

обеспечивают максимальную производительность. Максимальная производительность (19 дет/час) обеспечивается при 6 варианте технологического оснащения, стоимость которого составляет 1430 р.

**В ы в о д ы.** 1. На производительность ППЛ существенное влияние оказывает ее технологическое оснащение. 2. Технологическое оснащение ППЛ по обработке замков лопаток турбины: двухпозиционное приспособление на станках ЛШ-220/1,2; однопозиционное приспособление на станках ЛШ-233/3, ЛШ-220/4,5; стол для переустановки деталей перед каждым станком; хват робота со смещением оси относительно оси его руки (вар. 6) обеспечивает минимальное время запуска деталей в производство и максимальную производительность.

### Б и б л и о г р а ф и ч е с к и й   с п и с о к

1. Организационно-техническое проектирование ППС /Под ред. С.П.Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1986. 296 с.

2. И в а щ е н к о И.А., М а р т ы н о в В.А., К о с е н к о И.Н. Оптимизация технологических процессов механической обработки деталей летательных аппаратов: Учеб. пособие /Куйбышев. авиац.ин-т. Куйбышев, 1985. 87 с.

УДК 519.24

В.А.Колдоркина

### О МОДЕЛИРОВАНИИ МНОГОПАРАМЕТРНОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПРИ ЗАДАННОМ ПРИОРИТЕТЕ ВЫХОДНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Для улучшения качества и сокращения времени сборки предлагается: проводить периодическое исследование текущих законов распределения входных геометрических параметров изделия; учитывать взаимную зависимость выходных геометрических параметров путем построения условных гистограмм; по выявленным условным гистограммам уточнять величину партии деталей, необходимой для сборки изделия с

---

ISBN 5-230-16902-8. Методы обработки авиаматериалов. Самара, 1991

---

вероятностью, близкой к единице; при проведении предварительной сборки с использованием ЭВМ не ломать гистограмму параметра, заданного по приоритету; сборку по приоритетному параметру обеспечивать без доработки деталей сборочной единицы.

В целях сокращения количества переборок при многопараметрной сборке изделий машиностроения, улучшения качества сборки и обеспечения минимальной доработки деталей сборочной единицы целесообразно проводить предварительно моделирование сборки с использованием ЭВМ.

Схематическая последовательность расчетов представлена на рис. 1.

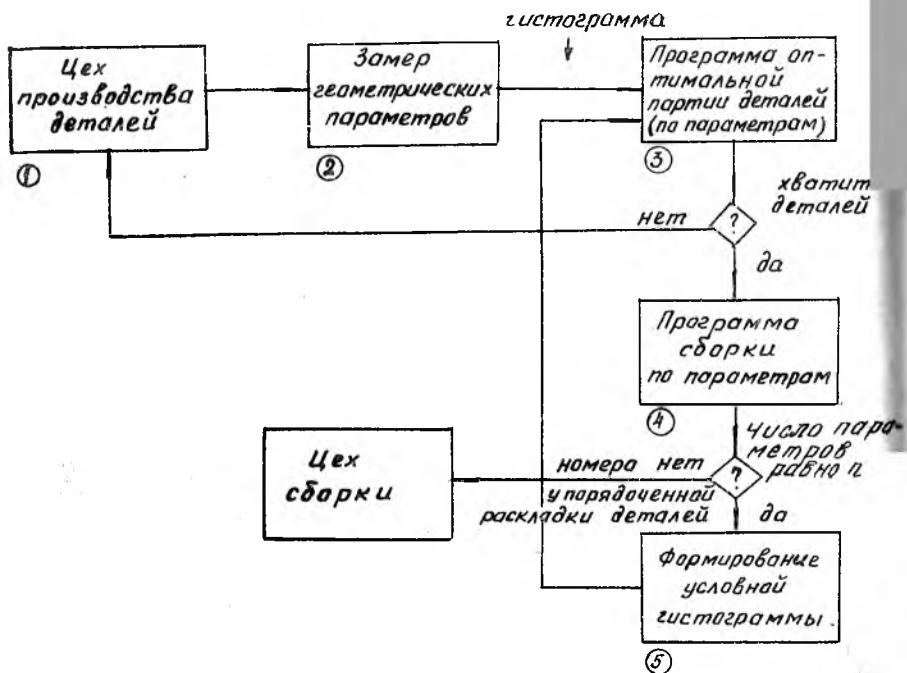


Рис. 1. Схема последовательности расчетов при проведении многопараметрной сборки изделий машиностроения

Рассмотрим процесс моделирования сборки изделия по схеме рис. 1 на примере колеса турбины авиационного двигателя. Колесо турбины является сложной сборочной единицей по размерным связям сопрягаемых поверхностей. Сборка колеса требует обеспечения выходных геометрических параметров (зазоры, натяги, качки) для эффективной работы турбины.

После замера входных геометрических параметров лопаток, поступающих из цеха производства лопаток (блок I), формируется статистический ряд для каждого параметра по интервалам допустимых значений. По выявленной гистограмме просчитывается количество лопаток, обеспечивающих сборку колеса без доработки по одному параметру.

Просчет осуществляется с помощью программы "оптимальная партия" (блок 3). Искомое число лопаток вычисляется по формуле  $N = M/\rho$ , где  $M$  - количество лопаток в колесе,  $\rho$  - вероятность обеспечения данного параметра:  $\rho = m_j/m$ , где  $m$  - количество лопаток с различными случайными значениями параметра в пределах поля допуска,  $m_j$  - количество лопаток, обеспечивающих нужное значение параметра при сборке.

С целью получения случайных значений выходных геометрических параметров проводится имитация процесса производства лопаток [1], при этом решается задача анализа размерных связей методом статистического моделирования.

Будем считать, что для входных геометрических параметров колеса имеет место произвольный закон распределения. Датчик случайных чисел, распределенных по произвольному закону, реализует следующий алгоритм. Пусть требуется получить последовательность реализаций случайной величины  $Y$  с плотностью распределения  $f(y)$  на интервале  $[a, d]$ . Разобьем  $[a, d]$  на  $n$  интервалов, тогда случайная величина  $Y$  может быть представлена в виде

$$y_j = a_j + \varepsilon_j, \quad (1)$$

где  $y_j$  - значение случайной величины  $Y$  внутри интервала  $[a_j, a_{j+1}]$ ,

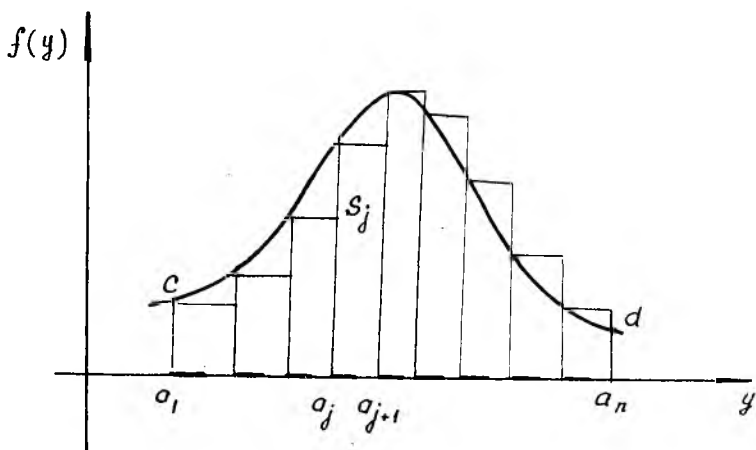
$a_j$  - абсцисса левой границы  $j$ -го интервала;

$\varepsilon_j$  - случайная величина, возможные значения которой располагаются внутри интервала  $[a_j, a_{j+1}]$ .

Процедура получения случайного числа  $Y$  сводится теперь к следующему: 1) случайный выбор интервала (определение значения  $a_j$ ), 2) случайный выбор  $\varepsilon_j$  из интервала  $[a_j, a_{j+1}]$ , 3) формирование  $y_j$  в соответствии с (I).

Таким образом, для формирования одного случайного числа из последовательности с заданным законом распределения необходимо дважды использовать датчики случайных чисел. При выборе интервала на первом шаге указанной процедуры должна учитываться заданная плотность распределения  $f(y)$ . С этой целью, используя разбиение  $[a, d]$  на  $n$  интервалов, кусочно-линейно аппроксимируют  $f(y)$  отрезками прямых, параллельных оси абсцисс (рис. 2). Площадь аппроксимирующих прямоугольников можно приближенно вычислить по формуле

$$S_j = \frac{d-a}{n} \frac{f(a_j) + f(a_{j+1})}{2}.$$



Р и с. 2. Кусочная аппроксимация произвольного закона распределения входных геометрических параметров

Пусть в нашем распоряжении имеется датчик случайных чисел  $x_1, \dots, x_n$ , распределенных равномерно в интервале  $[0, 1]$ . Разобьем интервал  $[0, 1]$  на  $n$  подынтервалов  $[\alpha_1, \alpha_2], [\alpha_2, \alpha_3], \dots, [\alpha_n, 1]$  таким образом, чтобы выполнялись следующие соотношения:

$$\alpha_1 = 0, \quad \alpha_k = \sum_{j=1}^k S_j, \quad k = 2, 3, \dots, n.$$

Первый шаг описываемой процедуры начинается с генерации случайного числа  $x_j$  и определения номера  $k_j$ , удовлетворяющего неравенству:

$$\alpha_k \leq x_j < \alpha_{k+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

после чего по номеру  $k_j$  рассчитывается значение  $a_j$ , определяющее интервал  $[a_j, a_{j+1}]$ , в котором реализуется значение  $Y$ :

$$a_j = c + \frac{d-c}{n} (k_j - 1).$$

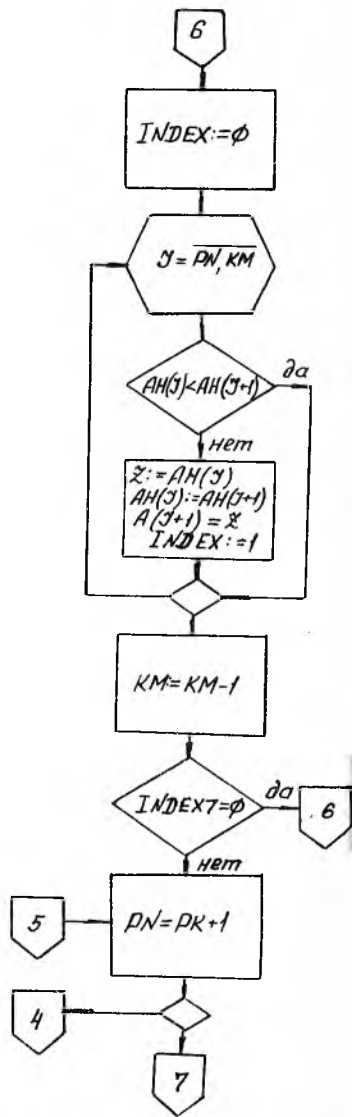
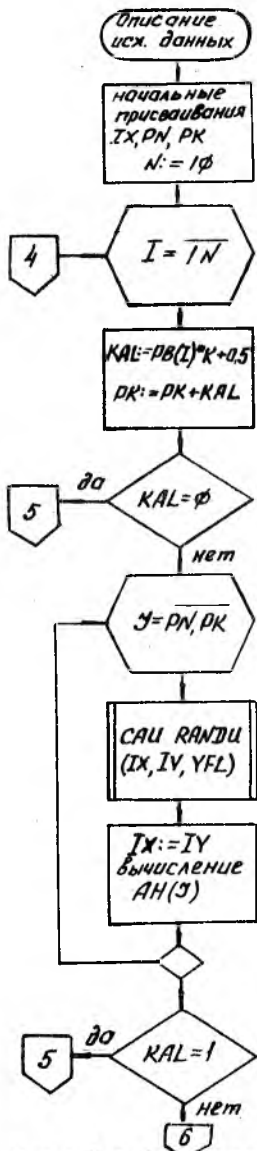
Количество интервалов для разбиения области определения случайной величины  $Y$  выбирается достаточно большим. На втором шаге вычисляется случайная добавка  $\varepsilon_j$  к величине  $a_j$  по формуле

$$\varepsilon_j = \frac{d-c}{n} x_i,$$

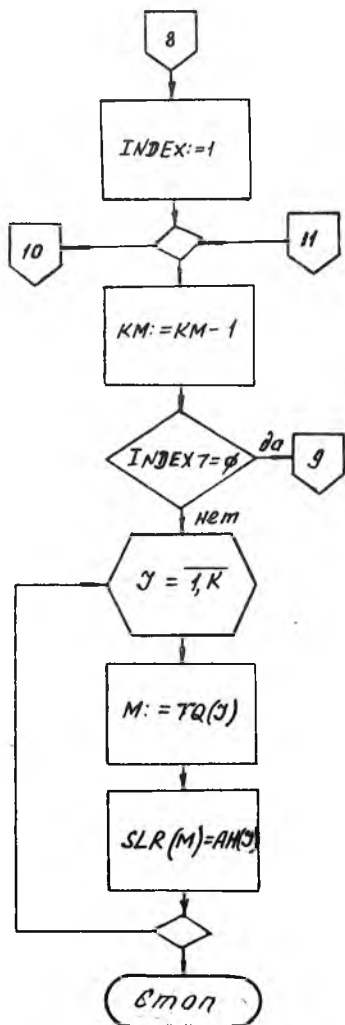
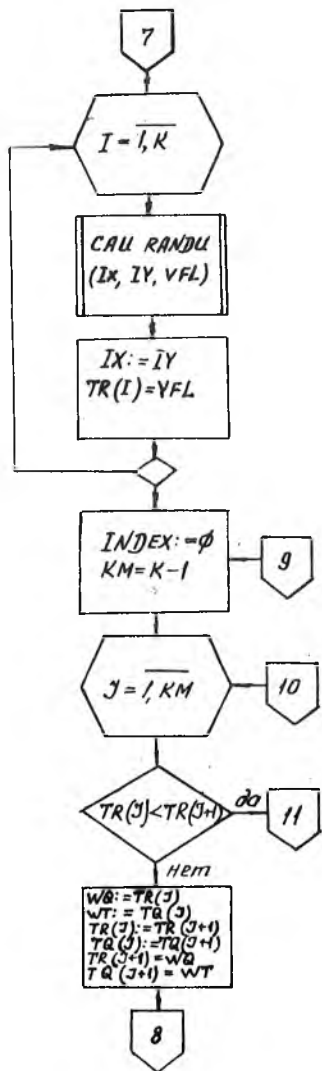
где  $x_i$  — случайное число из последовательности, равномерно распределенной в  $[0, 1]$ . Случайные числа  $x_j$  и  $x_i$  генерируются независимо. Достоинство данного метода — возможность применения для формирования случайных чисел со сколь угодно сложным законом распределения. Структурная блок-схема программы датчика случайных чисел изображена на рис. 3, а, б.

Если готовой партии лопаток недостаточно для обеспечения сборки без доработки по данному параметру, то в блок I поступает сигнал о необходимости изготовления добавочной партии, в противном случае приступает к работе программа сборки колеса по параметрам (блок 4). Все параметры, по которым ведется сборка (по весовым категориям, по натягу между контактными площадками стыковых поверхностей бандажных полок, по зазорам между бандажными полками, по зазорам между замковыми полками, по величине качки лопаток в пазах диска) взаимно зависимы, что необходимо учитывать в программе по просчету числа лопаток, необходимых для сборки.

Пусть событие  $A_1$  — обеспечение сборки по первому параметру;  
 $A_2$  — обеспечение сборки по второму параметру,



Р и с.3, а. Структурная блок-схема программы датчика случайных чисел для произвольного закона распределения. Начало счета



Р и с. 3,6. Структурная блок-схема программы датчика случайных чисел для произвольного закона распределения. Конеч счёта

.....  
 $A_n$  - обеспечение сборки по  $n$ -му параметру.

Тогда вероятность того, что сборка будет обеспечена по всем  $n$  параметрам  $p = (A_1, A_2, \dots, A_n) = p(n)$  вычисляется по формуле

$$p(n) = p(A_1) p(A_2 | A_1) p(A_3 | A_1, A_2) \dots p(A_n | A_1, A_2, \dots, A_{n-1}),$$

где  $p(A_1)$  - вероятность сборки по первому параметру;  $p(A_2 | A_1)$  - вероятность сборки по второму параметру при условии, что первый обеспечен; .....  $p(A_n | A_1, \dots, A_{n-1})$  - вероятность сборки по  $n$ -му параметру при условии, что все остальные  $n-1$  параметров обеспечены.

С целью просчета условных вероятностей для обеспечения параметров 2, 3, ...,  $n$  формируем условную гистограмму (блок 5). Например, для параметра "зазор между бандажными полками" условная гистограмма получается из исходной после выборки части лопаток на сборку по весам и пересчета плотности вероятности для каждого интервала гистограммы.

После просчета программы сборки по всем параметрам (блок 4) будет сформирован ряд номеров упорядоченной раскладки лопаток, который поступает в цех сборки колеса.

Заметим далее, что если вести многоразовую сборку, причем случайную, по рассмотренной выше схеме (рис. I) и пользоваться программой "оптимальная партия" при определении числа деталей для очередной сборки, то в конечном счете (возможно, после двух, трех сборок) гистограммы входных геометрических параметров станут таковыми, что нужное число деталей окажется слишком большим, нереализуемым на практике.

Например, для колеса турбины авиационного двигателя уже для первой сборки без доработки при условии изменения номиналов на некоторые исходные параметры требуется порядка двухсот лопаток (в колесе их 83). В связи с этим в настоящее время приемлемой для производства является сборка изделий с доработкой по некоторым параметрам.

Если какой-либо параметр при этом наиболее "тяжел", т.е. труден в доработке, то задается его приоритет и вся сборка идет с ориентацией на него. Значит, надо так организовать сборку, чтобы не ломать



гистограмму по приоритетному параметру, т.е. не увеличивать число лопаток для сборки без доработки по этому параметру.

Самым "тяжелым" параметром в колесе турбины авиационного двигателя считается натяг. При моделировании процесса сборки колеса порядок обеспечения выходных параметров может отличаться от принятого в производстве, так как для замера очередного параметра колеса собирать не надо, можно условно считать, что оно собрано.

Если в производстве раззасоривание выполняется в последнюю очередь, то при моделировании сборки с целью уменьшения количества промежуточных переборок и пересчетов обеспечение параметра "засоры" проводится после разброса по кругу комплекта лопаток согласно весовой категории. Параметры "вес" и "засоры", если это необходимо (малый парк запасных лопаток), идут с доработкой.

В последнюю очередь обеспечивается приоритетный параметр "натяг". Пусть гистограмма для натяга имеет вид, изображенный на рис. 2. По гистограмме определяем количество лопаток, которые надо выбрать для сборки из  $i$ -го интервала:  $K_i = 83 \times p_i$ , где  $p_i$  - вероятность попадания в  $i$ -й интервал случайного значения ширины верхней бандажной полки. Лопатки берем из начал (левых частей) интервалов

$$\sum_{i=1}^n K_i = 83,$$

где  $n$  - количество интервалов на гистограмме. Если суммарный натяг при этом меньше допустимого  $H_{\Sigma} < H_{\text{дон}}$ , то убираем самую "малую" лопатку (из начала первого интервала) и добавляем самую большую из того же интервала. Если результат не достигнут, то же повторяем для интервалов 2, 3, ...,  $n$ . После каждой сборки добавляем недостающие 83 лопатки и располагаем их по гистограмме, перемешивая с оставшимися от предыдущей сборки.

Расчет выходных геометрических параметров при моделировании сборки ведется методом решения задач анализа плоских размерных цепей по фактическим значениям входных геометрических параметров. Формулы для расчета размерных цепей приведены в работе [2].

Итак, с целью обеспечения бесперебойной сборки изделий машиностроения предлагается:

вести периодическое исследование текущих законов распределения входных геометрических параметров изделия;

учитывать взаимную зависимость выходных геометрических параметров путем построения условных гистограмм;

по выявленным условным гистограммам уточнять величину партии деталей сборочной единицы, необходимой для сборки изделия с вероятностью, близкой к единице;

при проведении предварительной сборки с использованием ЭВМ не ломать гистограмму параметра, заданного по приоритету;

сборку по приоритетному параметру обеспечивать без доработки деталей сборочной единицы.

### Библиографический список

1. Колдоркина В.А. Метод имитационного моделирования для определения числа однотипных деталей, обеспечивающих сборку изделия без доработки //Прогрессивные методы проектирования технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов: Сб.науч.тр /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1986.

2. Иванов В.А. Анализ геометрической точности при сборке колеса турбины //Прогрессивные методы проектирования технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов: Сб. науч.тр. /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985.