия) вводится целевая функций *Со*, т. е. сумма технологических себестоимостей по каждой из запроектированных операций с тем, чтобы их сумма была минимальной.

 (3.5)

Таким образом, выбор оптимального варианта технологического процесса можно свести к выбору маршрута в заданном ориентированном графе, имеющем минимальную суммарную технологическую себестоимость.

**Ход работы**

В качестве примера осуществим выбор ресурсосберегающего технологического процесса, состоящего из пяти операций (таблица 3.1), каждую из которых можно выполнить двумя способами. Для этого рассчитаем объем производства по каждой операции, при котором сравниваемые варианты экономически равноценны, построим графики изменения технологической себестоимости с минимальными затратами используемых ресурсов.

Заданная программа *N =* 800 шт.

Таблица 3.1 – Технологический процесс изготовления пассивной части тонкопленочных структур

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Варианты технологии | *Рр,* руб./шт. | *Pv,* руб./год |
| 1 Изготовление паст  Вариант А | 0,15 | 120 |
| Вариант Б | 0,12 | 150 |
| 2 Трафаретная печать  Бесконтактный метод | 0,20 | 170 |
| Контактный метод | 0,15 | 200 |
| 3 Термообработка паст  В пачках под инфракрасными лучами | 0,12 | 250 |
| В муфельных печах непрерывного действия | 0,07 | 300 |
| 4 Подгонка толстоплёночных элементов  Лазерный метод | 0,35 | 310 |
| Подгонка анодированием | 0,25 | 350 |
| 5. Защита толстоплёночных элементов | 0,19 | 120 |

Расчет критического объема выпуска продукции по первой операции «Изготовление паст» произведем согласно выражению (3.5)

 шт.

Расчет технологической себестоимости продукции по данной операции при полученном объеме *Nкp* = 1000 шт.

*Ст1 =* 150 ∙ 1000 + 120000 = 270000;

*Ст* 2 = 120 ∙ 1000 + 150000 = 270000.

Построение графика изменения технологической себестоимости продукции и определение зон с наименьшими затратами. График строим на основе полученных расчетных данных. Задавшись значением *N* < *Nкp* и *N* > *Nкp,* строим график в осях координат, одной из которых является (ордината) значение технологической себестоимости *Ст,* а другой (абсцисса) – значение годового объема производства *N*, (рисунок 3.1). При годовом объеме производства *N =* 800 шт. выбираем зону 1 и как следствие первый вариант технологического процесса, так как *Ст1 < Ст2.*

Аналогично расчет критического объема выпуска продукции ведется по всем остальным операциям, строятся графики для определения зон с наименьшими затратами, выбираются варианты технологических процессов.

Для пятой операции предлагается один вариант технологического процесса «Защита толстоплёночных элементов», поэтому при калькулировании себестоимости продукции используются переменные затраты, равные 190, и условно-постоянные – 120.



1 – I вариант; 2 – II вариант

Рисунок 3.1 – График изменения технологической себестоимости по первой операции технологического процесса

Далее, исходя из заданной программы *N* = 800 шт. и выбранных вариантов (для первой операции – I вариант, для второй операции – II вариант, для третьей операции – I вариант, для четвёртой операции – II вариант, для пятой операции – предложенный вариант технологического процесса), определяется технологическая себестоимость продукции заданной программы:

*Ст* = (150 +150 +120 + 250 +190) ∙ 800 +

+ (120000 + 200000 + 250000 + 350000 +120000) = 1728000.

Себестоимость единицы продукции составляет

.

Для случая, если технологический процесс необходимо выбрать из трех вариантов и более строится граф выбора оптимального варианта (рисунок 3.2).

Для каждой дуги (операции) определяем технологическую себестоимость *Cm*(*i-j*) по формуле (3.1). Пусть *N* = 100 шт. Тогда:

*Ст*(1–2) = 0,33 ∙ 100 +10 = 43;

*Ст*(1–3) = 0,37 ∙ 100 +15 = 52;

*Ст*(1–4) = 0,27 ∙ 100 + 50 = 77;

*Ст*(2–5) = *Ст*(3–5) = *Ст*(4–5) = 0,08 ∙ 100 + 5 = 13;

*Ст*(2–6) = *Ст*(3–6) = *Ст*(4–6) = 0,05 ∙ 100 + 5 = 10;

*Ст*(5–7) = *Ст*(6–7) = 0,48 ∙ 100 + 30 = 78;

*Ст*(5–8) = *Ст*(6–8) = 0,58 ∙ 100 + 40 = 98;

*Ст*(5–9) = *Ст*(6–9) = 0,68 ∙ 100 + 20 = 88;

*Ст*(5–10) = *Ст*(6–10) = 0,02 ∙ 100 + 30 = 32;

*Ст*(7–11) = *Ст*(8–11) = *Ст*(9–11) = *Ст*(10–11) = 0,04 ∙ 100 + 5 = 9;

*Ст*(7–12) = *Ст*(8–12) = *Ст*(9–12) = *Ст*(10–12) = 0,07 ∙ 100 + 10 = 17;

*Ст*(7–13) = *Ст*(8–13) = *Ст*(9–13) = *Ст*(10–13) = 0,09 ∙ 100 + 5 = 14;

*Ст*(11–14) = *Ст*(12–14) = *Ст*(13–14) = 0,73 ∙ 100 + 5 = 78;

*Ст*(11–15) = *Ст*(12–15) = *Ст*(13–15) = 0,03 ∙ 100 + 20 = 23;

*Ст*(14–16) = 0,08 ∙ 100 +10 = 18;

*Ст*(15–16) = 0,08 ∙ 100 +10 = 18.



Рисунок 3.2 – Граф выбора оптимального варианта изготовления пассивной части тонкопленочных структур

В результате использования описанного алгоритма имеем:

*З*(1) = 0;

*З*(2) = min{*З*(1) + *Cm*(1–2)} = 0 + 43 = 43;

*З*(3) = min{*З*(1) + *Cт*(1–3)} = 0 + 52 = 52;

*З*(4) *=* min{*З*(1) + *Cт*(1–4)} = 0 + 77 = 77;

*З*(5) = min{*З*(2) + *Ст*(2–5)} = 43 + 13 = 56;

*З*(6) = min{*З*(2) + *Ст*(2–6)} = 43 + 10 = 53.

и т.д. для всех вершин графа, а полученные значения записываем в нижнюю половину кружка графа.

Технологический процесс с минимальной себестоимостью проходит только через те события, для которых выполняется условие



Для рассмотренного примера такой путь проходит через события 1-2-6-10-11-15-16.

**Вариант задания**

По заданному в таблице 3.2 технологическому процессу формирования Р-кармана в пластине выбрать ресурсосберегающий технологический процесс.

Заданная программа *N* = 1500 шт.

Таблица 3.2 – Технологический процесс формирования Р-кармана в пластине

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Варианты технологии | *Рр,* руб./шт. | *Pv,* руб./год |
| 1 Локальное анизотропное травление  Жидкостное | 0,05 | 120 |
| Сухое | 0,26 | 100 |
| 2 Эпитаксиальное заращивание канавок  Гетероэпитаксия из жидкой фазы | 0,06 | 150 |
| Гомоэпитаксия | 0,065 | 140 |
| 3 Поликристаллическое удаление  Механический метод | 0,03 | 160 |
| Химический метод | 0,04 | 140 |
| 4 Локальное анизотропное травление  Жидкое | 0,05 | 120 |
| Сухое | 0,06 | 100 |
| 5. Контроль электрических параметров | 0,03 | 110 |