

5. T.S. Esiev, The development of resistance monitoring system to stress corrosion cracking of gas pipeline in the mountainous areas / TS Esiev, ZK Abaev // Sustainable development of mountain areas. - 2015. - №3. – p.71-76.

6. The certificate number 2015616136 Russian Federation. The program «SCCplus 1.0»: certificate of state registration of the computer / ZK Abaev, SG Kanukov; applicants and rights holders ZK Abaev, SG Kanukov - № 2015612874; appl. 09/04/2015; Registered. 06/01/2015.

УДК 621.753

*Батманов Э.З., Гусейнов Р.В.*

## ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Batmanov E.Z., Guseynov R.V.*

## PROBABILISTIC MODELING IN STUDIES OF THE ACCURACY THE MANUFACTURE OF ENGINEERING PRODUCTS

*Аннотация.* Рассмотрены методологические аспекты теории точности сборочных операций при изготовлении изделий машиностроения. Обосновано преимущество вероятностного моделирования в машиностроении. Выявлено, что первичные ошибки изделий машиностроения меняются с течением времени в силу износа, вследствие происходящих в материалах деталей физико-механических процессов, и экспериментальное изучение отмеченного характера изменения параметров деталей еще не дает исчерпывающих сведений, по которым можно судить о тех или иных достоверных закономерностях указанных явлений. Отмечается, что экспериментальное изучение весьма важно, так как позволяет получить многочисленные реализации, по которым можно судить о характере изменения первичных ошибок в тех или иных конкретных случаях. Показаны особенности использования вероятностного моделирования при решении проблем нелинейной теории точности. Установлено, что с помощью метода древа логических возможностей может быть решена задача по определению суммарной погрешности.

**Ключевые слова:** точность, законы распределения, погрешности, численные методы, вероятностное моделирование.

**Abstract.** Methodological aspects of the theory of precision Assembly operations in the manufacture of engineering products. Substantiated the advantage of probabilistic modeling in engineering. Noted that the primary error of engineering products change over time because of wear and tear, as a result of what is happening in the

*material details of the physical-mechanical processes, and experimental study of the marked character of changes in parameters of the parts does not give the exhaustive information on which to judge those or other reliable regularities of the phenomena. It is noted that the experimental study is very important, as allows to receive multiple implementations, which can be seen on the character of changes of primary errors in particular cases. The features of the use of probabilistic modeling in solving problems of the nonlinear theory of accuracy.*

**Key words:** accuracy, distribution laws, errors, numerical methods, probabilistic modeling.

**Введение.** В ранее проведенных исследованиях [1] нами были рассмотрены методические аспекты теории точности в общей постановке. Расчет точности сборочных операций при изготовлении изделий машиностроения имеет свои особенности.

Характерной особенностью исследования точности сборочных операций является необходимость учета целого ряда случайных факторов. При решении проблем теории точности широко используется аналитический аппарат и методы таких разделов математики, механики, как дифференциальное и интегральное исчисление, нелинейный и стохастический анализ, вероятностное моделирование, математическая статистика и др.

Для изучения случайных факторов подходит вероятностное моделирование на ЭВМ с использованием алгоритмического описания процессов.

**Постановка задачи.** Вероятностное моделирование является численным методом особого рода, отличающего его от обычных численных методов.

При использовании обычного численного метода его логическая структура в общем случае далека от самого процесса, так и его математической модели. Кроме того, при их использовании учет влияния случайных факторов весьма трудно и непреодолимо. Это связано с тем, что часто зависимости между случайными возмущениями искомыми величинами имеют нелинейный характер или учитываются случайные величины, распределенные по законам, не имеющим аналитического выражения.

При вероятностном моделировании моделирующий алгоритм воспроизводит сам процесс, сохраняя его логическую структуру и последовательность процесса во времени. С этой точки зрения можно указать на имеющую аналогию между исследованием процессов методом вероятностного моделирования и экспериментальными исследованиями.

Исходя из классической теории точности, при расчете точности фиксируются только отклонения размеров отдельных деталей от их номинального значения [2,3], и совершенно не учитывается вероятность их сочетания при сборке. При исследовании точности конкретного изделия исходные погрешности обычно детерминированы, принимают любое значение в пределах допуска. Число их значений могут быть достаточно велико. При рассмотрении партии изделий исходные погрешности имеют случайный характер и являются случай-

ными величинами. При случайном характере исходных погрешностей задача моделирования заключается в том, чтобы представить первичные ошибки случайными числами, подчиняющихся законам распределения первичных ошибок меняющихся в границах, соответствующих допускам. Требуемое количество чисел, представляющих первичную ошибку, зависит от того, насколько точно и с какой вероятностью эти числа представляют закон распределения первичной ошибки. Затем находят все возможные случайные сочетания случайных значений исходных погрешностей, если число случайных сочетаний не весьма велико.

Определяют вероятность каждого случайного сочетания на основе законов распределения первичных ошибок. При весьма большом числе случайных сочетаний или случайных значений первичных ошибок находят только некоторое число случайных сочетаний. В обоих случаях стохастические уравнения последовательно решают для условий, указанных в каждом очередном случайном сочетании.

**Методы исследования.** При вероятностном моделировании в расчетах точности применяются два метода: метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) и метод дерева логических возможностей – метод теории графов.

В качестве исходной информации для решения задач точности сборочных изделий можно выделить следующие:

1. Информация об исходных характеристиках и законах движения механизмов;
2. Информация о количественных показателях точности деталей;
3. Информация, определяющая вероятностные характеристики исходных погрешностей: для случайной функции – ее функционал распределения, а для случайной величины – ее функция распределения.

Все сведения об исследуемом объекте должно быть получены с помощью теоретических и экспериментальных исследований. Затем строится его математическая модель в виде совокупности стохастических уравнений и логических неравенств, позволяющих получить требуемые вероятностные характеристики точности.

Следует иметь в виду то обстоятельство, что, как правило, математическая модель строится лишь с известной степенью приближения в действительности вследствие того, что она в состоянии охватить только основные характерные зависимости. Учет факторов, влияние которых не является определяющим для оценки точности, приводит к тому, что математические модели становятся громоздкими, труднореализуемыми, а точность решения задачи при этом практически не повышается. В связи с этим при построении математической модели следует пренебречь несущественными факторами. Исследования механизма заканчивается построением моделирующего алгоритма, построенного на основе вероятностного моделирования (с использованием метода Монте-Карло или дерева логических возможностей). Алгоритм позволяет получить любые вероятностные характеристики на выходе, предусмотренные программой исследу-

дований, в частности, средние значения, средние квадратические отклонения, а также гистограммы распределения, характеризующие вид законов распределения исходных погрешностей.

В задачах точности сборочных единиц весьма распространен случай, когда каждая из исходных погрешностей может принимать согласно заданному закону распределения любые значения в границах допуска. Тогда первичная ошибка имеет бесконечно большое число значений. Необходимо стремиться к их уменьшению. Поэтому вопрос о числе реализаций приобретает первостепенное значение.

Необходимо стремиться к тому, чтобы каждая реализация была действительно случайным сочетанием случайных значений всех первичных ошибок, подчиняющихся своим законам распределения, и оно было таково, чтобы искомые ошибки были найдены с необходимой точностью.

При исследовании точности механизма практический интерес представляет вероятность выхода значений ошибки за установленные пределы.

Обозначим количество чисел, лежащих в границах поля допуска первичной ошибки  $k$  через  $M_k$ . Общее количество чисел набора -  $N_k$ .

Вероятность удовлетворения первичной ошибки допускам можно определить как:

$$P_k = M_k / N_k. \quad (1)$$

Введем случайный фактор в виде выражения:

$$Q^{(k)} = \begin{cases} 1, & \text{если первичная ошибка находится в границах поля допуска} \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (2)$$

Тогда

$$M_k = \sum_{i=1}^{N_k} Q_i^{(k)} \quad (3)$$

С учетом (3) имеем:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} Q_i^{(k)}}{N_k}$$

Так как случайные числа  $Q^{(k)}$  независимы, согласно центральной предельной теореме вероятностей при достаточно больших значениях  $N_k$  мы имеем распределение, близкое к нормальному с математическим ожиданием, равным  $P_k$  и дисперсией:

$$D[M_k / N_k] = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} D[Q_i^{(k)}]}{N_k N_k} = \frac{P_k(1-P_k)}{N_k} \quad (4)$$

Задаваясь определенной вероятностью  $P_k$ , можно найти по таблицам нормального распределения значения коэффициента  $t_p$ , удовлетворяющее равенству  $P = \Phi(t)$ , где  $\Phi$ - функция Лапласа, и получить доверительную оценку в виде:

$$P(|M_k / N_k - P_k| < \delta_k) = t_p \sqrt{\frac{P_k(1-P_k)}{N_k}} \quad (5)$$

С вероятностью 0,997 величина  $M_k / N_k$  удовлетворяет условию:

$$|M_k/N_k - P_k| < 3 \sqrt{\frac{P_k(1-P_k)}{N_k}} \quad (6)$$

то есть, погрешность метода Монте-Карло не превышает величины:

$$\delta_k = 3 \sqrt{\frac{P_k(1-P_k)}{N_k}} \quad (7)$$

Отсюда можно определить число реализаций  $N_k$ , необходимых для получения оценки  $M_k/N_k$  с точностью  $\delta_k$ .

Из формулы (7) видно, что при оценке среднего значения случайной величины погрешность метода вероятностного моделирования  $\delta_k$  имеет порядок  $\frac{1}{\sqrt{N_k}}$ .

Отсюда видно, что уменьшение ошибки  $\delta_k$  приближенного решения задачи методом вероятностного моделирования связано со значительным увеличением числа испытаний  $N_k$ , а значит, и с увеличением времени вычислений.

Например, увеличение точности в 10 раз приводит к увеличению времени решения задачи во 100 раз.

**Обсуждение результатов.** При вероятностном моделировании необходимое число реализаций получают с помощью ЭВМ. При этом весьма существенной частью аппарата вероятностного моделирования является умение формировать реализации случайных величин, подчиняющихся различным законам распределения. На практике обычно используют два способа реализации случайных величин: генератор случайных чисел и программный путь их получения с помощью некоторого рекуррентного соотношения.

Сущность последнего заключается в том, что каждое последующее число образуется из предыдущего путем применения некоторого алгоритма, состоящего из арифметических и логических операций. Первый алгоритм для получения таких, так называемых, псевдослучайных чисел был предложен Дж.Нейманом и назывался методом средних квадратов. Реализации, которые создаются генератором случайных чисел можно настраивать на нужные законы распределения первичных ошибок механизмов, изготавливаемых по единому технологическому процессу.

Программный путь получения случайных чисел имеет следующие достоинства:

- на получение каждого числа затрачивается всего несколько простых операций, так что скорость генерирования случайных чисел имеет тот же порядок, что скорость работы ЭВМ;
- любое из чисел может быть легко воспроизведено;
- программа простая и занимает мало памяти.

Единственным недостатком метода является ограниченность запаса случайных чисел. Однако есть способы, позволяющие получать гораздо больше чисел, в частности, меняя начальные числа.

С учетом изложенного, программный путь получения случайных чисел желательно использовать для расчетов статистических испытаний.

Как правило, при исследовании точности законы распределения погрешностей изготовления деталей получают эмпирическим путем и поддаются аппроксимации с требуемой точностью.

Метод дерева логических возможностей характеризуется относительной простотой формирования законов распределения случайных чисел, характеризующих исходные погрешности в изготовлении деталей, и является значимым преимуществом метода по сравнению с методом Монте-Карло. Отмеченное обстоятельство приобретает особое значение при исследовании точности, поэтому при исследовании механической точности в стохастической постановке наилучшие результаты может показать метод дерева логических возможностей.

Метод дерева логических возможностей основывается на представлении законов распределения погрешностей в виде дискретных законов, не уступая по своим показателям точности методу статистических испытаний, позволяет решить задачи простым путем, так как нет необходимости в формировании законов распределения при помощи генератора случайных чисел и метода псевдослучайных чисел.

Дискретность законов распределения объясняется следующим образом: исходные погрешности изготовления деталей имеет непрерывный характер в пределах допуска, и могут принимать любые значения в границах допуска. Однако измерительные средства дают дискретные значения погрешностей изготовления.

Таким образом, в вопросах исследования точности изделий приходится иметь дело с конечным множеством значений исходных погрешностей.

**Вывод.** С помощью метода дерева логических возможностей может быть решена задача по определению суммарной погрешности, когда в процессе расчета закона распределения производственные погрешности, полученные эмпирическим путем, поддаются аппроксимации.

Результаты статистического анализа точности показывают, что хотя погрешности размеров, формы и расположения поверхностей имеют во многих случаях нестабильный характер, можно считать, что:

1. Для распределения случайных погрешностей размеров достаточно использовать нормальный закон распределения, причем погрешности формы следуют модулю нормального закона;
2. Для распределения случайных погрешностей расположения поверхностей достаточно использовать закон Рэлея.

Таким образом, при решении задач точности сборки в машиностроении может быть использован аппарат, основанный на применении методов статистических испытаний и дерева логических возможностей.

#### **Библиографический список:**

1. Гусейнов Р.В. Методические аспекты теории точности в машиностроении / Гусейнов Р.В., Султанова Л.М. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - №2(37). - 2015. - С.32-37.

2. Гусейнов Р.В. Интенсификация технологических процессов обработки труднообрабатываемых материалов путем управления динамическими параметрами системы: Автореф. дис.. докт. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01/Гусейнов Р. В. Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. - СПб., 1998.

3. Гусейнов Р.В. Определение показателей надежности автомобилей/Гусейнов Р.В., Султанова Л.М.// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.- №3(38).-2015.-С.43-48.

#### **References:**

1. R.V. Guseynov, Methodological aspects of the theory of precision in machine building-ing / RV Guseinov, Sultanova LM . Herald of Dagestan State Technical University. Technical nauki.- №2 (37) .- 2015.-pp.32-37.

2. R.V. Guseinov, Intensification of technological processes of machining hard materials by controlling the dynamic parameters of the system: Author. Dis .. Doctor. tehn. Sciences: 05.02.08; 05.03.01 / RV Guseinov St. Petersburg State Marine Technical University. - SPb., 1998.

3. R.V. Guseynov, Opredelenie indicators reliable cars-lei / RV Guseinov, Sultanova LM. Herald of Dagestan State Technical University. Technical nauki.- №3 (38) .- 2015.-pp.43-48.

**УДК 621.396**

*Гаджиев Х.М., Челушкин Д.А., Шкурко А.С.*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРЕЦИЗИОННОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ**

*Gadzhiev H.M., Chelushkina D.A., Shkurko A.S.*

## **AUTOMATED SYSTEM FOR CELL PHONES PRECISE DIRECTION FINDING**

*Аннотация.* Обосновано, что применение навигационной системы для пеленгации сотовых телефонов существенно расширит функциональные возможности и сервисные услуги сотовых операторов телефонных сетей. Раскрыты преимущества пеленгационной системы и предложено создание автоматизированной системы пеленгации сотовых телефонов, позволяющей существенно расширить возможности сервисных услуг операторов сотовой связи при использовании стандартного компьютерного сотового оборудования самих операторов. Разработанная система имеет модульный принцип построения, позволяющий дорабатывать программные пакеты, расширяя функциональные возможности. Изложена процедура и алгоритм пеленгации, позволя-