

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЕРОЯТНОСТНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Донцова Марина Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: dontmv@mail.ru

Ключевые слова: посадка, сортировка, отклонение, деталь, информационные, годное, вероятностное.

Цель исследования – повышение количества годных сопрягаемых пар соединений путем сортировки деталей под заданные параметры посадки, используя информационные технологии. На практике не всегда размеры конкретных деталей соответствуют допуску, а в результате – в сопряжении деталей не всегда соблюдается требуемая посадка, что сказывается на работе машин. Для устранения

брака применяется селективная сборка деталей, сортировка партии входящих в соединения деталей на размерные группы в пределах заданного допуска. Применение сортировки деталей с разбивкой на различные сопрягаемые группы существенно увеличивает вероятное количество годных соединений, что улучшает экономические показатели производства. Обосновывается целесообразность у изделий с малым сроком службы или низкой стоимости (при парной замене ответственных деталей сопряжения) использовать сортировку партии деталей сопряжения для повышения количества годных соединений. В статье приводятся методические основы определения годных соединений на основе данных частных статистических выборок размеров вала и втулки. Разработанная математическая модель в среде MathCad, позволяет определить вероятностное значение годных соединений. Численный анализ по примерам выборок деталей позволяет установить функции распределения данных деталей для всей партии. На основании этого приведен пример разбивки сортировкой партии деталей на отдельные группы с установлением границ. Моделирование вероятности количества сопрягаемых деталей в группах позволяет установить суммарное значение годных соединений, а визуализация математического расчета облегчает понимание сути проводимых мероприятий. Результаты моделирования представлены в виде графиков.

В машиностроении основным элементом любой конструкции является деталь. При этом каждую поверхность детали можно описать как совокупность ряда основных типовых поверхностей с конкретными значениями размеров, шероховатости и т.п. Фактические параметры рассматриваемой поверхности у каждой аналогичной детали будут в той или иной степени отличаться от изначально заданных конструктором в силу большого количества различных факторов, влияющих на формирование геометрических показателей качества при механической обработке. В идеале, значения указанных параметров должны соответствовать интервалу установленных для них допусков. Однако на практике далеко не всегда размеры конкретных деталей соответствуют допуску, а в результате – в сопряжении деталей не всегда соблюдается требуемая посадка, что сказывается на работе машин.

Для устранения такого брака применяется селективная сборка деталей, т.е. сортировка партии, входящих в соединения деталей на размерные группы в пределах заданного допуска. Как правило, границы допуска годных деталей определяются классом точности детали. Изготовление деталей (вал и втулка) одного качества не всегда представляется возможным по техническим причинам или экономически нецелесообразно. На это может повлиять состояние имеющегося оборудования, малый срок эксплуатации или низкая цена изготавливаемого изделия и т.п. В этом случае применение сортировки деталей с разбивкой на различные сопрягаемые группы

существенно увеличивает вероятное количество годных соединений, что улучшает экономические показатели производства [1, 2].

Цель исследования – повышение количества годных сопрягаемых пар соединений путем сортировки деталей под заданные параметры посадки, используя информационные технологии.

Задачи исследований: используя возможности математического пакета MathCAD составить методику определения функции распределения деталей и графического их построения; разработать методику разбивки размеров деталей сортировкой на отдельные группы с установлением границ под заданный интервал посадок; используя численные возможности компьютерного моделирования установить суммарное значение годных соединений.

Материалы и методы исследований. Современные тенденции развития производства изделий машиностроения направлены на существенное снижение стоимости производимой продукции, при этом, в коммерческих целях, не увеличивая значительно срок эксплуатации. В то же время существует определенный набор продукции с заданным потребным сроком эксплуатации, величина значений посадки которых существенно ниже величины допуска размера производимых деталей [3-6].

При наличии ограниченной партии выборки размеров деталей типа вал и втулка, определяют величину средних размеров деталей предполагаемой посадки и величину среднеквадратичных отклонений. Указанные параметры позволяют уже численными вероятностными методами по известным методикам определить функцию закона распределения [7]. На основе функции распределения деталей и выбора границ размеров деталей сортировкой подбираются пары для годных соединений с заданным зазором (натягом).

В современном машиностроении широко применяются различные информационные технологии на основе CAD систем, что позволяет автоматизировать математические расчеты. Для повышения эффективности их использования необходима соответствующая теоретическая подготовка. Приведенная частная методика расчета в программе MathCAD позволяет выявить вероятность годности сопрягаемых пар соединений путем сортировки деталей под заданные параметры посадки.

Результаты исследований. Для демонстрации методики расчета приведены выборки размеров двух сопрягаемых деталей: $D1$ и $D2$, в виде, используемом математическим пакетом MathCAD:

$$D1 := \begin{bmatrix} 11.9 \\ 11.3 \\ 11.2 \\ 12.1 \\ 12.0 \\ 11.5 \\ 12.0 \\ 11.2 \\ 11.6 \\ 11.1 \\ 11.6 \\ 11.2 \end{bmatrix} \quad D2 := \begin{bmatrix} 11.8 \\ 12.3 \\ 11.9 \\ 12.1 \\ 12.05 \\ 11.9 \\ 12.1 \\ 12.2 \\ 12.1 \\ 11.9 \\ 12.1 \\ 12.1 \end{bmatrix}$$

Количество замеренных деталей – число значений в матрице (здесь и далее приведены функции, используемые MathCAD), шт.

$$\begin{aligned} N1 &:= \text{rows}(D1), & N1 &= 2 \quad ; \\ N2 &:= \text{rows}(D2), & N2 &= 2 \quad ; \end{aligned}$$

Количество степеней свободы:

$$N1 - 1 = 1 \quad , \quad N2 - 1 = 1 \quad .$$

Переменные изменяются в границах:

$$i := 0..N1 - 1; \quad j := 0..N2 - 1.$$

Среднее значение диаметра деталей, мм:

$$D_{cp1} := \frac{\sum D1}{N1}, \quad D_{cp1} = 1.558; \quad D_{cp2} := \frac{\sum D2}{N2}, \quad D_{cp2} = 2.046$$

Разность средних значений диаметров, мм:

$$\Delta m := D_{cp2} - D_{cp1}, \quad \Delta m = 1.488$$

Отклонения диаметра детали от среднего размера детали, мм:

$$Do1 := D1 - D_{cp1}; \quad Do2 := D2 - D_{cp2}$$

Математическое ожидание отклонения диаметра группы деталей, мм:

$$m_{x1} := \frac{\sum Do1}{N1}, \quad m_{x1} = .332 \cdot 10^{-15}; \quad m_{x2} := \frac{\sum Do2}{N2}, \quad m_{x2} =)$$

Дисперсия отклонений размеров, мм:

$$D_{x1} := \frac{\sum_i (Do1_i)^2}{N1 - 1}, \quad D_{x1} = 1.134; \quad D_{x2} := \frac{\sum_j (Do2_j)^2}{N2 - 1}, \quad D_{x2} = 1.021$$

Среднее квадратическое отклонение размеров, мм:

$$\sigma_{x1} := \sqrt{D_{x1}}, \quad \sigma_{x1} = 1.365; \quad \sigma_{x2} := \sqrt{D_{x2}}, \quad \sigma_{x2} = 1.144$$

Величина отклонений при отклонении $3 \cdot \sigma$ и $6 \cdot \sigma$, мм:

$$3.0 \cdot \gamma_{x1} = .096; \quad 6.0 \cdot \gamma_{x1} = 1.193; \quad 3.0 \cdot \gamma_{x2} = 1.431; \quad 6.0 \cdot \gamma_{x2} = 1.862$$

Нижняя граница размеров (диаметров) детали при вероятности 99%, мм:

$$Di1 := D_{cp1} - 3.0 \cdot \gamma_{x1}, \quad Di1 = 0.462; \quad Di2 := D_{cp2} - 3.0 \cdot \gamma_{x2}, \quad Di2 = 1.615$$

Нижний диаметр вала (первой детали) относительно нижнего диаметра отверстия (второй детали) при наличии наибольшего зазора, мм:

$$D'i1 := Di2 - Z_{max}, \quad D'i1 = 1.265$$

Сравнивая величины $D'i1$ и $Di1$, приравниваем меньшее из указанных значений к началу отсчета – D_{min1} – с точностью используемых калибров, кратных требуемым зазорам. Принимаем, мм:

$$D_{min1} := 10.575$$

Наибольшие размеры границ диаметров деталей, мм

$$D_{cp1} - (6.0 \cdot \gamma_{x1}) = 1.366 \quad D_{cp1} + (6.0 \cdot \gamma_{x1}) = 3.751$$

$$D_{cp2} - (6.0 \cdot \gamma_{x2}) = 1.183 \quad D_{cp2} + (6.0 \cdot \gamma_{x2}) = 2.908$$

Границы размеров деталей Отверстие (деталь №2) лежат внутри границ деталей Валов (деталь №1), поэтому используем для моделирования интервал границ Валов (деталь №1).

Исходные данные для моделирования:

Количество единиц измерений (с учетом точности калибра): $z := 120$.

Текущая нумерация единиц измерения: $s := 0..z$.

Количество единиц отклонений (σ) на исследуемом интервале: $N\sigma := 5$.

Координаты точек моделирования, мм:

$$x_s := -(N\sigma \cdot \gamma_{x1}) + s \cdot 1.035 \cdot \frac{(6.0 \cdot \gamma_{x1})}{2};$$

$$x'_s := D_{cp1} - (N\sigma \cdot \gamma_{x1}) + \left[-(6.0 \cdot \gamma_{x1}) + s \cdot 1.035 \cdot \frac{(6.0 \cdot \gamma_{x1})}{2} \right]$$

Граничные координаты точек моделирования на исследуемом отрезке единиц измерений $[0, z]$, мм:

$$x'_0 = 1.193, \quad x'_z = 5.798$$

Максимальное значение плотности распределения (высота амплитуды) для деталей, мм:

$$f_{\max 1} := \frac{1}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}, \quad f_{\max 1} = .092 ;$$

$$f_{\max 2} := \frac{1}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}, \quad f_{\max 2} = 1.776$$

Дифференциальная функция плотности распределения отклонений размеров деталей:

$$f1_s := \frac{\frac{(x_s - mx1)^2}{e^{-2 \cdot x1^2}}}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} ; \quad f2_s := \frac{\frac{(x_s - mx2)^2}{e^{-2 \cdot x2^2}}}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

Графические результаты дифференциальной функции плотности распределения отклонений размеров деталей приведены на рисунке 1.

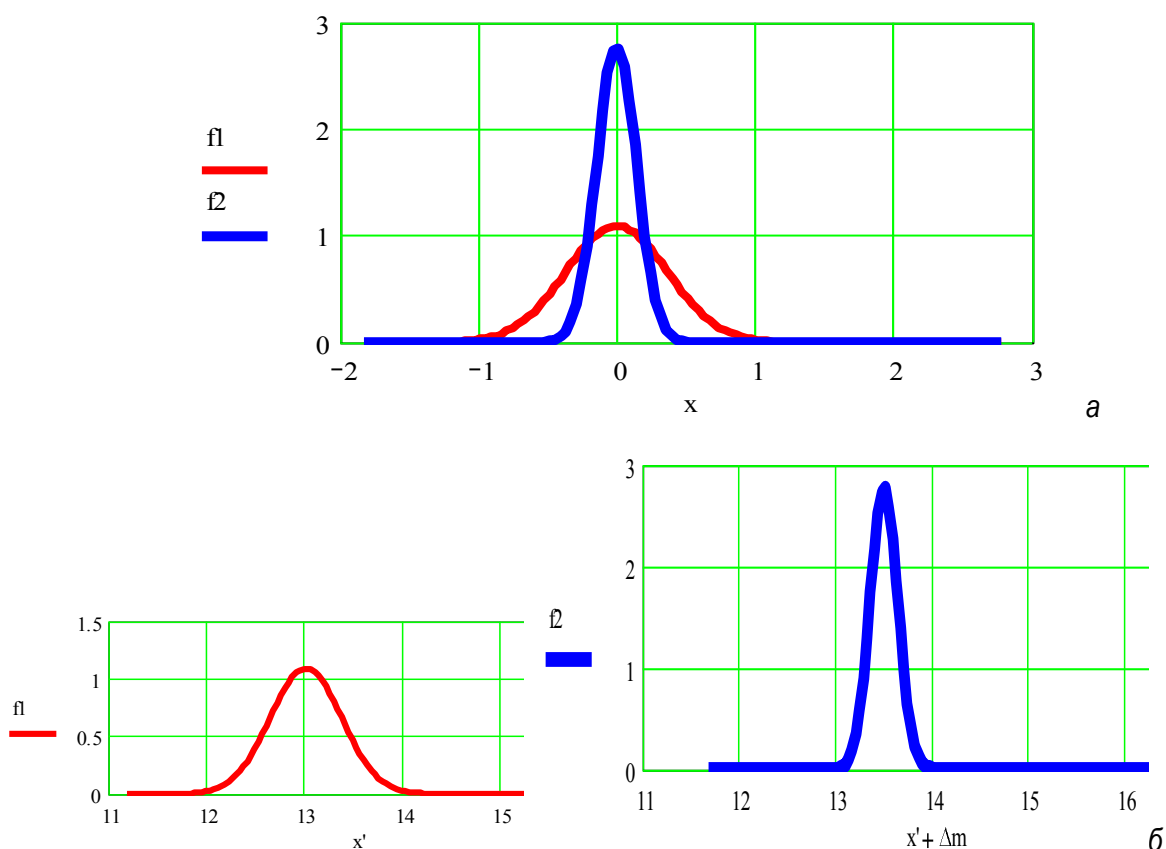


Рис. 1. Дифференциальная функция плотности распределения отклонений размеров: а – совмещенная по центрам средних значений деталей; б – для выборок деталей под реальные их размеры

Анализ графиков позволяет установить существенные различия выборок деталей №1 и №2. У деталей №1 Вал разброс выборок намного превышает разброс выборок детали №2 Отверстие. При простом установлении допусков размеров количество соединений с заданным зазором (или натягом) будет незначительным и экономически не целесообразным для изготовления.

Применение сортировки для разбивки партии деталей на отдельные группы позволит существенно увеличить количество соединений с заданной величиной интервала зазора либо натяга.

Производим разбивку деталей на группы сортировкой.

Первая группа деталей:

Границы размеров первых групп деталей:

$$D1_{\min 1} := D_{\min 1};$$

$$D2_{\max 1} := D1_{\min 1} + Z_{\max};$$

$$D2_{\min 1} := D1_{\min 1} + Z_{\min};$$

$$D1_{\max 1} := D2_{\max 1} - Z_{\min};$$

$$D1_{\min 1} = 0.575, \quad D1_{\max 1} = 0.875, \quad D2_{\min 1} = 0.625, \quad D2_{\max 1} = 0.925$$

Вторая группа деталей:

Границы размеров вторых групп деталей:

$$D1_{\min 2} := D2_{\min 1};$$

$$D2_{\max 2} := D1_{\min 2} + Z_{\max};$$

$$D2_{\min 2} := D1_{\min 2} + Z_{\min};$$

$$D1_{\max 2} := D2_{\max 2} - Z_{\min};$$

$$D1_{\min 2} = 0.625, \quad D1_{\max 2} = 0.925, \quad D2_{\min 2} = 0.675, \quad D2_{\max 2} = 0.975$$

Проверка:

$$D1_{\max 1} = 0.875, \quad D1_{\min 2} = 0.625, \quad D1_{\max 1} \leq D1_{\min 2} = 0$$

Проверка не прошла (условие не выполнено – результат: «ноль», а не «1»). Поэтому корректируем значение $D1_{\min 2}$.

Величина коррекции должна быть положительная (не отрицательная):

$$\Delta 2 := D1_{\max 1} - D1_{\min 2}, \quad \Delta 2 = 0.25$$

Уточненные границы размеров вторых групп деталей:

$$D1_{\min 2} := D2_{\min 1} + \Delta 2;$$

$$D2_{\max 2} := D1_{\min 2} + Z_{\max};$$

$$D2_{\min 2} := D1_{\min 2} + Z_{\min};$$

$$D1_{\max 2} := D2_{\max 2} - Z_{\min};$$

$$D1_{\min 2} = 0.875, \quad D1_{\max 2} = 1.175, \quad D2_{\min 2} = 0.925, \quad D2_{\max 2} = 1.225$$

Проверка:

$$D1_{\max 1} = 0.875, \quad D1_{\min 2} = 0.875, \quad D1_{\max 1} \leq D1_{\min 2} = 1$$

Проверка прошла успешно (условие выполнено – результат: «1»). Поэтому дополнительной коррекции не требуется.

Величина коррекции должна быть положительная. Если равна нулю, то потребность в коррекции устранена:

$$\Delta 2 := D1_{\max 1} - D1_{\min 2}, \quad \Delta 2 = 0$$

Аналогично производим расчет для других групп деталей.

Принимаем номера групп при сортировке в диапазоне:

$$n := 1..7$$

Отклонения размеров, соответствующие сортировке, мм:

$$\Delta 1_{\min 1} := D1_{\min 1} - D_{\text{ср} 1};$$

$$\Delta 1_{\max 1} := D1_{\max 1} - D_{\text{ср} 1};$$

$$\Delta 1_{\min 2} := D1_{\min 2} - D_{\text{ср} 1};$$

$$\Delta 1_{\max 2} := D1_{\max 2} - D_{\text{ср} 1};$$

И так далее по группам сортировки.

Интегральная Функция плотности распределения

$$\Phi 1_s := \frac{1}{\sigma x 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{ss=0}^s e^{-2 \cdot \frac{(x_{ss} + mx 1)^2}{x 1^2}}; \quad \Phi 2_s := \frac{1}{\sigma x 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{ss=0}^s e^{-2 \cdot \frac{(x_{ss} + mx 1)^2}{x 2^2}}$$

Номер итерации:

$$j10_n := \text{ceil} \left[\frac{\left[\Delta 1 \min_n + (6.0 \cdot \gamma x1) \right]}{\left[0.035 \cdot \frac{(6.0 \cdot \gamma x1)}{2} \right]} \right];$$

$$j20_n := \text{ceil} \left[\frac{\left[\Delta 2 \min_n + (6.0 \cdot \gamma x1) \right]}{\left[0.035 \cdot \frac{(6.0 \cdot \gamma x1)}{2} \right]} \right];$$

$$j11_n := \text{ceil} \left[\frac{\left[\Delta 1 \max_n + (6.0 \cdot \gamma x1) \right]}{\left[0.035 \cdot \frac{(6.0 \cdot \gamma x1)}{2} \right]} \right];$$

$$j21_n := \text{ceil} \left[\frac{\left[\Delta 2 \max_n + (6.0 \cdot \gamma x1) \right]}{\left[0.035 \cdot \frac{(6.0 \cdot \gamma x1)}{2} \right]} \right];$$

Определим интеграл функции плотности распределения:
-суммарный

$$\Phi 1_z := \frac{1}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{s=0}^z e^{-2 \cdot \kappa 1^2} \frac{(x_s + mx1)^2}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

$$\Phi 1_z = 6.066$$

$$\Phi 2_z := \frac{1}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{s=0}^z e^{-2 \cdot \kappa 2^2} \frac{(x_s + mx2)^2}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

$$\Phi 2_z = 6.066$$

- нижней и верхней границы интервала

$$\Phi 10_{j10_n} := \frac{1}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{s=0}^{j10_n} e^{-4 \cdot \kappa 1^2} \frac{(x_s + mx1)^2}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

$$\Phi 11_{j11_n} := \frac{1}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{s=0}^{j11_n} e^{-4 \cdot \kappa 1^2} \frac{(x_s + mx1)^2}{\sigma x1 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

$$\Phi 20_{j20_n} := \frac{1}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{s=0}^{j20_n} e^{-4 \cdot \kappa 2^2} \frac{(x_s + mx2)^2}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

$$\Phi 21_{j21_n} := \frac{1}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \sum_{s=0}^{j21_n} e^{-4 \cdot \kappa 2^2} \frac{(x_s + mx2)^2}{\sigma x2 \cdot \sqrt{2 \cdot 3.14}}$$

$\Phi 20_{j20_n}$

1.458 · 10 ⁻⁵
5.55 · 10 ⁻³
0.655
10.238
30.299
36.589
36.862

$\Phi 21_{j21_n}$

5.55 · 10 ⁻³
0.655
10.238
30.299
36.589
36.862
36.864

$\Phi 10_{j10_n}$

4.814
10.998
19.387
26.565
32.466
35.453
36.527

$\Phi 11_{j11_n}$

10.998
19.387
26.565
32.466
35.453
36.527
36.801

Вероятность попадания деталей в рассматриваемый интервал отклонений:

$$P1_n := \frac{(\Phi 11_{j11_n} - \Phi 10_{j10_n})}{\Phi 1_z}$$

$$P2_n := \frac{(\Phi 21_{j21_n} - \Phi 20_{j20_n})}{\Phi 2_z}$$

$P2_n$

2.124 · 10 ⁻⁴
0.025
0.368
0.77
0.241
0.01
5.577 · 10 ⁻⁵

$P1_n$

0.237
0.322
0.275
0.226
0.115
0.041
0.01

Вероятное количество деталей, соответствующих заданному указанному интервалу отклонений:

$$Nd1_n := \text{floor}(Ns1 \cdot p1_n); \quad Nd2_n := \text{floor}(Ns2 \cdot p2_n).$$

Вероятное количество соединений с заданным зазором соответствует по всем группам количеству:

$$N_1 := Nd2_1; \quad N_2 := Nd2_2; \quad N_3 := Nd2_3; \quad N_4 := Nd2_4; \quad N_5 := Nd1_5; \quad N_7 := Nd2_7.$$

N_n	$Nd1_n$	$Nd2_n$
0	237	0
24	321	24
367	275	367
769	226	769
114	114	241
41	41	10
0	10	0

min из столбцов матриц: или

Количество соединений у групп сортировки N начинается и заканчивается «нулем» у одного из видов деталей, поэтому корректно выбрано значение N групп.

Результирующие значения N соответствуют минимальным значениям деталей из парных групп $Nd1$ и $Nd2$ (это видно из рисунка 2) и менее $Ns1$ и $Ns2$, что соответствует правильному расчету числа соединений.

Вероятное суммарное количество соединений с заданным зазором, шт.:

$$N' := \sum N \quad N' = 649 \quad \blacksquare \quad \text{из 1000 пар деталей.}$$

Произведенный расчет выполнен в виде примера численной методики его реализации, показывающей основы методики расчета.

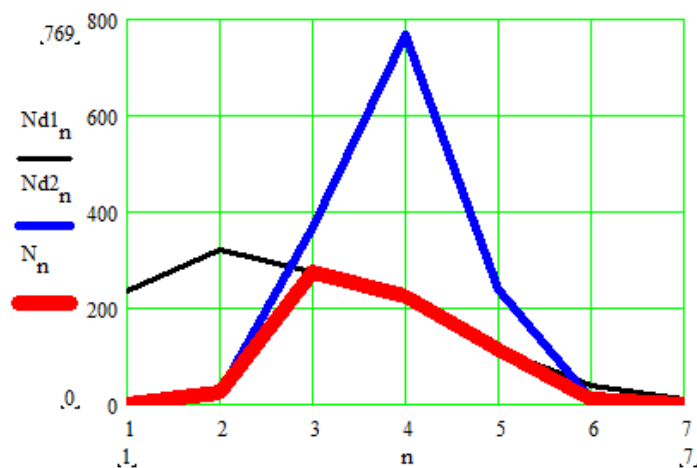


Рис. 2. Вероятное количество деталей и соединений с заданным зазором соответствует по всем группам их количеству:

$Nd1$ – количество деталей №1 Вал по группам сортировки; $Nd2$ – количество деталей №2 Отверстие по группам сортировки; Nn – количество годных соединений по группам сортировки

Заключение. Численный анализ по существующим выборкам деталей позволил установить функции распределения данных деталей для всей партии. На основании этого произведена разбивка сортировкой на отдельные группы деталей с установлением границ. Моделирование вероятности количества сопрягаемых деталей в группах позволило установить суммарное значение годных соединений, а визуализация математического расчета облегчает понимание сути проводимых мероприятий, что облегчает проверку правильности расчета.

Библиографический список

1. Рыжаков, В. В. Планирование эксперимента и статистический анализ данных в управлении качеством продукции / В. В. Рыжаков, Н. М. Боклашов, М. Ю. Рудюк. – Пенза : Пензенский ГТУ, 2013. – 124 с.
2. Рыжаков, В. В. Всеобщее управление качеством / В. В. Рыжаков, М. Ю. Рудюк. – Пенза : Пензенский ГТУ, 2014. – 100 с.
3. Зайцев, Г. Н. Управление качеством. Экспертиза и управление качеством производственных технологий / Г. Н. Зайцев. – СПб : СПбГЭУ, 2013. – 139 с.
4. Кошелев, Ю. Н. Управление качеством требует системного подхода и качества управления / Ю. Н. Кошелев, И. И. Степнова // Черная металлургия. – 2012. – № 8 (1352). – С. 9-12.
5. Камакин, В. А. Управление качеством продукции при механообработке на основе принципов автоматизации управления эксплуатационным качеством продукции / В. А. Камакин, Э. В. Киселев, С. М. Кожина // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2014. – № 1 (28). – С. 110-113.
6. Калужин, С. В. От управления качеством продукции к качеству управления её производством / С. В. Калужин, М. Н. Есаулов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 210-215.
7. Лифиц, И. М. Метрология, стандартизация и сертификация. – М. : Изд-во «Юрайт», 2013. – 311 с.