

Государственный комитет СССР по народному образованию

В. Г. АЛЕКСЕЕВ, Э. Н. КАМЫШНАЯ, Ю. И. НЕСТЕРОВ

**АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭВА
С ПОМОЩЬЮ ЭВМ**

Издательство МГТУ

1989

Государственный комитет СССР по народному образованию

В.Г.Алексеев, Э.Н.Камышная, Ю.И.Нестеров

Алгоритмы и программы решения задач
сборочно-монтажного производства ЭВА
с помощью ЭВМ

Методические указания
по курсовому и дипломному проектированию



Под редакцией Б.И.Белова

Издательство МГУ
1989

ББК 73

А 47

А47 Алексеев В.Г., Камышная Э.Н., Нестеров Ю.Н. Алгоритмы и программы решения задач сборочно-монтажного производства ЭВА с помощью ЭВМ: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию / Под ред. Б.И.Белова. - М.: Изд-во МГТУ, 1989. -40 е., ил.

ISBN 5-7038-0204-0

Методические указания содержат алгоритмы и программы проектирования на ЭВМ технологических процессов сборочно-монтажного производства ЭВА, а именно решения таких задач, как выбор оптимальной структуры технологического процесса, состава оборудования, выбора и размещения операций контроля, проектирования конвейерной сборки изделий ЭВА.

Предназначены для студентов при выполнении курсового технологического и технологической части дипломного проектов.

Рецензенты: В.Н.Гриднев, В.Г. Ковалев

ББК 73

ISBN 5-7038-0204-0
1989.

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ И МОНТАЖА ЭВА

1.1. Алгоритм поиска оптимального варианта структуры технологического процесса (ТП)

Под вариантностью технологического процесса сборки и монтажа изделия будем понимать получение одного и того же результата применением различной технологии на одном и том же технологическом оборудовании, различного оборудования при одной и той же технологии, различной технологии на различных видах оборудования.

Оптимальные варианты ТП сборки и монтажа изделия выбирают с использованием целевых критериев, которые определяются с учетом назначения проектируемой поточной линии (участка).

Выбор оптимального варианта производственной линии (участка) может быть осуществлен с помощью формализованной математической модели [1], согласно которой выбор варианта ТП для проектируемой линии (участка) эквивалентен выбору вектора $\bar{x}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ из множества $D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_m$, где x_i - номер варианта выполнения i -й операции, D_i - множество вариантов выполнения i -й операции, D - декартово произведение.

$$D_i = \{1, 2, 3, \dots, s_i\},$$

где s_i - количество вариантов выполнения i -й операции,
 $i = 1, 2, 3, \dots, m$; m - количество технологических операций.

Оптимизируемый показатель F зависит от основных параметров выбираемого варианта и плана Π выхода годных изделий, $F = F(\bar{x}, \Pi)$, где $\Pi \in [\Pi_1, \Pi_2]$

Задача выбора оптимального варианта ТП заключается в определении критерия оптимизации:

$$F = F(\bar{x}, \Pi) \xrightarrow{\bar{x} \in D} opt.$$

Критерий F , как правило, дискретно-непрерывный и многоэкстремальный в силу дискретности состава линии, а количество существующих вариантов реализации ТП равно:

$$S = \prod_{i=1}^m s_i$$

В силу свойств показателя F и с учетом того, что S весьма большое число, полный перебор всех вариантов реализаций (т.е. векторов $\bar{x} \in D$) может оказаться невозможным,

и применение метода случайного поиска, комбинируемого с методами перебора по упорядоченным совокупностям вариантов, может дать желаемый эффект получения оптимальных решений с высокой степенью вероятности.

При этом предполагаются заданными: возможные перечни критериев оптимизации и вариантов отдельных технологических операций, входящих в состав линии (участка); очередность выполнения операций, определяющих порядок ТП сборки и монтажа изделия; перечень существующего оборудования, на котором возможна реализация вариантов выполнения технологических операций со своими технико-экономическими показателями (ТЭП) (производительность, стоимость, установленная мощность, занимаемая площадь, надежность и др.

Оптимизация осуществляется на ЭВМ с использованием метода случайного поиска с локальной оптимизацией (рис.1). Случайно выбранный исходный вариант последовательно улучшается с помощью покоординатного спуска [2, 3].

Алгоритм оптимального выбора оборудования технологических линий (участков) сочетает случайный поиск для розыгрыша исходных вариантов с методом локальной оптимизации - схемой покоординатного спуска [1].

Шаг 0. Фиксируем план Π из интервала $[\Pi_1, \Pi_2]$

Шаг 1. Производим m случайных розыгрышей значений переменных $x_i \in D$. Получаем вектор начальных вариантов выполнения всех операций:

$$\bar{x}_0 \{ x_{10}^0, x_{20}^0, \dots, x_{i0}^0, \dots, x_{m0}^0 \}.$$

Шаг 2. Вычисляем соответствующее вектору \bar{x}_0 значение целевой функции

$$F_0^0 = F(x_{10}^0, x_{20}^0, \dots, x_{i0}^0, \dots, x_{m0}^0, \Pi).$$

Фиксируем F_0^0 как исходное (начальное) значение целевой функции.

Шаг 3. Применяя покоординатный спуск, изменяем значение переменной x_1 при фиксированных остальных и находим

$$F_{10}^1 = \underset{x_{10} \in D_1}{\text{opt}} F(x_{10}, x_{20}^0, \dots, x_{i0}^0, \dots, x_{m0}^0, \Pi).$$

Изменяем переменную x_2 , зафиксировав переменные x_3, \dots, x_m и при $x_1 = x_{10}^1$; где x_{10}^1 - значение переменной x_1 , реализу-

ющее оптимум F_{10}^1 , находим

$$F'_{20} = \text{opt}_{x_{20} \in D_2} F(x'_{10}, x'_{20}, \dots, x^0_{i0}, \dots, x^0_{m0}, \Pi),$$

то

$$x_2 = x'_{20}.$$

отсюда

Аналогично получаем

$$F'_{30} = \text{opt}_{x_{30} \in D_3} F(x'_{10}, x'_{20}, x'_{30}, \dots, x^0_{i0}, \dots, x^0_{m0}, \Pi); x_3 = x'_{30};$$

$$F'_{i0} = \text{opt}_{x_{i0} \in D_i} F(x'_{10}, x'_{20}, \dots, x'_{(i-1)0}, x_{i0}, x^0_{(i+1)0}, \dots, x^0_{m0}, \Pi); x_i = x'_{i0};$$

$$F'_{m0} = \text{opt}_{x_{m0} \in D_m} F(x'_{10}, x'_{20}, \dots, x'_{i0}, \dots, x'_{m-1,0}, x_{m0}, \Pi); x_m = x'_{m0}.$$

Шаг 4. Сравниваем F'_{m0} и F^0 . Если F'_{m0} не лучше F^0 по критерию, то

переходим к шагу 5. Если же F'_{m0} лучше F^0 , то приняв за исходное (начальное) значение F'_{m0} целевой функции

$$F'_{m0} = F(x'_{10}, x'_{20}, \dots, x'_{i0}, \dots, x'_{m0}, \Pi),$$

величину

переходим к шагу 3. Осуществляем второй цикл локальной оптимизации:

$$F^2_{10} = \text{opt}_{x_{10} \in D_1} F(x_{10}, x'_{20}, \dots, x'_{i0}, \dots, x'_{m0}, \Pi); x_1 = x'_{10};$$

$$F^2_{20} = \text{opt}_{x_{20} \in D_2} F(x^2_{10}, x_{20}, x'_{30}, \dots, x'_{i0}, \dots, x'_{m0}, \Pi); x_2 = x'_{20};$$

$$F^2_{i0} = \text{opt}_{x_{i0} \in D_i} F(x^2_{10}, x^2_{20}, \dots, x^2_{(i-1)0}, x_{i0}, x^1_{(i+1)0}, \dots, x^1_{m0}, \Pi); x_i = x^2_{i0};$$

$$F^2_{m0} = \text{opt}_{x_{m0} \in D_m} F(x^2_{10}, x^2_{20}, \dots, x^2_{i0}, \dots, x^2_{m-1,0}, x_{m0}, \Pi); x_m = x^2_{m0}.$$

Сравниваем F^2_{m0} и F^1_{m0} . Если F^2_{m0} не лучше F^1_{m0}

по критерию, то переходим к шагу 5. Если же F^2_{m0} лучше F^1_{m0} , то приняв

$$F^2_{m0} = F(x^2_{10}, x^2_{20}, \dots, x^2_{i0}, \dots, x^2_{m0}, \Pi)$$

за исходное (начальное) значение целевой функции, переходим к шагу 3 и т.п.

После K_0 циклов получаем неубывающую последовательность

$$F^0 > F^1_{m0} > F^2_{m0} > \dots > F^{K_0-1}_{m0} = F^{K_0}_{m0}.$$

Знак равенства означает переход на K_0 -м цикле к шагу 5.

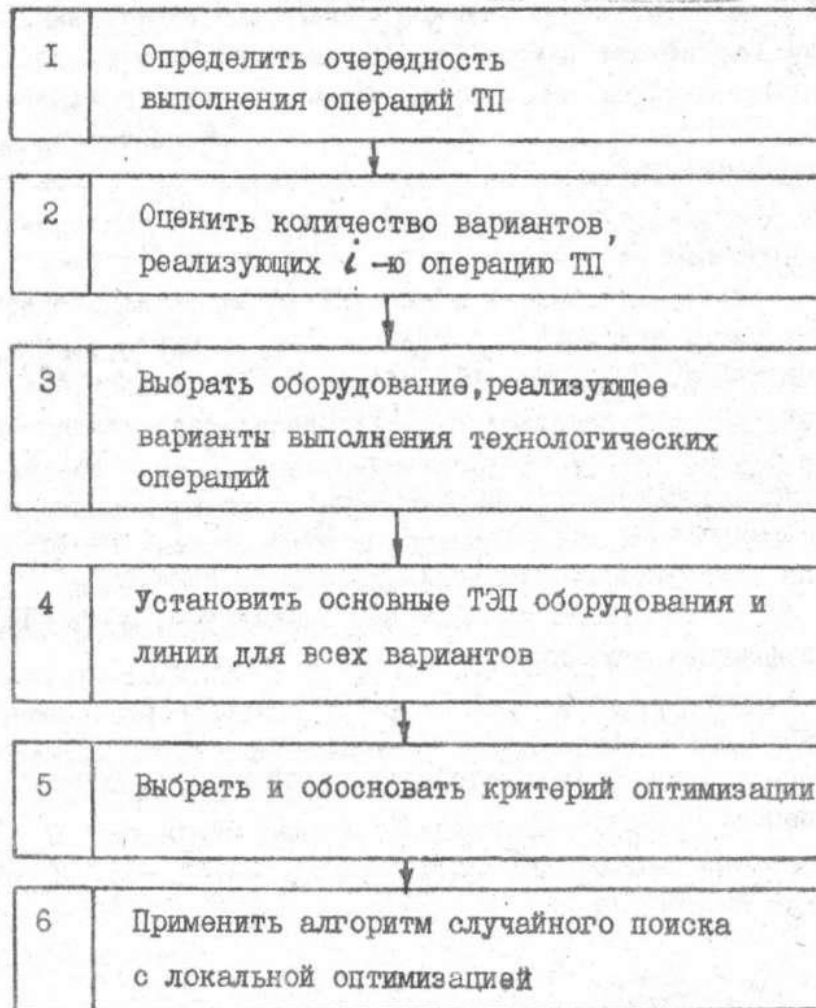


Рис.1. Основные этапы схемы поиска оптимального варианта выполнения операций ТП

Шаг 5. Выбираем новый случайный вектор

$$\bar{x}_j = \{x_{1j}^0, x_{2j}^0, \dots, x_{ij}^0, \dots, x_{mj}^0\} \quad (j=1, 2, \dots, m),$$

Где j - номер исходного случайного вектора, и повторяем шаги 2...4. Получаем последовательность

$$F_j^0 > F_{mj}^1 > F_{mj}^2 > \dots > F_{mj}^{K_j-1} = F_{mj}^{K_j}.$$

Шаг

6.

Сравниваем

$$F_{mj}^{K_j} \text{ и } F_{m(j-1)}^{K_{j-1}};$$

при $F_{mj}^{K_j} < F_{m(j-1)}^{K_{j-1}}$ реализация локальной оптимизации считается удачной, в противном случае - неудачной. Ряд неудачных реализаций обозначаем через μ . Исходя из требований определения оптимума, максимальный ряд неудачных реализаций μ^* устанавливаем заранее (обычно $\mu^* = 5 \dots 7$).

При $\mu < \mu^*$ переходим к шагу 5. Если же $\mu \geq \mu^*$, то переходим к шагу 7.

Шаг 7. Процесс поиска оптимального варианта при фиксированном плане прекращается; за приближенное значение глобального оптимума целевой

функции принимаем $F_{m(j-1)}^{K_{j-1}}$, а за оптимальный вариант ТП - вектор с компонентами

$$(x_{1(j-1)}^{K_{j-1}}, x_{2(j-1)}^{K_{j-1}}, \dots, x_{i(j-1)}^{K_{j-1}}, \dots, x_{m(j-1)}^{K_{j-1}}).$$

Шаг 8. Выбираем новый план выхода годных изделий из интервала $[P_1, p_2]$. Повторяем шаги 1...7 и т.д.

1.2. Описание программы алгоритма поиска оптимального варианта структуры ТП

Блок 1. Осуществляется ввод исходных данных, подготовленных на основе предварительного анализа технической документации на оборудование, директивными показателями на проектирование линии (участка) и другими источниками. Вводится число μ^* - допустимое число безрезультативных попыток улучшить решение.

Блок 2. Идентификатору глобального значения критерия оптимизации присваивается начальное значение (наибольшее в пределах разрядности чисел конкретной ЭВМ).

Блок 3. Присваивается значение номеру шага (исходной точки)

Блок 4. Осуществляется случайный розыгрыш значений начальных вариантов операций (случайный выбор исходной точки поиска). Формируется вектор вариантов операций.

Блок 5. Идентификатору локального значения критерия оптимизации присваивается начальное значение (наибольшее в пределах разрядности чисел конкретной ЭВМ).

Блок 6. Присваивается начальное значение индексу I (номер операции) и признаку результативности цикла оптимизации $R_g; I := 0; R_g := 0.$

Блок 7. Вычисляется номер следующей операции: $I := I + 1$.

Блок 8. Присваивается начальный номер варианту операции $i := 1$;

Блок 9. Запоминается предыдущий номер варианта 1-й операции $R_g := 1$. В ректор вариантов операций заносится новый i номер варианта 1-й операции $\bar{x}[i] = 1$.

Блок 10. Осуществляется расчет целевой функции F_i по вектору $\bar{x}[i]$

Блок 11. Анализируется новый вариант. Если $F_i < F$ (лучше), переход к блоку 12, в противном случае - к блоку 14.

Блок 12. Изменяется значение признака результативности цикла поиска $R_g := 1$.

Блок 13. Запоминается лучшее значение критерия $F := F_i$

Блок 14. В вектор $\bar{x}[i]$ заносится номер лучшего варианта выполнения 1-й операции.

Блок 15. Вычисляется номер следующего варианта выполнения 1-й операции $i := i + 1$.

Блок 16. Анализируется, все ли варианты 1-й операции рассмотрены. Если не все, то управление передается на блок 9. В противном случае осуществляется переход к блоку 17. Блоки 9...16 образуют цикл оптимизации по вариантам одной операции (спуск по одной координате).

Блок 17. Анализируется, все ли операции ТП рассмотрены. Если не все $j \leq m$ - переход к блоку 7, в противном случае - к блоку 18. Блоки 7... 17 осуществляют цикл оптимизации по всем операциям на одной итерации локального поиска.

Блок 18. Анализируется, результативна ли итерация локального поиска. Если $R_g = 0$, то итерация оказалась результативной (достигнут экстремум) и необходим переход к блоку 19. Если

$R_g = 1$, то поиск привел к успеху (найдено лучшее значение целевой функции) и поиск следует продлить - переход к блоку 6. Блоки 6...18 осуществляют итеративный локальный поиск с возвратом к первой операции при результативности предыдущей операции (цикл оптимизации по переменной).

Блок 19. Анализируется, удачен ли был случайный выбор исходной точки. Для этого сравниваются значения F и F_i . Если выбор исходной точки был удачным ($F < F_i$) - переход к блоку 20, в противном случае - к блоку 21.

Блок 20. Осуществляется запоминание вектора лучших вариантов для предыдущей исходной точки и лучшего достигнутого значения целевой функции

$$\bar{x}_i [I] = \bar{x} [I] ; I = 1, \dots, m ; F_i = F.$$

Управление передается блоку 3 для выбора первой исходной точки.

Блок 21. Вычисляется очередной номер безрезультативного шага. $\mu := \mu + 1$.

Блок 22. Анализируется, разрешен ли выбор еще одной исходной точки. Если $\mu < \mu^*$, то выбор разрешен - передача управления на блок 4, в противном случае - переход к блоку 23.

Блок 23. Осуществляется вывод на печать таблицы результатов. соответствующих вектору оптимальных вариантов операции

$$\bar{x}_i [I].$$

Блок 24. Вычисляется следующее по порядку расчетное значение годового плана выпуска, $\pi_{i+1} = \pi_i + h$, где h - шаг изменения плана выпуска.

Блок 25. Анализируется, требуется ли расчет нового значения плана выпуска?

Если $\pi_i < \pi_{max}$ (расчет требуется), управление

передается на блок 2, в противном случае - на блок 26. максимальный годовой

план выпуска. π_{max}

Блок 26. Конец расчета.

1.3. Пример решения задачи выбора оптимального состава оборудования для операций ТП с применением ЭВМ

Задача выбора состава оборудования для ТП является дискретно-оптимизационной и решается методом перебора вариантов оборудования по операциям ТП по критерию минимума себестоимости выпускаемых изделий. Решение указанной задачи по программе "OPTIM" состоит из трех основных частей.

1. Ввод исходных данных - строки 16...38.

2. Оптимизация ТП (метод случайного поиска) - строки 49...135.

3. Вывод полученных результатов - строки 136...172. Исходные данные хранятся в массивах размерностью $c \times d$, где c - максимальное число операций; d - максимальное число вариантов в операции.

Описание массивов:

$GM(\delta)$ - коэффициент использования оборудования на операции ТП;

$K(\kappa)$ - коэффициент выхода годных изделий ЭВА;

- $PM(P_M)$ - норма расхода материала на операции;
- $CM(C_M)$ - цена единицы измерения материала;
- $ZO(Z_0)$ - тарифная ставка основных рабочих;
- $JM(I)$ - установочная мощность оборудования;
- $Q(Q)$ - производительность в смену;
- $CO(C_{об})$ - стоимость оборудования;
- $HO(H_{об})$ - количество единиц оборудования;
- $HP(H_p)$ - количество единиц обслуживающего персонала;
- $WT(WT)$ - расход воды, л/ч : расход воздуха, м³/ч ;
- $AI(AI)$ -
- $AZ(AZ)$ - расход жидкого азота, л/ч ;
- $KS(KS)$ - расход кислорода, л/ч ;
- $AR(AR)$ - расход аргона, л/ч ;
- $KT(KT)$ - расход кислоты, л/ч ;
- $R(z)$ - норматив площади на единицу оборудования.

Постоянные данные представлены следующими константами:

- $KG(K_Y)$ - коэффициент переработки основных рабочих;
- $KSS(K_{cc})$ - коэффициент социального страхования;
- $D(d)$ - количество рабочих смен в году;
- $CE(C_э)$ - стоимость 1 кВт/ч электроэнергии;
- $ZW(Z_г)$ - тарифная ставка вспомогательных рабочих;
- $H_c(h_c)$ - сменные работы;
- $FZ(\varphi_2)$ - фонд времени работы;
- $FF(\varphi)$ - фонд времени при непрерывной работе;
- $H(H)$ - норматив амортизации оборудования;
- $ALF(\alpha)$ - коэффициент накладных расходов;
- $CWT(CWT)$ - стоимость воды, руб/м³;
- $CAI(CAI)$ - стоимость воздуха, руб/м³;
- $CAZ(CAZ)$ - стоимость азота, руб/л; стоимость кислорода, руб/м³;
- $CKS(CKS)$ -
- $CAR(CAR)$ - стоимость аргона, руб/м³;
- $CKT(CKT)$ - стоимость кислоты, руб/л;
- $CP(C_p)$ - стоимость м² производственной площади;
- $RR(R)$ - норматив амортизации;
- $HI(h_1)$ - коэффициент увеличения площади по норме.

Остальные массивы и переменные являются служебными для данной программы и содержат следующую информацию: $X(i)$ - текущий номер варианта i операции; $XI(i)$ - оптимальный набор вариантов операций; $NO(i)$ - необходимое количество оборудования на данной операции для обеспечения плана выпуска;

$NR(i)$ - количество рабочих на операции; $ITMAX(i)$ - число вариантов на данной операции; $R9, R8$ - служебные переменные - признак удачной оптимизации и предыдущий вариант операции соответственно; $MUMAX$ - максимальное число неудачных попыток оптимизации; M - текущее число неудачных попыток оптимизации.

В строках 16...22 осуществляется задание постоянной информации через операторы "DATA". Исходные данные представлены файлом с именем `DATA.INP`, создаваемым с помощью экранного редактора.

Данные должны представляться в определенном формате. При подготовке данных необходимо пользоваться шаблоном. Десятичная точка во входных данных не должна менять своего положения. Максимальная длина числа

ограничивается символом "I".

Основные этапы программы: строки 23...48 - ввод исходных данных; строки 49...135 - оптимизация; строки 63...117 - вычисление себестоимости (CI); строки 136...159 - вычисление результатов оптимизации; строки 160...173 - вывод результатов оптимизации.

```

PROGRAM OPTIM
COMMON /RAN/XRAN
REAL GM(22,5),K(22,5),PM(22,5),CM(22,5),ZU(22,5)
REAL JM(22,5),O(22,5),CU(22,5),HO(22,5),HP(22,5)
REAL WT(22,5),AI(22,5),AZ(22,5),KS(22,5),AR(22,5),KT(22,5)
REAL R(22,5),NO1(23),KZ2(22)
INTEGER*2 Y(22),X1(22),NO(23),NR(22),ITMAX(22)
INTEGER*2 R9,R8

C
C-----
C ПОСТОЯННЫЕ ДАННЫЕ
C-----
REAL KG,KSS,D
REAL CE,ZW,HC,FZ
REAL FF,H,ALF
REAL CWT,CAI,CAZ
REAL CKS,CAR,CKT
REAL CP,RR,M1
INTEGER*2 MUMAX,MU

C
DATA KG/1.25/, KSS/1.16/, D/520./
DATA CE/0.010/, ZW/96./, HC /2./, FZ/3890./
DATA FF/6484./, H /0.24/, ALF/2./
DATA CWT/0.63/, CAI/0.03/, CAZ/0.00037/
DATA CKS/0.00/, CAR/1.6/, CKT/0.5/
DATA CP /250./, RR /0.024/, M1 /4./
DATA MUMAX/3/

```

```

C
C----- ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ -----
OPEN ( UNIT = 1, TYPE = 'OLD',
      NAME = 'DATA.INP',ERR = 800, READONLY )
C
READ (1,90,ERR = 810)          I КАНАЛ ВЫВОДА
90  FORMAT(/,/)
C
READ (1,100,ERR = 820) M      I ЧИСЛО ОПЕРАЦИЙ
100 FORMAT(/,I2)
C
DO 1000 I = 1,M
      READ (1,100,ERR = 830) IIMAX ( I )
C                                  I ЧИСЛО ВАРИАНТОВ
C                                  I КАЖДОЙ ОПЕРАЦИИ
      DO 1010 J = 1,IIMAX ( I )
          READ (1,200,ERR=840)GM(I,J),K(I,J),PM(I,J),
          CM(I,J),ZO(I,J)
200  FORMAT(/,1X,F5.2,1X,F4.1,1X,F7.4,
          1X,F6.2,1X,F4.0 )
          READ (1,210,ERR=850)JM(I,J),O(I,J),CO(I,J),
          HO(I,J),HP(I,J)
210  FORMAT(/,1X,F6.2,1X,F6.0,1X,F8.0,
          1X,F3.0,1X,F3.0 )
          READ (1,220,ERR=860)WT(I,J),AI(I,J),AZ(I,J),
          KS(I,J),AK(I,J),KT(I,J)
220  FORMAT(/,1X,F6.0,1X,F6.1,1X,F6.0,
          1X,F5.0,1X,F5.0,1X,F7.2 )

```

```

          READ (1,230,ERR=870)R(I,J)
          FORMAT(/,1X,F5.2)
230
1010      CONTINUE
1000      CONTINUE
          WRITE (5,235)
235      FORMAT(1X,*, ' КАНАЛ ВЫВОДА ( 5-ДИСПЛЕИ, 6-ПЕЧАТЬ ):')
          READ (5,*) ICHN
          IF( ICHN.NE.5.AND.ICHN.NE.6 )GOTO 1000
          WRITE (5,240)
240      FORMAT(1X,*, ' ПЛАН ВЫПУСКА ( ШТ. )?:')
          READ (5,*) P1
          IF ( P1.FQ.0. ) GOTO 5000
C245      FORMAT (I6)
C

```

```

C----- ГЛОБАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ -----
      C1 = 1.E33
      AA = NAN ( 1.,100.,1.234524E11 )
3      MU = 0
4      DO 31 I = 1,M
          X ( I ) = INT (RAN(1.,FLOAT(IIMAX(I)),0.))+0.5)
          X1( I ) = X(I)
31      CONTINUE
      C = 1.E33          I ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКСТРЕМУМ
C----- ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ПЕРЕМЕННОЙ -----
6      R9 = 0.
      I = 0
C----- ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ОПЕРАЦИЯМ -----
7      I = 1+1
      II = 1
C----- ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ВАРИАНТАМ -----
9      R8 = X ( I )          I ПРЕДДУЩИЙ ВАРИАНТ

```

X(I) = IY

I НОВЫЙ ВАРИАНТ

```
C
C----- ВМЧИСЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ -----
NOI(M+1) = P1/D
KI=M
DO 300 IM = 1,M
    NOI(KI) = NOI(KI+1)/K(KI,X(KI))
    PER = NOI(KI+1)/(Q(KI,X(KI))*GM(KI,X(KI)))
    IPER= INT(PER+0.5)
    IF ((PER-IPER).GT.0.) NO(KI) = IPER+1
    IF ((PER-IPER).LE.0.) NO(KI) = IPER
    KI = KI-1
300 CONTINUE
C
SUMNO = 0.
DO 310 IM = 1,M
    PER = NO(IM)/HO(IM,X(IM))
    IPER= INT(PER+0.5)
    IF ((PER-IPER).GT.0.) H00 = IPER+1
    IF ((PER-IPER).LE.0.) H00 = IPER
    SUMNO = SUMNO+H00*ZO(IM,X(IM))*HP(IM,X(IM))
310 CONTINUE
COO = 12.*KG*KSS*HC*SUMNO
C
SUMNW = 0.
DO 320 IM = 1,M
    SUMNW = SUMNW+INT(NO(IM)/HO(IM,X(IM))+0.5)*
    HP(IM,X(IM))*ZW(IM,X(IM))
C320 CONTINUE
CB = 12.*KG*KSS*SUMNW
C
SUMJ = 0.
DO 330 IM = 1,M
    SUMJ = SUMJ+JM(IM,X(IM))*NOI(IM+1)/(K(IM,X(IM))*
    Q(IM,X(IM))*GM(IM,X(IM))*NO(IM))
330 CONTINUE
CEE = CE*FZ*SUMJ
C
SUMCR = 0.
DO 340 IM = 1,M
    SUMCR = SUMCR+CWT*NO(IM)*WT(IM,X(IM))
    SUMCR = SUMCR+CAI*NO(IM)*AI(IM,X(IM))
    SUMCR = SUMCR+CAZ*NO(IM)*AZ(IM,X(IM))
    SUMCR = SUMCR+CKS*NO(IM)*KS(IM,X(IM))
    SUMCR = SUMCR+CAP*NO(IM)*AP(IM,X(IM))
    SUMCR = SUMCR+CKT*NO(IM)*KT(IM,X(IM))
340 CONTINUE
C
SUMM = 0.
DO 350 IM = 1,M
    SUMM = SUMM+PM(IM,X(IM))*CM(IM,X(IM))*NOI(IM)
350 CONTINUE
CMM = SUMM*D
C
CA = 0.
DO 360 IM = 1,M
    CA = CA+H*NO(IM)*CO(IM,X(IM))
360 CONTINUE
C
```

```

CT = 0.
DO 370 IM = 1, M
    CT = CT + NO(IM) * CO(IM, X(IM))
370 CONTINUE
CT = CT * 0.0075
C
SUMR = 0.
DO 380 IM = 1, M
    SUMR = SUMR + NO(IM) * R(IM, X(IM))
380 CONTINUE
CPP = CP * RR * H1 * SUMR
C
CI = ((COO + CB) * ALF + COO + CB + CEE + SUMCR + CMM + CA + CT + CPP) / P1
C
IF ( CI .GE. C ) GOTO 14
R9 = 1.
C = CI
GOTO 141
14 X(I) = R8
141 II = II + 1
    IF ( II .LE. ITMAX(I) ) GOTO 9
C----- КОНЕЦ ОПТИМИЗАЦИИ ПО ВАРИАНТАМ -----
17 IF ( I .LT. M ) GOTO 7
C----- КОНЕЦ ОПТИМИЗАЦИИ ПО ОПЕРАЦИЯМ -----
IF ( R9 .EQ. 1. ) GOTO 6
C----- КОНЕЦ ОПТИМИЗАЦИИ ПО ПЕРЕМЕННОЙ -----
IF ( C .GE. C1 ) GOTO 21
DO 201 I = 1, M
    X1(I) = X(I)
201 CONTINUE
C1 = C
GOTO 3
C
21 MU = MU + 1
WRITE (5, *) ' MU = ', MU
IF ( MU .LT. MUMAX ) GOTO 4
C
C----- ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТИМИЗАЦИИ -----
C
NO1(M+1) = P1/D
KI = M
DO 500 I = 1, M
    NO1(KI) = NO1(KI+1) / K(KI, X1(KI))
    PER = NO1(KI+1) / (Q(KI, X1(KI)) * GM(KI, X1(KI)))
    IPER = INT(PER * 0.5)
    IF ((PER - IPER) .GT. 0.) NO(KI) = IPER + 1
    IF ((PER - IPER) .LE. 0.) NO(KI) = IPER
    KI = KI - 1
500 CONTINUE
C
DO 510 I = 1, M
    PER = NO(I) / H0(I, X1(I))
    IPER = INT(PER * 0.5)
    IF ((PER - IPER) .GT. 0.) H00 = IPER + 1
    IF ((PER - IPER) .LE. 0.) H00 = IPER
    NR(I) = H00 * HP(I, X1(I))
    KZZ(I) = NO1(I) / (NO(I) * Q(I, X1(I)) * GM(I, X1(I)))
510 CONTINUE

```


2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТП СБОРКИ И МОНТАЖА МОДУЛЕЙ 1-ГО УРОВНЯ ПРИ МЕЛКОСЕРИЙНОМ И СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВАХ НА ОДНОПРЕДМЕТНЫХ И МНОГОПРЕДМЕТНЫХ ЛИНИЯХ

Процесс проектирования осуществляется в системе автоматизированного проектирования конвейерной сборки (САПР КС), которая входит в САПР ТП как подсистема, осуществляющая функцию обеспечения производства технологической документацией в ОСТ ПП [4].

САПР КС есть комплекс информационного, программного, технического и организационного обеспечения, функционирующий на базе Единой системы ЭВМ (ЕС ЭВМ).

В состав информационного обеспечения САПР КС входят массивы: словарь элементов; словарь инструмента и приспособлений; справочник материалов; библиотека типовых технологических операций (ТТО); библиотека спецификаций на собираемые модули 1-го уровня.

Математическое обеспечение САПР КС включает в себя комплекс программ, постоянно находящихся в НМД и запускаемых на выполнение управляющей программой по требованию оператора,

В состав комплекса входят программы: ввод библиотеки ТТО; распечатка библиотеки ТТО; распечатка отдельной ТТО; ввод спецификаций на собираемые модули 1-го уровня распечатка спецификаций; распечатка отдельной спецификации; контроль полноты библиотеки ТТО в соответствии с перечнем введенных спецификаций; расчет режимов работы конвейерных линий и распечатка технологической документации; распечатка комплексных карт на собираемые модули 1-го уровня.

Участие человека в процессе проектирования необходимо для задания основных параметров линии (число рабочих мест, количество рабочих дней в неделю, количество смен в день и т.д.); управления порядком запуска программ САПР КС; задания режимов проектирования. Процесс проектирования состоит из трех этапов: предварительный; расчет режимов работы линии; синхронизация операций и разработка технологической документации (маршрутно-операционные карты; комплектовочные карты; карты эскизов).

Минимальный набор комплекса технических средств (КТС) САПР КС должен включать: устройство подготовки информации типа НС-9012; устройство ввода информации типа ЕС-6012; ЕС ЭВМ; устройство вывода информации типа ЕС-7030; запоминающее устройство с прямым доступом типа ЕС-5052; постоянно печатающее устройство типа ЕС-7070. Рассмотрим основные алгоритмы САПР КС.

2.1. Алгоритм предварительного этапа

На предварительном этапе (рис,2) производится подготовка оперативной и нормативно-справочной информации и ввод ее в накопитель на магнитном диске (НМД).

Блок "Анализ конструкторской документации". Технолог вручную составляет перечень модулей 1-го уровня, подлежащих сборке и монтажу на линии, и одновременно проверяет полноту библиотеки ТТО.

Блок "Заполнение машинных форм спецификаций (МК). Информация, взятая из спецификаций на модули 1-го уровня, переносится на специальные бланки в соответствии с требуемой формой.

Блок "Перфорация МФС". На перфокарты переносится информация, подготовленная предыдущим блоком.

Блок "Ввод МФС в ЭВМ". Отперфорированная информация вводится в НМД. Одновременно с вводом производится распечатка информации. Ввод МФС может быть также осуществлен с дисплея.

Блок "Контроль полноты библиотеки ТТО". Производится контроль на наличие в библиотеке ТТО, указанных в МФС на модули 1-го уровня. В случае отсутствия необходимых ТТО в библиотеке выдается диагностическое сообщение. Предварительный этап проектирования оканчивается выполнением программы контроля.

2.2. Алгоритм расчета режимов работы конвейерной линии

Схема алгоритма расчета режимов работы конвейерной линии представлена на рис.3.

Блок "Сортировка модулей". Модули, запускаемые в сборку на конвейерной линии, сортируются (упорядочиваются) по программе выпуска.

Блок "Определение трудоемкости сборки и монтажа модулей" Трудоемкость сборки и монтажа посчитывается для каждого модуля 1-го уровня суммированием норм времени, указанных в ТТО на данный модуль.

Блок "Распределение модулей 1-го уровня по конвейерным линиям". Распределение по различным линиям производится технологом с электрической пишущей машинки (ЭПМ) или дисплея на основании полученных величин трудоемкостей сборки и монтаже модулей.

Блок "Ввод числа рабочих мест на каждой линии". Технолог по запросу ЭВМ вводит информацию о количестве рабочих мест на каждой конвейерной линии.

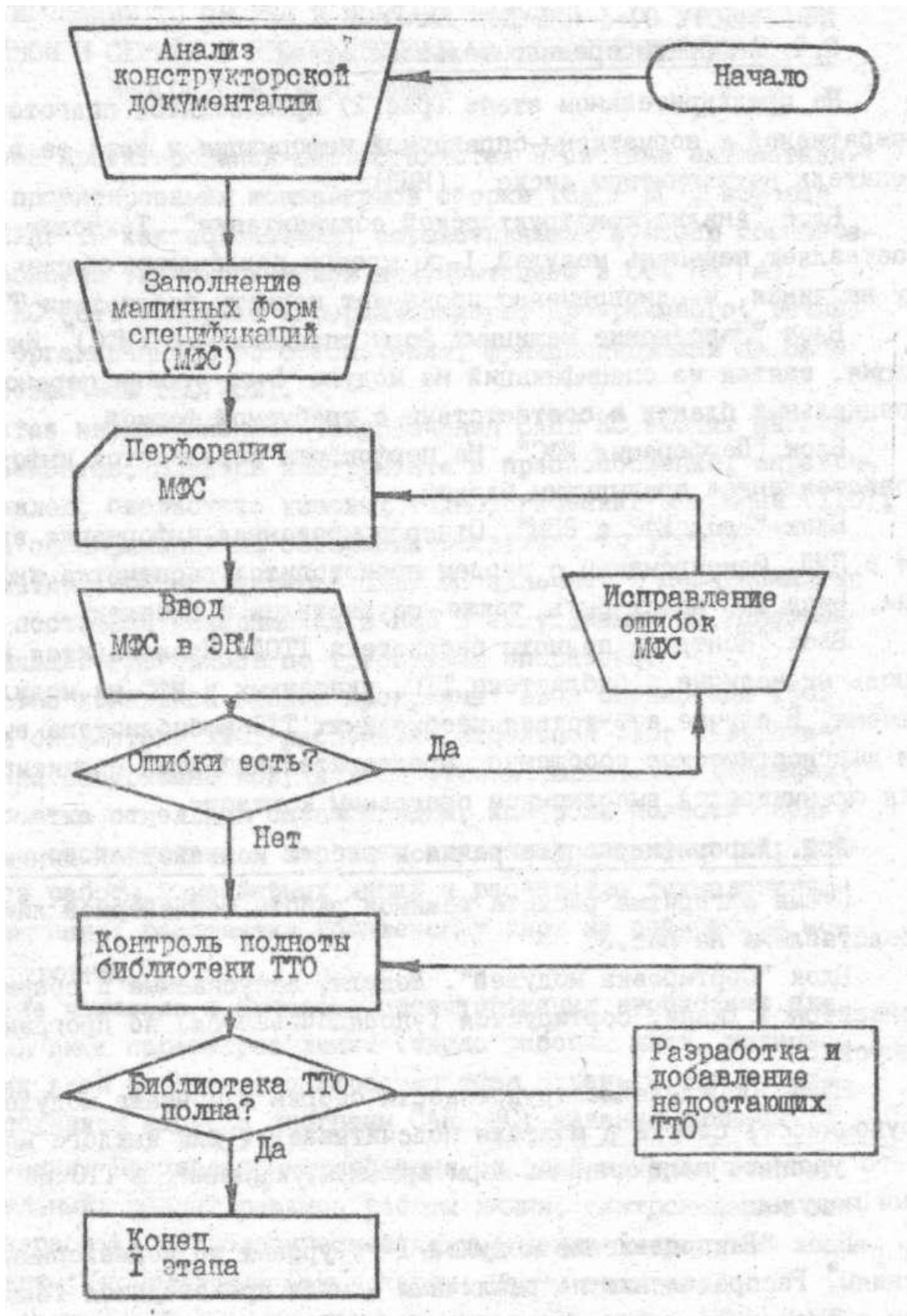


Рис.2.Схема алгоритма предварительного этапа

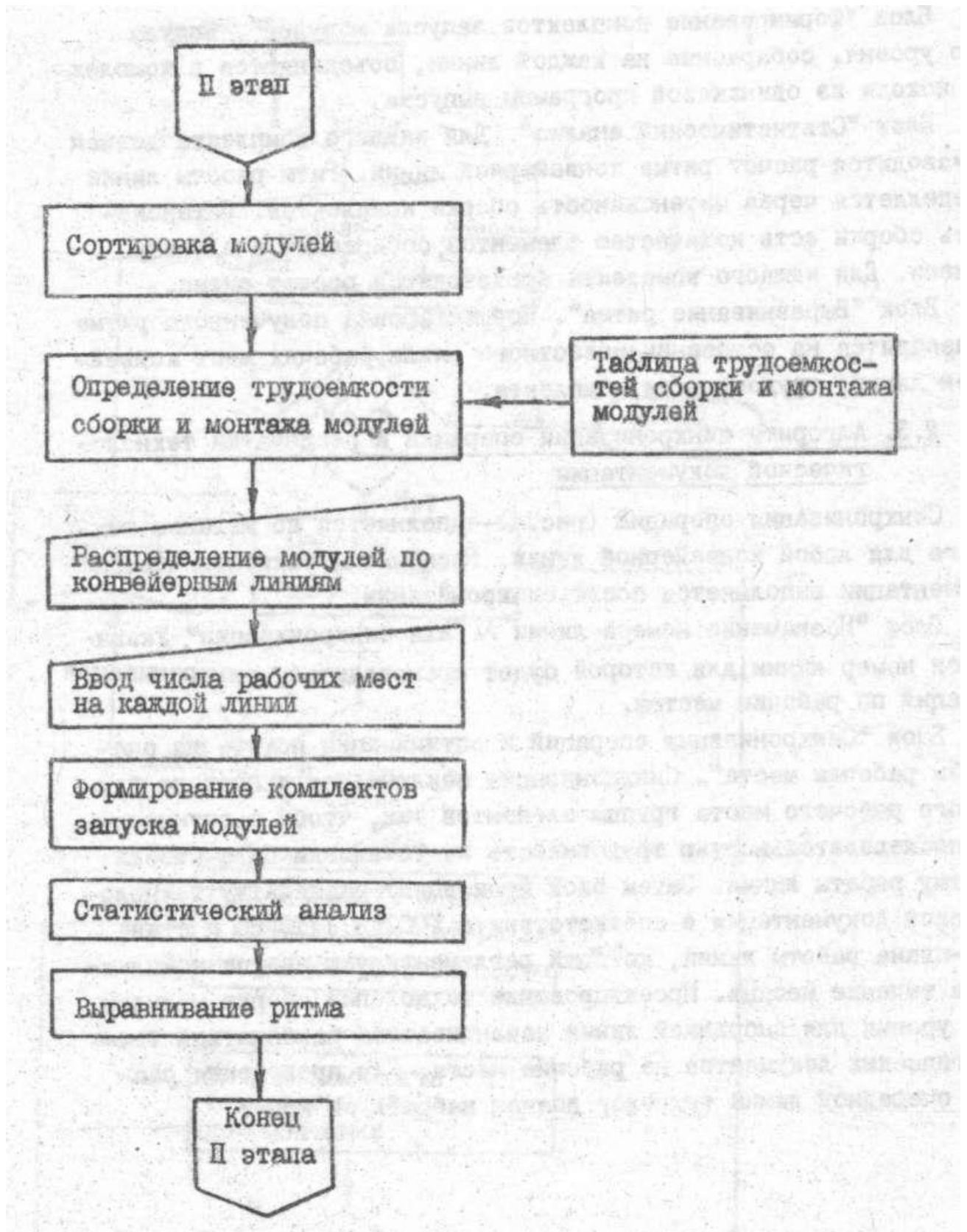


Рис.3. Схема алгоритма расчета режимов работы конвейерной линии

Блок "Формирование комплектов запуска модулей". Модули 1-го уровня, собираемые на каждой линии, объединяются в комплекты, исходя из одинаковой программы выпуска.

Блок "Статистический анализ". Для каждого комплекта должен производиться расчет ритма конвейерной линии. Ритм работы линии определяется через интенсивность сборки комплектов. Интенсивность сборки есть количество элементов, собираемых в единицу времени. Для каждого комплекта производится расчет ритма.

Блок "Выравнивание ритма". Корректировка полученного ритма производится на основании известного числа рабочих мест конвейерной линии, трудоемкости комплекта.

2.3. Алгоритм синхронизации операций и распечатки технологической документации

Синхронизация операций (рис.4) выполняется по желанию технолога для любой конвейерной линии. Распечатка технологической документации выполняется после синхронизации.

Блок "Назначение номера линии N для синхронизации". Указывается номер линии, для которой будет производиться синхронизация операций по рабочим местам.

Блок "Синхронизация операций и оптимизация потерь на очередном рабочем месте". Синхронизация заключается в подборе для каждого рабочего места группы элементов так, чтобы с оптимальной последовательностью трудоемкость их установки была близка к ритму работы линии. Затем блок производит распечатку технологической документации в соответствии с ГОСТ 3.1110-85 и стандарт-плана работы линии, который регламентирует запуск комплектов в течение месяца. Проектирование технологии сборки модулей 1-го уровня для выбранной линии заканчивается распечаткой технологических документов на рабочие места. Для проведения расчета очередной линии технолог должен набрать ее номер.

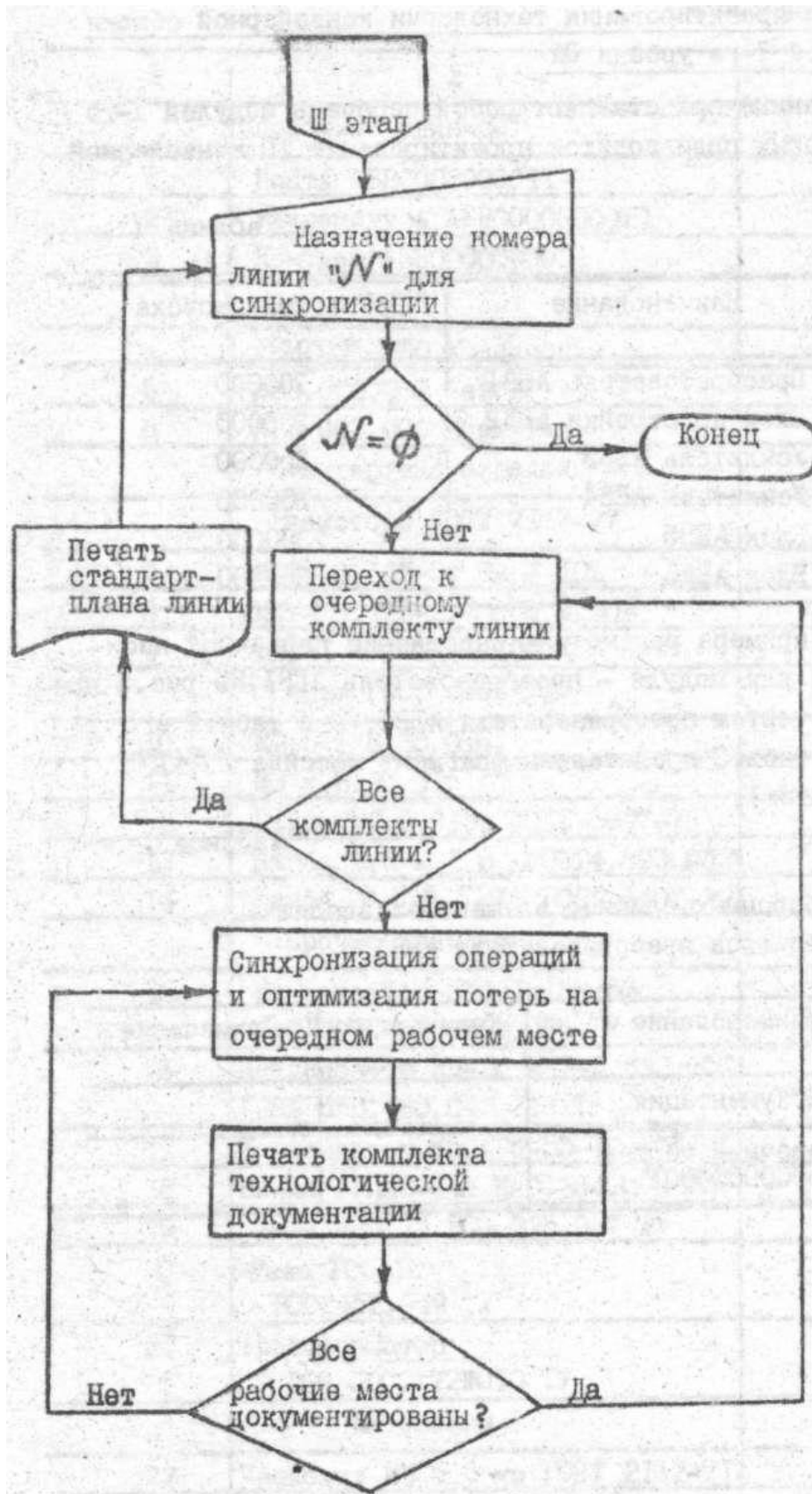


Рис.4. Схема алгоритма синхронизации операций и распечатки технологической документации

2.4. Пример проектирования технологии конвейерной сборки модулей 1-го уровня
ЭА

Исходные данные представляют собой перечень модулей 1-го уровня, для которых производится проектирование ТП конвейерной, сборки (табл. 1).

Таблица 1

Обозначение	Наименование	Программа выпуска
		шт. в год
АБВ000000000001	Преобразователь АБВ1	100000
АБВ000000000002	Блок подстройки АБВ2	200000
АБВ000000000003	Усилитель АБВ3	250000
АБВ000000000004	Усилитель АБВ4	250000
АБВ000000000005	Блок АБВ5	300000
АБВ000000000006	Блок АБВ6	350000

В качестве примера рассмотрим заполнение первичных носителей информации для модуля - преобразователь АБВ1. На рис.5 приведен сборочный чертеж преобразователя АБВ1, а в табл.2 его спецификация. В табл.3 представлен фрагмент массива ^{FELEM} (перечень элементов).

Таблица 2

Перечень сборочных единиц, элементов изделий и материалов преобразователя АБВ1

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
	Документация		
	Сборочный чертеж АБВ000000000001	С6	

1	2	3	4
	Сборочные единицы		
1	Плата АБВ00000000011		
2	Микромодуль АБВ00000000021	2	М1, М2
3	Контакт АБВ00000000031	3	
	Детали		
4	АБВ.001.000 Колпачок	1	
5	АБВ.002.000 Шайба	1	
6	АБВ.003.000 Держатель	1	
	Стандартные изделия		
	Резисторы ГОСТ 7113-77		
7	МЛТ- 0,125-51 Ом \pm 10%	2	R3, R5
8	МЛТ- 0,125-2,2 кОм \pm 10%	2	R1, R2
9	МЛТ-1-470 Ом \pm 10%	1	R4
	Винты ГОСТ 1491-72		
10	М2,5 х 8.36.016	2	
11	М3 х 8.36.016	2	
12	Гайка М3.5.019 ГОСТ 5927-70	2	
13	Шайба 2,5 х 1,5 ГОСТ 4.890.002	2	
14	Шайба 2,5.5.019 ГОСТ 6402-70	2	
	Прочие изделия		
15	Конденсатор ЭТ0-1-15Вх50 мкФ \pm 20% ОЖО.464.036 ТУ	1	С1
16	Конденсатор КМ-56 М47-0.833 мкФ \pm \pm 10% ОЖО.460.043.043 ТУ	1	С2
17	Конденсатор К50-36-50-10 мкФ \pm 10%	1	С3
18	Вилка ГРПЗ-14Ш Ке0.364.003 ТУ	1	Ш1
19	Реле РЭС 15 РС0.325.037 ТУ	1	Р1
20	Реле РЭС 10 РС0.452.049 ТУ	1	Р2
21	Трансформатор ТОТ69 ОЮ.172Ю10 ТУ	1	ТР1
	Материалы		
22	Проволка ММ 0,5 мм ГОСТ 2112-71	1	М
23	Трубка Ф4Д электроизоляционная I сорта 0,8 синяя ГОСТ 22056-76	1	М

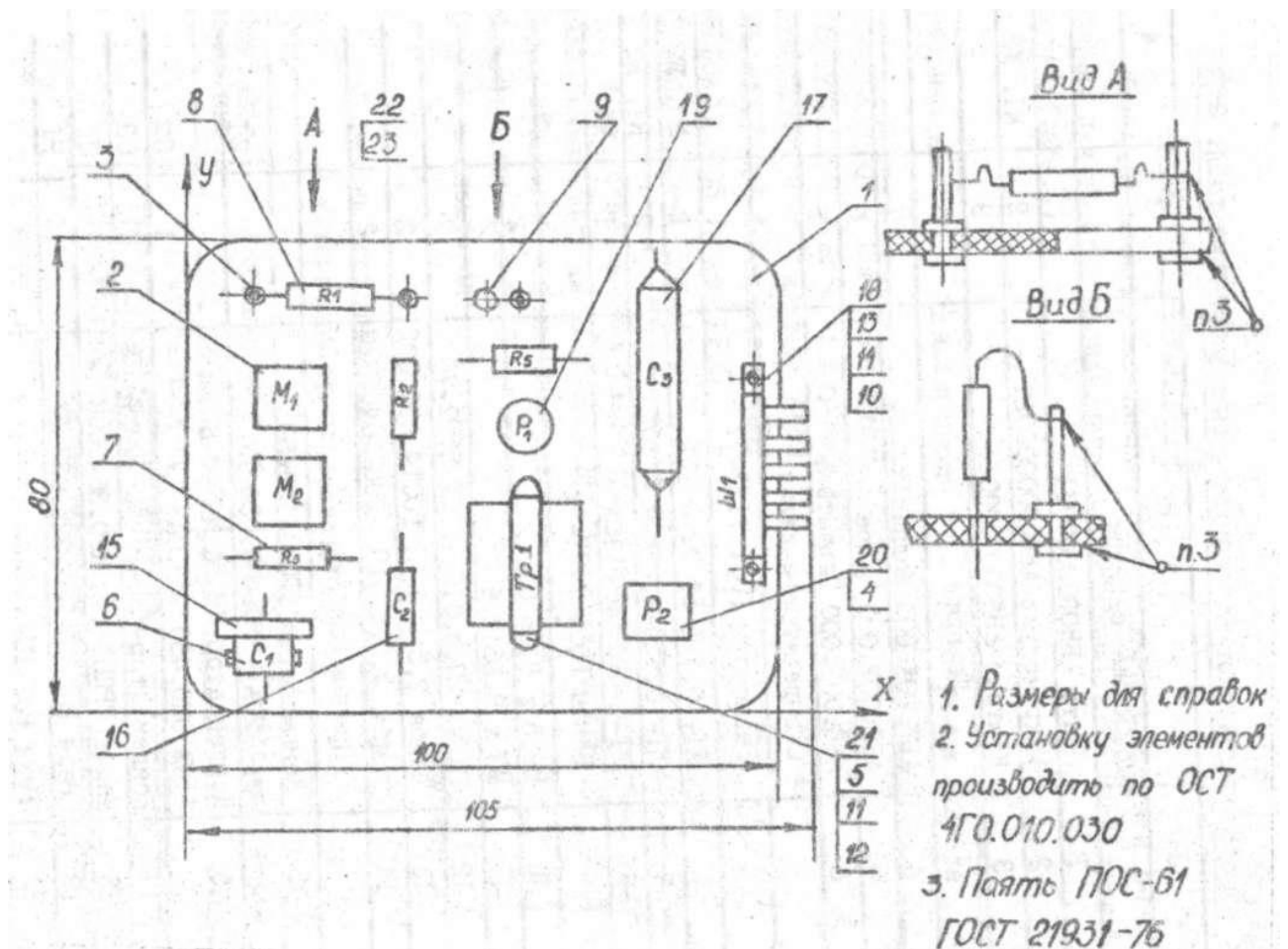


Рис.5 Сборочный чертеж преобразователя АБВ1

Таблица 3

Характеристика элемента			
Код элемента	Наименование	Тип, номинал	ГОСТ (ТУ)
I.....I2	Разряды I3.....36	37.....60	6I.....80
000000000000I	Запись Резистор	ОМЛТ-0,25 - 5I Ом + + - 10%	ГОСТ 7113-77

Структура форм для подготовки исходной информации к вводу определяет структуру записей соответствующих массивов. Записи словаря элементов переносятся на перфокарты в соответствии с формой, представленной в табл.3, где соответственно полю "код элемента" отведено 12 десятичных знаков, полю "наименование" - 24 алфавитно-цифровых символа; полю "тип, номинал" - 24 алфавитно-цифровых символа, полю "ГОСТ (ТУ)" - 20 алфавитно-цифровых символа.

Фрагмент массива *FINSTR* (словарь инструмента и приспособлений) представлен в табл.4.

Таблица 4

Характеристика инструмента		
Код инструмента	Наименование	Тип (марка), ГОСТ(ТУ)
I.....I2	Разряды I3.....27	28.....42
000000000000I	Запись пинцет	ПГТМ I20

Фрагмент массива *FMATER* (словарь материалов) представлен в табл.5.

Таблица 5

Х а р а к т е р и с т и к а материала				
Код материала	Наименова- ние	Марка	ГОСТ(ТУ)	Единица измерения
I.....I2	I3...36	Разряды 37...60 . 6I...75		76...80
0000000000002	ФЛЮС	Запись ФСКПС ОСТ4.ГО.033.000		грамм

Информацию о собираемых на конвейерных линиях модулях 1-го уровня содержит библиотека спецификаций. Записи библиотеки могут быть двух типов. Записи первого типа характеризуют модуль 1-го уровня в целом: определяют годовую программу выпуска и поправочный коэффициент.

Фрагмент записи первого типа для модуля - преобразователь АБВ1 представлен в табл.6. МФС для модуля - преобразователь АБВ1 (запись первого типа).

Таблица 6

Номер		Ш И Ф Р МОДУЛЯ	Программа выпуска	Поправочный коэффи- циент
модуля	строки			
I, 2	3, 4, 5	6. . . . 20	Разряды 2I....26	27, 28
0 I	000	ABV0000000000001	Запись I00000	I2

Записи библиотеки спецификаций второго типа содержат информацию о каждом элементе, устанавливаемом на печатную плату, и сборочной единице.

Фрагмент записи второго типа для модуля - преобразователь АБВ1 представлен в табл.7.

Библиотека ТТО используется для распечатки содержания операций в маршрутных картах; определения трудоемкости установки отдельных элементов и модуля в целом; определения инструмента и

Фрагмент МФС для преобразователя АБВ1

Таблица 7

Номер модуля	Элемент, сборочная единица					Приоритет	Набор ТТО для установки и монтажа элемента, сборочной единицы									
	Строки	Код	Количество	Координаты			Схемное обозначение	Позиция по чертежу	ТТО1	ТТО2	ТТО3	ТТО4	ТТО5	ТТО6	ТТО7	
				X	Y											
I,2	3,4,5	6....I7	I8	I9..2I	22..24	25	26..29	30..32	33..38	39..44	45..50	5I..56	57..62	63..68	69..74	
0I	00I	00000000003I	I	00I	00I	I	000I		880205							
0I	002	00000000000I	I	020	070		0002	008	88000I	880006	88I202	880007	8800I2	88600I	880009	
0I	003	00000000000I	I	030	070		0003	008	88000I	880006	88I204	880007	880008	88600I	880009	
0I	004	000000000002	I	020	030		0004	007	88000I	880006	88I204	880007	880008	88600I	880009	
0I	005	000000000002	I	050	062			007	88000I	880006	88I204	880007	880008	88600I	880009	
0I	006	000000000005	I	040	070			009	88000I	8800I3	88I20I	880007	880008	88600I	880009	
0I	007	000000000007	I	0I5	0I5			0I5	88000I	880006	88I203	880007	880008	88600I	880009	
0I	008	000000000008	I	032	0I3			0I6	88000I	880006	88I204	880007	880008	88600I	880009	
0I	009	000000000009	I	075	055			0I7	88000I	880006	88I204	880007	880008	88600I	880009	
0I	0I0	0000000000I2	I	050	050			0I9	880002	880002	886002	88I205	8800I0			
0I	0I1	0000000000I3	I	072	020			020	880002	880002	88330I	88I206	8800I0	880020	88002I	
0I	0I2	0000000000I4	I					004								
0I	0I3	0000000000I6	I	047	025			02I	88000I	883I0I	8800I8	8800I				
0I	0I4	000000000027	2					005								
0I	0I5	000000000022	2					0II								

материалов, используемых в операциях. Фрагмент массива *ТИРОР* (записи библиотеки ТТО) представлен в табл.8.

Таблица 8

Разряды для записи кода ТТО	Строка	Характеристика операции					
		Наименование переходов	Норма времени	Инструмент	Материал		
					Норма	Код	Расход
1...6	7	8...40	41..45	46..57	58..67	68..74	75..78
88I20I	I	Установить радиоэлемент,	00I98	000000 0000I			
88I20I	2	пропустив вывод в отверстие					
88I20I	3	платы, другой вывод закрепить					
88I20I	4	на контакте					

Отперфорированные массивы информации словаря элементов, словаря инструментов, справочника материалов библиотеки ТТО и библиотеки спецификаций вводятся в НМД соответствующими программами ввода комплекса САПР КС.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА И РАЗМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ В МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СБОРКИ И МОНТАЖА ЭВА

3.1. Постановка задачи выбора и размещения операций контроля

В соответствии с методикой [5] предполагается, что организационная структура многооперационного процесса F представлена совокупностью технологических операций $\{F_i, i = \overline{1, m}\}$, выполняемых последовательно, между которыми распределены контрольные операции K_i , причем i -я контрольная операция вводится после i -й технологической, а при $i=0$ осуществляется входной контроль. Рассматриваются два варианта реализации контрольных операций: с отбраковкой дефектных изделий (рис.6) без последующего их возвращения в ТП (неустраняемый брак), с отбраковкой

дефектных изделий (рис.7) с последующим их возвращением в ТП после проведения операций устранения дефектов
(устраняемый брак). $\{q_i^0, i = \overline{1, m}\}$

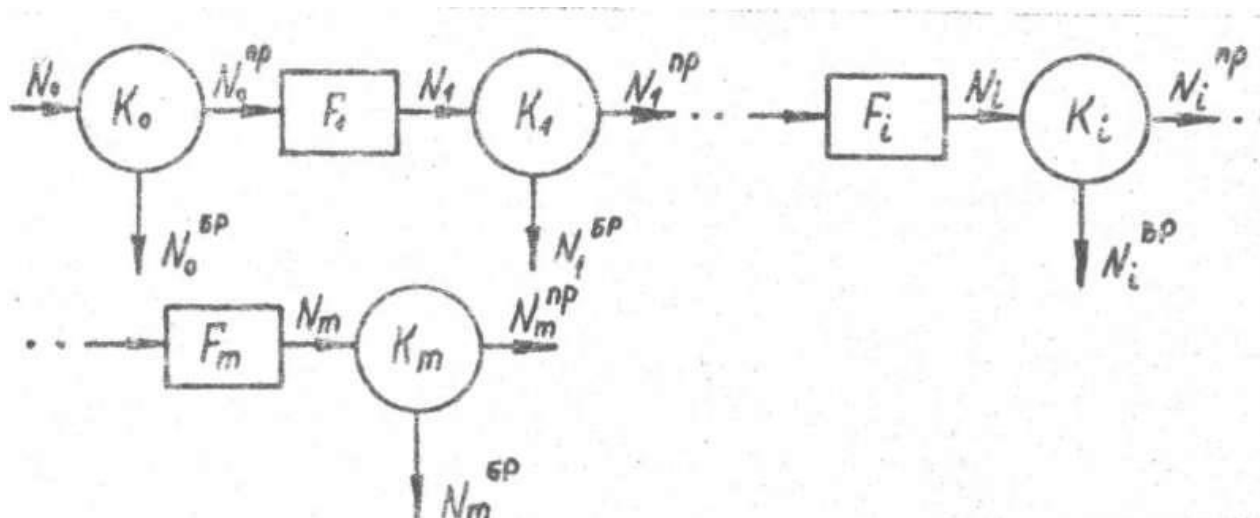


Рис.6 Структурная схема изготовления изделий при неустранимом браке

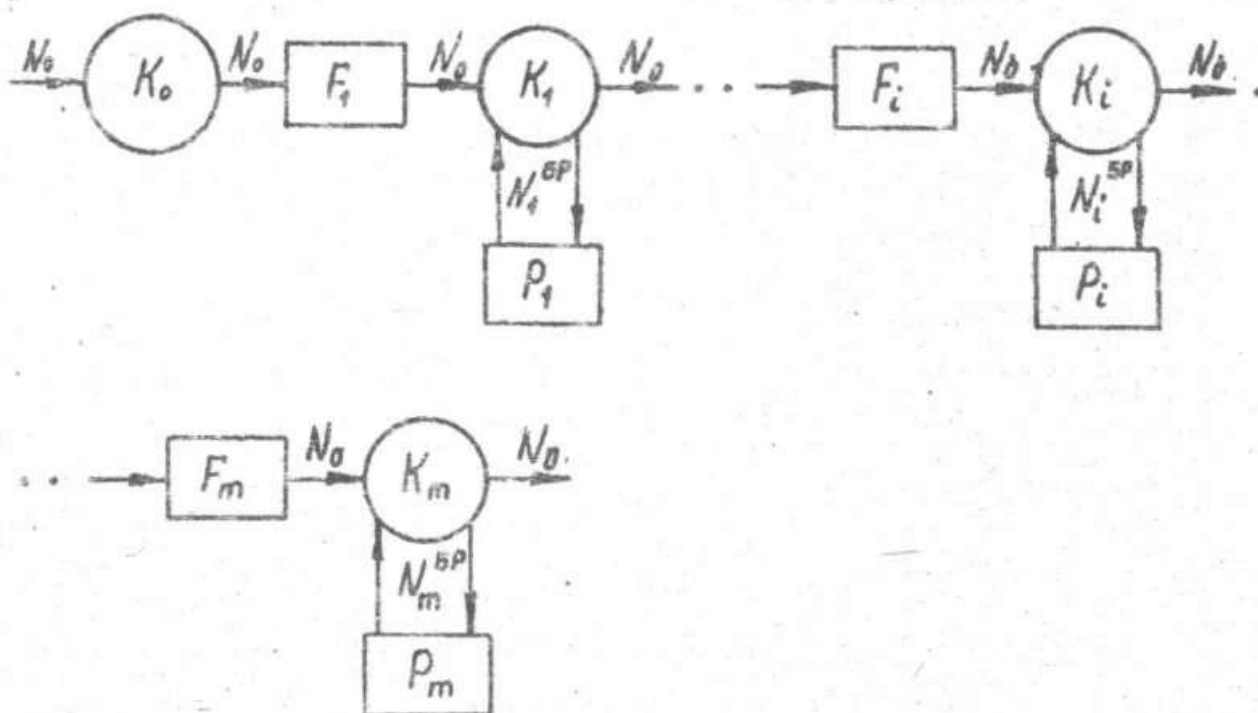


Рис.7 Структурная схема изготовления изделий при устранимом браке

Формализованная постановка задачи сводится к формулировке задачи оптимизации по выбору оптимального вектора переменных, который определяет экстремум показателя эффективности.

$$J_{H_\ell}, \ell = \overline{1, L} \quad \text{т.е. } \hat{H} = \arg \text{ext } J_{H_\ell}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_m)$$

с учетом ограничений

$$\varphi_{H_\ell}^{(\tau)}(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_m) \in \varphi_0^{(\tau)}, \tau = \overline{1, n}; x_i \in X_i; x_i^0 \in X_i^0;$$

где $H_\ell = H_\ell(\delta_0, \dots, \delta_m)$;

$$\tilde{x}_i = \begin{cases} x_i, & \text{если } \delta_i = 1 \quad (\text{осуществляется операция } K_i); \\ x_i^0, & \text{если } \delta_i = 0 \quad (\text{не осуществляется операция } K_i); \end{cases}$$

L - общее число возможных организационных структур ТП с учетом контрольных операций; $x = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_m)$ - вектор переменных, существенных для описания задачи оптимизации (технич.-экономические, точностные и надежностные характеристики изделий ЭВА, ТП и средств контроля); $\varphi_0^{(\tau)}$ - допустимые значения ограничений; X_i и X_i^0 - области возможного изменения переменных x_i и x_i^0 , $i = \overline{1, m}$.

В качестве показателя эффективности могут быть выбраны:

C_{H_ℓ} - суммарные стоимостные затраты на выпуск единицы изделия ЭВА;

t_{H_ℓ} - суммарные временные затраты на выпуск единицы изделия ЭВА;

$\frac{N_m^r}{N_0} 100\%$ - процент выхода годных изделий ЭВА, где N_m^r - число годных изделий ЭВА среди принятых на приемочном контроле, N_0 - число изделий начальной стадии ТП.

Для выбора оптимального размещения операций контроля разработан алгоритм ускоренного перебора, где m - число возможных контрольных операций. ($L = 2^m$)

Данная программа работает для десяти контрольных операций. При получении большого количества возможных операций необходимо заново набить матрицу ситуаций, учитывая ситуации, при которых операции контроля наиболее возможны.

Обобщенный алгоритм решения задачи оптимизации представлен на рис. 8.

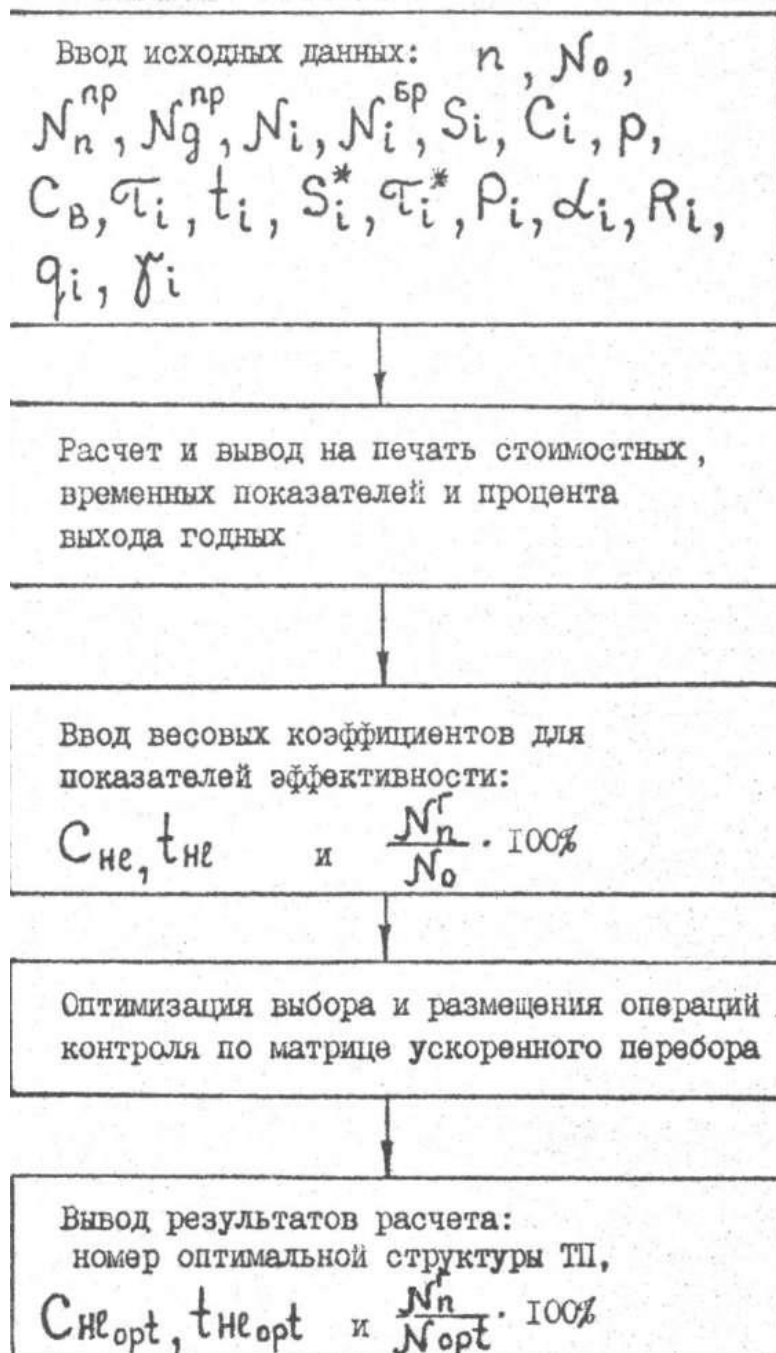


Рис. 8 Алгоритм решения задачи оптимального выбора и размещения операций контроля в многооперационных ТП

Пример матрицы ситуаций

Ситуации	Номер операции					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	0	0	1
2	1	1	0	1	0	1

Примечание: Элемент матрицы

- есть операция контроля;

$\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ - нет операции контроля.

3.2. Программа оптимального выбора и размещения операций контроля в многооперационных технологических процессах

Функциональное назначение. Для составления матрицы ситуаций (размещения возможных контрольных операций) и исходной информации программа рассчитывает оптимальный вариант и как результат счета печатается следующая информация:

1. Когда присутствуют все контрольные операции	2. Результаты оптимизации
Суммарные стоимостные затраты - (руб.)	Стоимостные затраты - (руб.)
Суммарные временные затраты - (мин.)	Временные затраты - (мин.)
Процент выхода годных изделий ЭВА -%	№ оптимального размещения (ситуации)

Сопоставляя результаты расчета 1 и 2, можно сделать вывод о работоспособности программы: если в варианте 2 стоимостные затраты меньше, чем в варианте 1, а процент выхода годных в вар.2 больше, чем в вар.1, то программа работоспособна и выбран оптимальный вариант размещения контрольных операций; номер варианта (ситуации) печатается в результатах оптимизации.

Этапы расчета

а) Ввод исходной информации:

$s_c(A_c)$ - стоимостные затраты на проведение операций;

$S_i^*(A_i)$ - стоимостные затраты на проведение операций;
 $C_i(D_i)$ - стоимостные затраты на проведение операций;
 $S_{ip}(P_i)$ - доход от реализации единицы некондиционного
 Изделия i -й стадии ТП, забракованного на операции K_i ,
 $i = \overline{0, m}$, руб;

$C_B(s)$ - возвратные платежи, приходящие на единицу ЭИ, руб;
 $\tau_i(B_i)$ - время, затрачиваемое на проведение операций
 $F_i, i = \overline{1, m}$, мин
 $\tau_i^*(B_i)$ - время, затрачиваемое на проведение операций
 $\varphi_i, i = \overline{1, m}$, мин;
 $t_i(F_i)$ - время, затрачиваемое на проведение операций
 $K_i, i = \overline{0, m}$, мин;
 $P_i(C_i)$ - вероятность того, что на операции $F_i, i = \overline{1, m}$
 изготовлено годное изделие i -й стадии ТП;
 $\alpha_i(ALF_i)$ - вероятность ошибочного забракования изделий i -й
 стадии ТП, $i = \overline{0, m}$;
 $\beta_i(Bet_i)$ - вероятность ошибочного отнесения дефектного изделия i -й стадии
 ТП к категории годных, $i = \overline{0, m}$;
 $q_i(Q_i)$ - вероятность того, что изделие i -й стадии ТП при контроле будет
 повреждено, $i = \overline{0, m}$;
 $\gamma_i(GAM_i)$ - вероятность того, что изделие i -й стадии ТП будет находиться в
 процессе контроля в состоянии, не соответствующем КТД (конструкторско-
 технологическая документация);
 $R_i(R_i)$ - вероятность работоспособного состояния средства контроля, $i = \overline{0, m}$;
 $N_n^{np}(L1)$ - число принятых изделий;
 $N_i(BP_i)$ - число изделий i -й стадии ТП, поступающих на операции
 $K_i, i = \overline{0, m}$;
 $N_i^{sp}(BR_i)$ - число забракованных изделий i -й стадии ТП на
 операции, $K_i, i = \overline{0, m}$;
 $N_g^{n(L2)}$ - число дефектных изделий среди принятых;

б) Расчет показателей эффективности
 Основные расчетные формулы для реализации вариантов 1 и 2 ТП (рис.6 и
 7).

$$C_{\Sigma}^I = N_n^{np} \cdot \sum_{i=1}^m S_i + \sum_{i=0}^m N_i \cdot C_i + \sum_{i=1}^m N_i^{sp} \sum_{k=1}^i S_k - \sum_{i=0}^m N_i^{sp} \cdot S_{ip} + N_g^{np} \cdot C_B;$$

$$t_{\Sigma}^1 = N_n^{np} \cdot \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{i=0}^m N_i \cdot t_i + \sum_{i=1}^m N_i^{sp} \sum_{k=1}^i \tau_k;$$

$$N_n^r = N_0 \prod_{i=1}^m P_i R_i (1 - q_i) (1 - \gamma_i) (1 - \alpha_i);$$

$$C_{\Sigma}^2 = N_0 \left(\sum_{i=1}^m s_i + \sum_{i=0}^m C_i \right) + \sum_{i=1}^m N_i^{sp} S_i^* + N_n^{np} \cdot C_B$$

$$t_{\Sigma}^2 = N_0 \left(\sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{i=0}^m t_i \right) + \sum_{i=1}^m N_i^{sp} \tau_i^*;$$

$$C_{He}^1 = \frac{C_{\Sigma}^1}{N_n^r};$$

$$t_{He}^1 = \frac{t_{\Sigma}^1}{N_n^r};$$

$$C_{He}^2 = \frac{C_{\Sigma}^2}{N_0};$$

$$t_{He}^2 = \frac{t_{\Sigma}^2}{N_0}.$$

в) Оптимизация размещения операций контроля

Задача оптимизации является многокритериальной. Весовой обобщенный показатель оптимизации определим по формуле

$$G = Z1 \frac{C_{He}}{C_{He \text{ текущ}}} + Z2 \frac{t_{He}}{t_{He \text{ текущ}}} + Z3 \frac{N_n \text{ текущ}}{N_n^r},$$

где $Z1, Z2, Z3$ - весовые показатели стоимости, временных затрат и процента выхода годных изделий ЭВА.

Весовые коэффициенты $Z1, Z2, Z3$ определяются экспертным путем.

Оптимальным будет тот вариант, если мы найдем G_{max} из всех вариантов.

Номер оптимального варианта будет распечатан в разделе оптимизации.

Текст программы выбора и оптимизации размещения операций контроля в многооперационных процессах, реализованной на языке

BASIC для ЕС ЭВМ, представлен в приложении 1. Программа предназначена для определения оптимального варианта размещения операций контроля в ТП в целях обеспечения минимальных стоимостных и временных затрат на выпуск единицы изделия ЭВА или максимального процента выхода годных изделия, позволяет производить расчеты для процессов контроля с отбраковкой дефектных модулей на операциях контроля при устранимом и неустранимом браке при учете точностных и надежностных характеристик изделий ЭВА и средств контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика выбора оптимального варианта технологического процесса поточных изделий методом случайного поиска. / К.Г.Мартынов, И.М.Михеев, И.М.Зыкова и др. - М.: Издательство Стандартов, 1981. - 27с.
2. Растринин Л.А. Статистические методы поиска. -М.:Наука, 1968. - 376 с.
3. Корбуд А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. -М.:Наука, 1969. - 368 с.
4. ОСТ 4.091.119-79 Отраслевая система технологической подготовки производства (ОСТПП). Система автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП).
Сборка и монтаж печатных узлов с использованием конвейерных линий.
5. Методика оптимального выбора и размещения операций контроля в многооперационных технологических процессах (опыт внедрения). Л.:ЛЭИС им. проф. Бонч-Бруевича, 1982. - С.7.

Приложение

FILE: OPTIMUM BASIC A1 VM/SP CONVERSATIONAL MONITOR SYSTEM

```
2 PRINT:PRINT
10 PRINT'ПРОГРАММА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА И РАЗМЕЩЕНИЯ ОПЕРАЦИЯ '
15 PRINT'КОНТРОЛЯ В МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ТЕХПРОЦЕССАХ'
16 PRINT:PRINT
20 PRINT'ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ'
25 INPUT K
26 PRINT'ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ИЗДЕЛИЙ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ТП'
27 INPUT L
28 PRINT'ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ПРИНЯТЫХ ИЗДЕЛИЙ'
29 INPUT L1
30 PRINT'ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ДЕФЕКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ СРЕДИ ПРИНЯТЫХ'
31 INPUT L2
32 PRINT'ВВЕДИТЕ ВОЗВРАТНЫЕ ПЛАТЕЖИ,ПРИХОДЯЩИЕСЯ НА ЕДИНИЦУ ЭН(РУБ)'
33 INPUT S
34 DIM A(10),B(10),C(10),D(10),P(10),F(10),R(10),Q(10),C1(10),C2(10)
35 DIM GAM(10),ALF(10),T2(10),BP(10),BR(10),A1(10),B1(10),T1(10)
36 DIM PR(10),U(10,20)
37 LET TS=0:LET TC=0:LET CS=0:LET SS=0:LET PS=1
38 FOR I=1 TO K
39 PRINT'ВВЕДИТЕ СТОИМОСТНЫЕ ЗАТРАТЫ (РУБ) НА ПРОВЕДЕНИЕ'
40 PRINT'ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ-' ;I
45 INPUT A(I)
50 PRINT'ВВЕДИТЕ ВРЕМЯ (МИН),ЗАТРАЧИВАЕМОЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ '
55 PRINT'ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ-' ;I
60 INPUT B(I)
65 PRINT'ВВЕДИТЕ ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО,ЧТО НА ОПЕРАЦИИ-' ;I
70 PRINT'ИЗГОТОВЛЕНО ГОДНОЕ ИЗДЕЛИЕ ДАННОЙ СТАДИИ ТП'
75 INPUT C(I)
76 PRINT'ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ИЗДЕЛИЙ ДАННОЙ СТАДИИ ТП'
77 PRINT'ПОСТУПАЮЩИХ НА КОНТРОЛЬНУЮ ОПЕРАЦИЮ-' ;I
78 INPUT BP(I)
79 PRINT'ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ЗАБРАКОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДАННОЙ'
80 PRINT'СТАДИИ ТП НА КОНТРОЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ-' ;I
```

```
81 INPUT BR(I)
82 PRINT 'ВВЕДИТЕ СТОИМОСТНЫЕ ЗАТРАТЫ (РУБ) НА ПРОВЕДЕНИЕ'
85 PRINT 'КОНТРОЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ-';I
90 INPUT D(I)
95 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВРЕМЯ (МИН), ЗАТРАЧИВАЕМОЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ'
100 PRINT 'КОНТРОЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ-';I
110 INPUT F(I)
115 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБОЧНОГО ЗАБРАКОВАНИЯ'
120 PRINT 'ИЗДЕЛИЯ НА ДАННОЙ СТАДИИ ТП'
125 INPUT ALF(I)
130 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО, ЧТО ИЗДЕЛИЕ ДАННОЙ СТАДИИ'
135 PRINT 'ТЕХПРОЦЕССА БУДЕТ НАХОДИТЬСЯ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ'
140 PRINT 'В СОСТОЯНИИ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩЕМ НТД'
145 INPUT GAM(I)
150 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО, ЧТО ИЗДЕЛИЕ ДАННОЙ СТАДИИ ТП'
155 PRINT 'ПРИ КОНТРОЛЕ БУДЕТ ПОВРЕЖДЕНО'
160 INPUT Q(I)
165 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВЕРОЯТНОСТЬ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ'
170 PRINT 'СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ НА ДАННОЙ ОПЕРАЦИИ-';I
175 INPUT R(I)
180 PRINT 'ВВЕДИТЕ ДОХОД (РУБ) ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ЕДИНИЦЫ'
185 PRINT 'НЕКОНДИЦИОННОГО ИЗДЕЛИЯ I-ТОМ СТАДИИ ТП'
190 PRINT 'ЗАБРАКОВАННОГО НА КОНТРОЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ-';I
195 INPUT P(I)
215 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ КОНТРОЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ-';I
220 PRINT '1-С ОТБРАКОВКОЙ ДЕФЕКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ'
225 PRINT 'БЕЗ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИХ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ТП'
230 PRINT '2-С ОТБРАКОВКОЙ ДЕФЕКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ, С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИХ'
235 PRINT 'ВОЗВРАЩЕНИЕМ В ТП ПОСЛЕ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ'
240 INPUT N
245 IF N=1 THEN 310
246 IF N>2 THEN 215
250 PRINT 'ВВЕДИТЕ СТОИМОСТНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ПРОВЕДЕНИЕ'
255 PRINT 'ОПЕРАЦИИ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ, РУБ'
260 INPUT A1(I)
270 PRINT 'ВВЕДИТЕ ВРЕМЯ, ЗАТРАЧИВАЕМОЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ'
275 PRINT 'ОПЕРАЦИИ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ, МИН'
280 INPUT B1(I)
```



```

285 LET C2(I)=L*(A(I)+D(I))+BR(I)*A1(I):LET CS=CS+C2(I)
290 LET T2(I)=L*(B(I)+F(I))+BR(I)*B1(I):LET TS=TS+T2(I):GO TO 325
310 LET C1(I)=L1*A(I)+BP(I)*D(I)+BR(I)*A(I)-BR(I)*P(I):LET SS=SS+C1(I)
315 LET T1(I)=L1*B(I)+BP(I)*F(I)+BR(I)*B(I):LET TC=TC+T1(I)
320 PR(I)=C(I)*R(I)*(1-Q(I))*(1-GAM(I))*(1-ALF(I)):PS=PS*PR(I)
325 NEXT I
326 FOR I=1 TO 20:FOR J=1 TO 10:READ U(J,I):NEXT J:NEXT I
330 LET CH=(SS+L2*S)/(L*PS)+CS/L:LET TH=TC/(L*PS)+TS/L
335 PRINT:PRINT
340 PRINT"РЕЗУЛЬТАТ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХПРОЦЕССА"
345 PRINT"СУММАРНЫЕ СТОИМОСТНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ВЫПУСК ЕДИНИЦЫ ЭИ-" ;SI;"РУБ"
350 PRINT"СУММАРНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ НА ВЫПУСК ЕДИНИЦЫ ЭИ-" ;TH;"МИН"
355 PRINT"ПРОЦЕНТ ВЫХОДА ГОДНЫХ-" ;PS*100;"%"
360 PRINT:PRINT
361 PRINT"ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ СЛЕДУЮЩИХ"
362 PRINT"ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ:"
363 PRINT"ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ СУММАРНЫХ"
364 PRINT"СТОИМОСТНЫХ ЗАТРАТ НА ВЫПУСК ЕДИНИЦЫ ЭИ"
365 INPUT Z1
366 PRINT"ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ СУММАРНЫХ"
367 PRINT"ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ НА ВЫПУСК ЕДИНИЦЫ ЭИ"
368 INPUT Z2
369 PRINT"ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ"
370 PRINT"ПРОЦЕНТА ВЫХОДА ГОДНЫХ ЭИ"
371 INPUT Z3
372 PRINT:PRINT
373 LET SP=0
374 FOR I=1 TO 20:H1=0:H2=0:W1=0:W2=0:P1=1:FOR J=1 TO K
375 IF P(J)=0 THEN 378
376 H1=H1+L1*A(J)+U(J,I)*BP(J)*D(J)+U(J,I)*BR(J)*A(J)-U(J,I)*BR(J)*P(J)
377 W1=W1+L1*B(J)+U(J,I)*BP(J)*F(J)+U(J,I)*BR(J)*B(J):GO TO 380
378 H2=H2+L*A(J)+L*D(J)*U(J,I)+U(J,I)*BR(J)*A1(J)
379 W2=W2+L*B(J)+U(J,I)*L*F(J)+U(J,I)*BR(J)*S1(J)
380 IF U(J,I)=0 THEN 382
381 P1=P1*C(J)*R(J)*(1-Q(J))*(1-GAM(J))*(1-ALF(J))
382 NEXT J
383 SU=(H1+L2*S)/(L*P1)+H2/L:WR=W1/(L*P1)+W2/L
384 AU=Z1*CH/SU+Z2*TH/WR+Z3*P1/PS:IF AU<SP THEN 390
385 SP=AU:Y1=SU:Y2=WR:Y3=P1*100:M=I

```

```
390 NEXT I
395 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ:"
396 PRINT "НОМЕР ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА-";M
400 PRINT "СУММАРНЫЕ СТОИМОСТНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ВЫПУСК ЕДИНИЦЫ ЭИ-";Y1;"РУБ"
405 PRINT "СУММАРНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ НА ВЫПУСК ЕДИНИЦЫ ЭИ-";Y2;"МИН"
410 PRINT "ПРОЦЕНТ ВЫХОДА ГОДНЫХ-";Y3;"%"
415 DATA 1,0,1,1,1,1,0,1,1,1
416 DATA 1,1,0,1,1,0,1,1,0,1
417 DATA 0,1,1,0,1,0,1,1,1,1
418 DATA 1,0,1,0,0,0,1,0,0,1
419 DATA 0,1,1,1,0,1,0,1,1,0
420 DATA 1,1,0,1,1,0,1,0,1,1
421 DATA 0,1,1,0,0,1,1,0,1,1
422 DATA 1,0,0,1,1,0,1,1,1,0
423 DATA 1,0,1,0,0,0,1,0,1,1
424 DATA 0,1,0,1,0,0,1,1,0,1
425 DATA 1,1,0,1,0,1,1,0,1,0
426 DATA 1,0,1,0,1,0,1,0,1,1
427 DATA 1,1,0,1,0,1,0,1,0,1
428 DATA 1,1,0,1,0,1,0,1,1,1
429 DATA 0,1,1,0,1,0,0,1,0,1
430 DATA 1,0,1,1,1,1,0,0,0,1
431 DATA 0,0,1,1,1,1,1,0,0,1
432 DATA 0,1,0,0,1,0,0,1,0,1
433 DATA 1,0,1,1,0,1,0,0,1,1
434 DATA 1,0,1,1,0,0,1,1,1,0
3000 END
```

Оглавление

1. Определение оптимальной структуры технологического процесса сборки и монтажа ЭВА.....	3
1.1. Алгоритм поиска оптимального варианта структуры технического процесса (ТП).....	3
1.2. Описание программы алгоритма поиска оптимального варианта структуры ТП 7	
1.3. Пример решения задачи выбора оптимального состава оборудования для операций ТП с применением ЭВМ.....	9
2. Проектирование ТП сборки и монтажа модулей 1-го уровня при мелкосерийном и серийном производствах на однопредметных и многопредметных линиях	16
2.1. Алгоритм предварительного этапа	17
2.2. Алгоритм расчета режимов работы конвейерной Линии	17
2.3. Алгоритм синхронизации операций и распечатки технологической документации	20
2.4. Пример проектирования технологии конвейерной сборки модулей 1-го уровня ЭА	22
3. Оптимизация выбора и размещения операций контроля в многооперационных технологических процессах сборки и монтажа ЭВА	27
3.1. Постановка задачи выбора и размещения операций контроля.....	27
3.2. Программа оптимального выбора и размещения операций контроля в многооперационных технологических процессах.....	31
Литература.....	34
Приложение	35

Редакция заказной литературы
Виктор Григорьевич Алексеев
Эмилия Николаевна Камышная
Юрий Иванович Нестеров

Алгоритмы и программы решения задач
сборочно-монтажного производства ЭВА
с помощью ЭВМ

Заведующая редакцией Н.Г.Ковалевская
Редактор В.В.Потапова
Корректор Л.И.Малютина

Подписано в печать 05.01.90. Формат 60х90/16. Бумага типограф. № 2.
Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд.л. 2,27 + 1 вкл. Тираж 500 экз.
Изд № 47. Заказ 79. Бесплатно.

Издательство МГТУ, типография МГТУ.
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.