

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.94:006.78

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОПРЯГАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ
ДЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

С. В. Скворцов, д.т.н., профессор РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0001-9495-4953, e-mail: s.v.skvor@gmail.com

В. И. Хрюкин, к.т.н., доцент РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0002-7736-115X, e-mail: vi_x@mail.ru

Т. С. Скворцова, к.т.н., старший преподаватель Академии ФСИН России, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0001-7504-5973, e-mail: t.s.skvortsova@yandex.ru

Рассматриваются взаимосвязанные задачи определения параметров механических узлов конструкций с учетом вероятностного характера размеров сопрягаемых деталей. Целью работы является разработка проектных процедур, обеспечивающих определение допусков соединения деталей (прямая задача) и выбор стандартных посадок, удовлетворяющих предъявляемым требованиям по точности соединения сопрягаемых элементов (обратная задача). При разработке проектных процедур использованы типовые методики расчета и оригинальные подходы, основанные на статистическом моделировании размеров сопрягаемых деталей для определения их предельных размеров и параметров соединения. На базе предложенных проектных процедур разработан электронный справочник по Единой системе допусков и посадок (ЕСДП). Его применение обеспечивает предоставление пользователю справочных данных по стандартам ЕСДП, а также позволяет автоматизировать решение прямой и обратной задачи определения параметров сопрягаемых деталей для гладких цилиндрических соединений, включая предельные калибры и подшпигунники качения, в процессе проектирования электромеханических устройств.

Ключевые слова: автоматизация конструкторских расчетов, статистическое моделирование, допуски и посадки, стандартные посадки, предельные зазоры и натяги, допуск соединения, качества, посадки подшпигунников качения, предельные калибры.

DOI: 10.21667/1995-4565-2023-85-117-127

Введение

Важной проблемой автоматизированного проектирования электромеханических устройств является рациональный выбор параметров соединений деталей, узлов и компонентов. Наиболее распространенный детерминистический подход к решению указанной проблемы основан на использовании расчетных формул Единой системы допусков и посадок (ЕСДП), соответствующей международным стандартам ISO 286-1:2010 [1] и ISO 286-2:2010 [2].

В этом случае, чтобы обеспечить полную взаимозаменяемость изделий, отклонения размеров отверстия и вала от номинальных принимаются предельными, а допуск посадки вычисляется суммированием их допусков (метод максимума-минимума [3]). Термины «вал» и «отверстие» используются для условного обозначения наружных и внутренних элементов деталей, узлов и компонентов, включая и нецилиндрические поверхности. Однако при этом требования к точности изготовления деталей, узлов и компонентов заметно возрастают, что в конечном итоге приводит к удорожанию изделий [4].

Снизить требования к точности размеров валов и отверстий практически без ухудшения параметров их соединений позволяет применение вероятностного подхода [4] к расчетам, который предполагает использование поправочных коэффициентов, учитывающих отличие распределения размеров соединения от нормального закона. Однако использование вероятностного подхода не всегда возможно, так как поправочные коэффициенты известны для ограниченного набора законов распределения.

В работе предлагаются методика и программные средства решения пары взаимосвязанных задач выбора параметров соединений в рамках вероятностного подхода при условии, что законы распределения полей допусков вала и отверстия могут быть произвольными [5, 6]. Прямая задача заключается в вычислении допуска соединения и предельных зазоров (натягов) по заданным законам распределения размеров вала и отверстия [5]. Обратная задача состоит в определении стандартных посадок, обеспечивающих получение заданных предельных зазоров и натягов соединения [6].

Теоретическая часть

Решение сформулированных задач предлагается выполнять методами статистического моделирования. В их основе лежит формирование последовательностей случайных величин с заданными законами распределения, имитирующих отклонения размеров вала и отверстия от их номинального значения. Для этого может использоваться метод обратных функций или метод исключения [7].

Пусть случайные величины X и Y обозначают размеры вала и отверстия соответственно, где $x_1, x_2, \dots, x_n$ и $y_1, y_2, \dots, y_n$ – совокупности их значений с заданными законами распределения, полученные в результате моделирования по одному из указанных выше методов. Тогда для решения прямой задачи может использоваться следующая проектная процедура.

Процедура 1. Определение допуска соединения

1. Вычислить разности $\Delta_i = y_i - x_i$ ($i = \overline{1, n}$) и на их основе определить предельные зазоры или натяги.

2. Если все $\Delta_i > 0$, то получаем посадку с зазором, где предельные зазоры

$$S_{\min} = \min \Delta_i; S_{\max} = \max \Delta_i; i = \overline{1, n}.$$

3. Если все $\Delta_i < 0$, то получаем посадку с натягом, где предельные натяги

$$N_{\min} = \min |\Delta_i|; N_{\max} = \max |\Delta_i|; i = \overline{1, n}.$$

4. Если значения Δ_i имеют разные знаки, то получаем переходную посадку, для которой максимальный зазор:

$$S_{\max} = \max \Delta_i; \Delta_i > 0; i = \overline{1, n},$$

и максимальный натяг

$$N_{\max} = \max |\Delta_i|; \Delta_i < 0; i = \overline{1, n}.$$

5. Величина допуска соединения определяется как

$$TS = \max \Delta_i - \min \Delta_i; i = \overline{1, n}; i = \overline{1, n}.$$

Заметим, что в процессе моделирования можно оценить вероятности получения зазора и натяга по частоте появления величин Δ_i с разными знаками:

$$P_1 \approx n_1 / n; P_2 \approx n_2 / n,$$

где n_1, n_2 – количество положительных и отрицательных значений Δ_i соответственно, причем $n_1 + n_2 = n$.

Для решения обратной задачи предлагается использовать итерационный выбор допустимых посадок, который предполагает применение еще трех проектных процедур и включает следующие действия. Сначала определяются стандартные значения полей допусков вала и отверстия (проектная процедура 2). Затем, если полученные значения полей допусков вала и отверстия удовлетворяют заданным требованиям по точности, производится выбор подхо-

дящей стандартной посадки (проектная процедура 3). В противном случае выполняется итерационное уточнение значений полей допусков вала и отверстия (проектная процедура 4).

При реализации проектной процедуры 2 полагаем, что распределение случайной величины, характеризующей допуск посадки, подчиняется нормальному закону в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей [8]. Такое предположение позволяет выполнить расчет стандартных значений полей допусков вала и отверстия известным теоретико-вероятностным методом [5], а формирование стандартных посадок осуществляется по методу максимума-минимума [4].

Процедура 2. Определение допусков вала и отверстия

1. По заданным предельным значениям зазоров $S_{\min}, S_{\max}$ (посадка с зазором), натягов $N_{\min}, N_{\max}$ (посадка с натягом), $S_{\max}, N_{\max}$ (переходная посадка) определяется допуск соединения TS по формуле

$$TS = \begin{cases} S_{\max} - S_{\min} & \text{при посадке с зазором;} \\ N_{\max} - N_{\min} & \text{при посадке с натягом;} \\ S_{\max} + N_{\max} & \text{при переходной посадке.} \end{cases}$$

2. Принимаются одинаковыми допуски вала Td и отверстия TD , вычисляются их исходные значения по формуле

$$Td = TD = TS / \sqrt{2},$$

и находится количество единиц допуска в размере допуска вала (отверстия) по формуле

$$a_d = \frac{TS}{\sqrt{2}(0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001D_u)},$$

где D_u – средний геометрический размер для интервала диаметров, к которому относится данный линейный размер [3].

3. Определяются предварительные качества допусков вала и отверстия по стандартным значениям единиц допуска в размере (таблица 1):

– для вала путем округления величины a_d к ближайшему меньшему количеству таких единиц, указанному в таблице 1 (калитет допуска вала $m = i$);

– для отверстия – к ближайшему большему (калитет допуска отверстия равен $m + 1$).

Таблица 1 – Число единиц допуска для квалитетов

Table 1 – Number of tolerance units

Квалитет i	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Единицы допуска a_i	5,1	7	10	16	25	40	64	100	160

4. Вычисляются стандартные значения допусков.

Для вала как стандартный допуск по квалитету m :

$$Td = IT_m = a_m(0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001D_u).$$

Для отверстия как стандартный допуск по квалитету $m + 1$:

$$TD = IT_{m+1} = a_{m+1}(0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001D_u).$$

5. Уточняются значения квалитетов вала и отверстия. Если выполняется условие

$$TS \leq \sqrt{IT_m^2 + IT_{m+1}^2},$$

то квалитет вала равен m , а отверстия $m + 1$. В противном случае оба квалитета равны m .

Проектная процедура 3 выполняет формирование стандартных посадок по методу максимума-минимума [4]. В качестве входных данных задается система, в которой образуется посадка, т.е. система вала, при которой фиксируется основное отклонение вала h , или система отверстия, когда фиксируется основное отклонения отверстия H .

Процедура 3. Выбор стандартной посадки

1. Для каждой из систем генерируется последовательность стандартных посадок с выбранными квалитетами вала и отверстия. Для посадок с зазором в системе вала формируются посадки от **A/h** до **H/h** или от **H/a** до **H/h** в системе отверстий. Для переходных посадок в системе вала формируются посадки от **Js/h** до **N/h** или от **H/js** до **H/n** в системе отверстий. Для посадок с натягом в системе вала формируются посадки от **P/h** до **Z/h** или от **H/p** до **H/z** в системе отверстий.

2. Для каждой из сформированных посадок определяются значения предельных зазоров и натягов по следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} S_{\min}^p &= \frac{ES + EI}{2} - \frac{es + ei}{2} - 3\sigma_s; \\ S_{\max}^p &= \frac{ES + EI}{2} - \frac{es + ei}{2} + 3\sigma_s; \\ N_{\min}^p &= \frac{es + ei}{2} - \frac{ES + EI}{2} - 3\sigma_s; \\ N_{\max}^p &= \frac{es + ei}{2} - \frac{ES + EI}{2} + 3\sigma_s, \end{aligned} \right\}$$

где EI , ES – верхнее и нижнее предельные отклонения отверстия от номинального размера, ei , es – верхнее и нижнее предельные отклонения вала от номинального размера, σ_s – среднее квадратическое отклонение (СКО) допуска посадки, которое для нормального закона распределения вычисляется из выражения $TS = 6\sigma_s$.

3. Выполняется проверка сформированных посадок на соответствие заданным требованиям, т.е. стандартная посадка считается допустимой при выполнении следующих условий:

- в посадке с зазором расчетные предельные зазоры $S_{\min}^p$, $S_{\max}^p$ будут располагаться в диапазоне $[S_{\min}, S_{\max}]$;
- в посадке с натягом расчетные предельные натяги $N_{\min}^p$, $N_{\max}^p$ будут располагаться в диапазоне $[N_{\min}, N_{\max}]$;
- в переходной посадке расчетные максимальные зазор $S_{\max}^p$ и натяг $N_{\max}^p$ не будут превышать заданных $S_{\max}$ и $N_{\max}$ соответственно.

4. Если допустимых посадок нет, то производится обращение к проектной процедуре 4, с помощью которой осуществляется итерационное уточнение значений полей допусков вала и отверстия.

5. Выбор посадки. Среди совокупности полученных допустимых посадок в первую очередь выбираются *предпочтительные* посадки, потому что для их реализации разработаны типовые технологические процессы. В случае отсутствия таких посадок следует выбирать *рекомендуемые*, поскольку они также экономически целесообразны. В последнюю очередь следует использовать *стандартные* посадки, не включенные в первые две группы, так как для их реализации зачастую требуется разрабатывать дополнительные техпроцессы, что делает производство более дорогим.

Процедура 4. Уточнение стандартной посадки

1. Уменьшается на единицу квалитет вала или отверстия, определенный в процедуре 2, т.е. повышается точность соединения. Причем в случае, если квалитеты были равны, уменьшается квалитет вала, иначе – квалитет отверстия берется равным квалитету вала.

2. Выполняются пункты 1 и 2 процедуры 3 для генерации последовательности стандартных посадок с измененным квалитетом вала или отверстия.

3. Для каждой полученной посадки, удовлетворяющей требованиям п. 3 процедуры 3, вызывается проектная процедура 1 и определяются расчетные значения зазоров $S_{\min}^p$, $S_{\max}^p$, натягов $N_{\min}^p$, $N_{\max}^p$ и допуска TS_p .

4. Посадка считается допустимой, если в совокупности из n значений Δi имеется не менее 99,73 % величин, удовлетворяющих заданным требованиям по точности, т.е. только лишь в 2-3 случаях из 1000 не выполняется условие

$$TS_p < TS.$$

5. Среди всех допустимых стандартных посадок выбирается наиболее технологичная в следующей последовательности: предпочтительная, рекомендуемая, стандартная.

Практическая часть

Предложенные процедуры были реализованы в составе электронного справочника по ЕСДП. Он включает ряд подсистем, основными из которых являются информационно-справочная подсистема, подсистема визуализации и расчетная подсистема.

Информационно-справочная система обеспечивает как систематическое представление теоретического материала, так и контекстный поиск по следующим разделам.

1. Термины и определения (валы; отверстия; размеры; предельные отклонения; основные отклонения).

2. Допуски (калитеты; образования допусков; расчет полей допусков; условные обозначения полей допусков; предпочтительные поля допусков; дополнительные поля допусков).

3. Посадки (зазоры; натяги; образование посадок; условные обозначения посадок; предпочтительные посадки; рекомендуемые посадки).

4. Подшипники качения (классы точности; поля допусков; посадки).

5. Предельные калибры (рабочий калибр; контрольный калибр; поля допусков калибров).

Пример вывода контекстной справочной информации по термину «Посадки» приведен на рисунке 1.

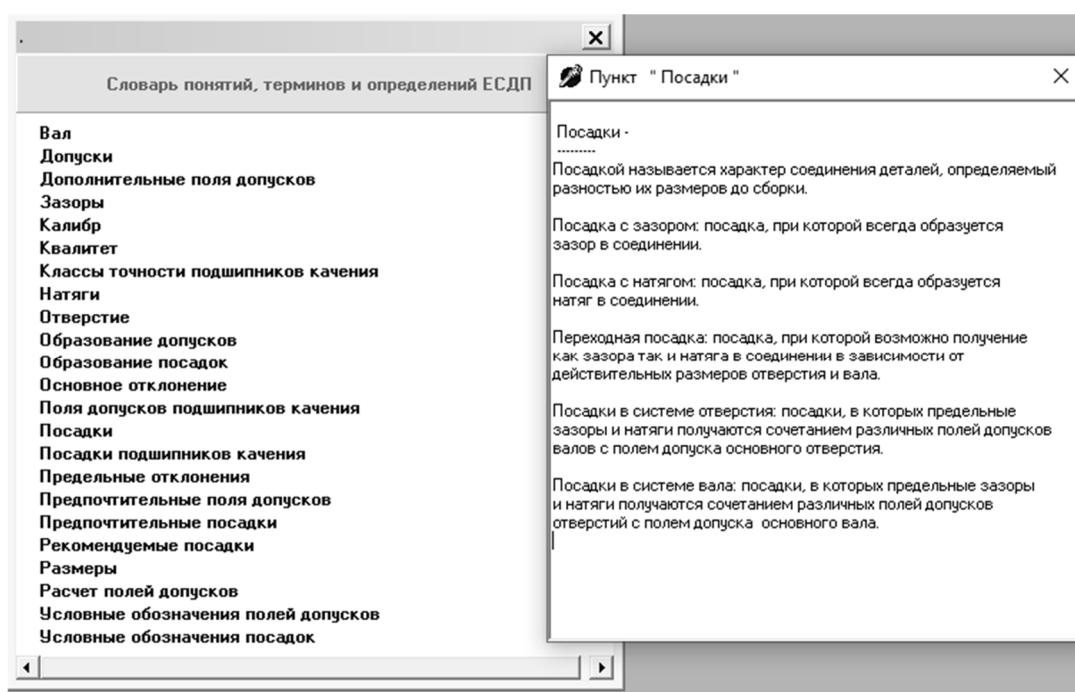


Рисунок 1 – Пример отображения справочной текстовой информации
Figure 1 – Example of displaying reference text information

Подсистема визуализации предназначена для отображения на экране дисплея справочной графической информации в рамках указанных выше разделов по следующим темам: основные отклонения ЕСДП; виды посадок ЕСДП; примеры посадок ЕСДП; поля допусков и по-

садок ЕСДП; поля допусков валов и корпусов подшипников качения; расположение полей допусков калибров; связь основного отклонения с посадками. Пример отображения графической информации представлен на рисунке 2.

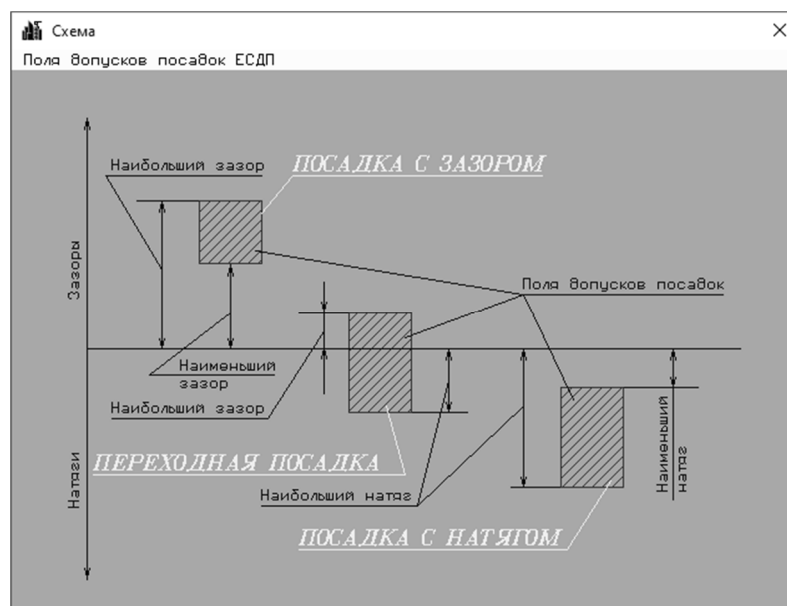


Рисунок 2 – Пример отображения справочной графической информации по посадкам
Figure 2 – Example of displaying reference graphic information on fits

Кроме того, подсистема визуализации позволяет отобразить схемы полей допусков соединений, полученных в результате вычислений при решении практических конструкторских задач. Пример построения и отображения схемы полей допусков для посадки $\varnothing 50$ H7/g6 показан на рисунке 3.

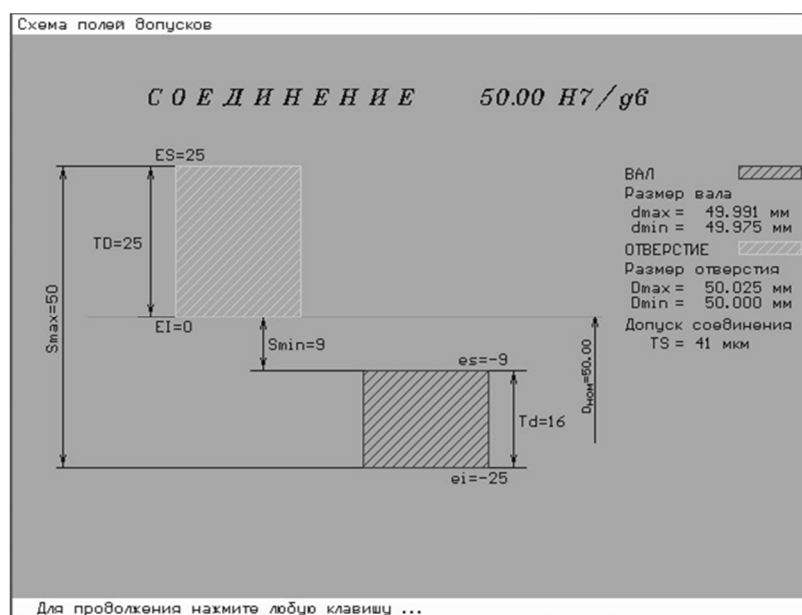


Рисунок 3 – Отображение схемы полей допусков
Figure 3 – Displaying the tolerance field diagram

Расчетная подсистема справочника имеет четыре режима работы: допуски; зазоры; подшипники; калибры.

В режиме «Допуски» решается задача вычисления величины допуска TS , предельных зазоров (S_{max} , S_{min}) или натягов (N_{max} , N_{min}) соединения, а также допусков, верхних и нижних отклонений, предельных размеров валов и отверстий. Исходными данными являются: номи-

нальный размер соединения; условные обозначения полей допусков вала и отверстия и законы распределения этих допусков. Если законы распределения допусков вала и отверстия являются равномерными, то расчет производится методом минимума-максимума по стандартным формулам ЕСДП [1, 2]. В том случае, когда эти законы одновременно являются нормальными, расчет производится вероятностным методом с учетом поправочных коэффициентов [4]. Во всех других ситуациях применяется метод статистического моделирования, реализованный в виде проектной процедуры 1. Пример определения параметров соединения приведен на рисунке 4.

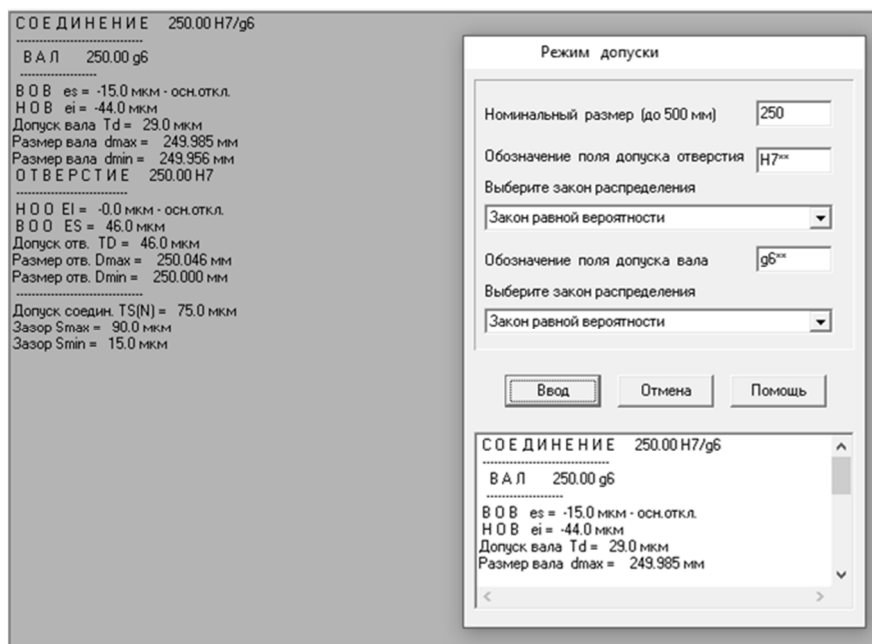


Рисунок 4 – Диалоговое окно расчета параметров соединения
Figure 4 – Connection parameters calculation dialog box

В режиме «Зазоры» выбираются стандартные посадки, удовлетворяющие следующим исходным данным: номинальный размер соединения и его предельные зазоры (натяги), система образования посадок, законы распределения допусков вала и отверстия. При вычислениях для предварительного определения квалитетов вала и отверстия используется проектная процедура 2. Для нормального закона распределения допусков вала и отверстия для выбора стандартной посадки используется проектная процедура 3. В противном случае используется проектная процедура 4. Пример выбора посадок представлен на рис. 5, где показано, что заданным требованиям (исходным данным) соответствуют две посадки $\varnothing 35$ E6/h6 и $\varnothing 35$ E7/h5.

Кроме двух основных режимов «Допуски» и «Зазоры» в расчетной подсистеме реализованы два дополнительных режима – «Подшипники» и «Калибры».

В режиме «Подшипники» по номинальным размерам внутреннего и наружного колец подшипника качения, его класса точности и заданных полей допусков вала и отверстия определяются следующие параметры соединений наружного кольца с корпусом и внутреннего кольца с валом: допуски соединений, предельные зазоры и натяги. Расчеты проводятся методом полной взаимозаменяемости по формулам [9]. Пример расчета параметров соединений приведен на рисунке 6, где также показана возможность использования контекстной справочной информации при работе в этом режиме.

Режим «Калибры» используется для расчета полей допусков калибров-скоб, калибров-пробок и контрольных калибров, которые используются для контроля изготовления деталей. Расчеты проводятся методом полной взаимозаменяемости по формулам [10]. В этом режиме по номинальному размеру детали, условному обозначению ее допуска и типу калибра определяются параметры контролируемой детали (допуск, верхнее и нижнее отклонения, пре-

дельные размеры), исполнительные размеры калибра (минимальный и максимальный проходной стороны, минимальный и максимальный непроходной стороны, проходной изношенный, определяющий границы износа). Схема расположения полей допусков калибров для контроля отверстия показана на рисунке 7, а пример расчета характеристик контролируемого отверстия и соответствующего калибра-пробки приведен на рисунке 8.

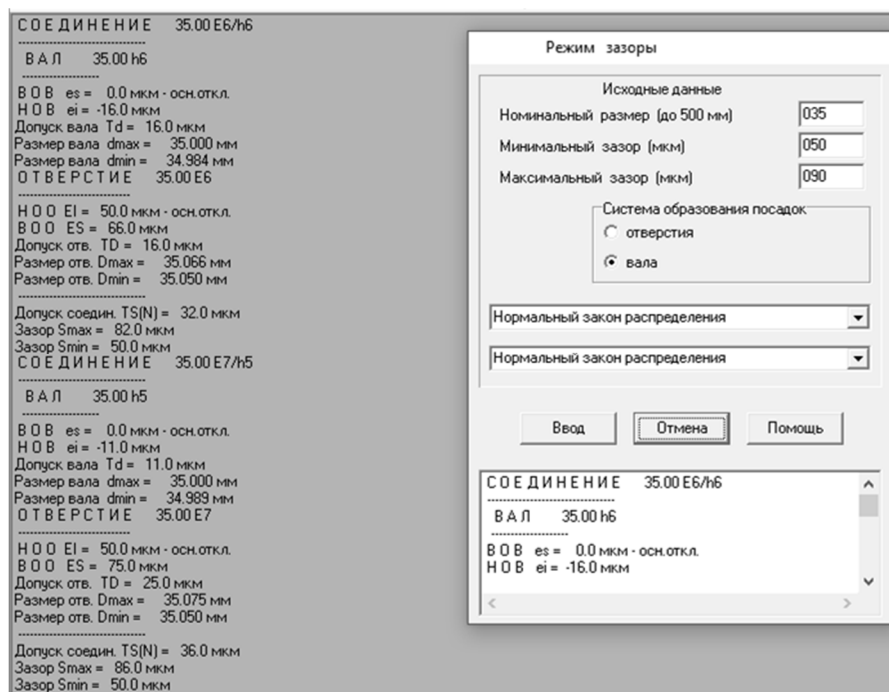


Рисунок 5 – Диалоговое окно выбора посадки

Figure 5 – Fit selection dialog box

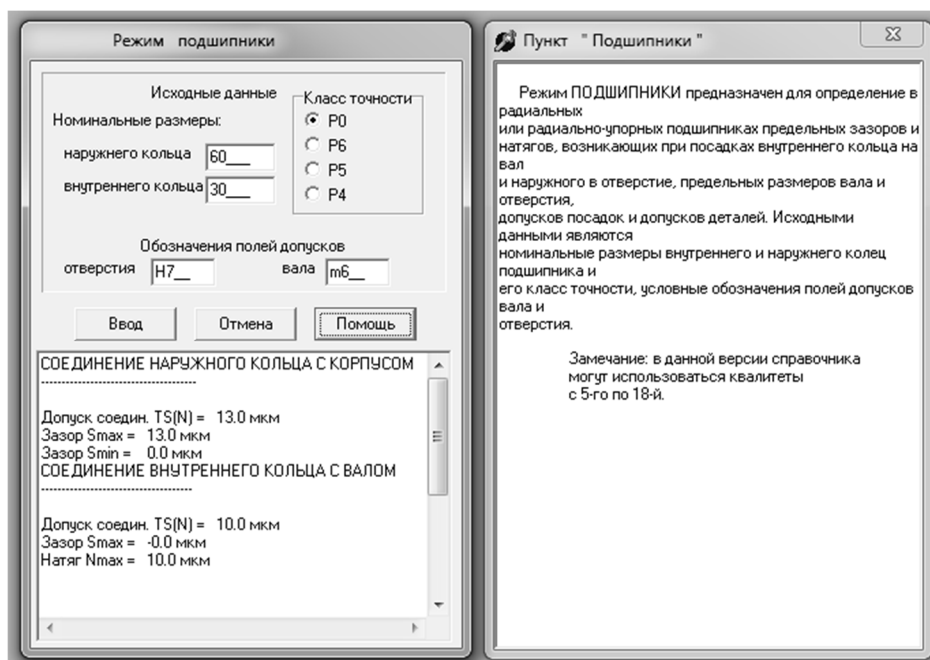


Рисунок 6 – Параметры соединений подшипника качения и справочная информация

Figure 6 – Rolling bearing connection parameters and reference information

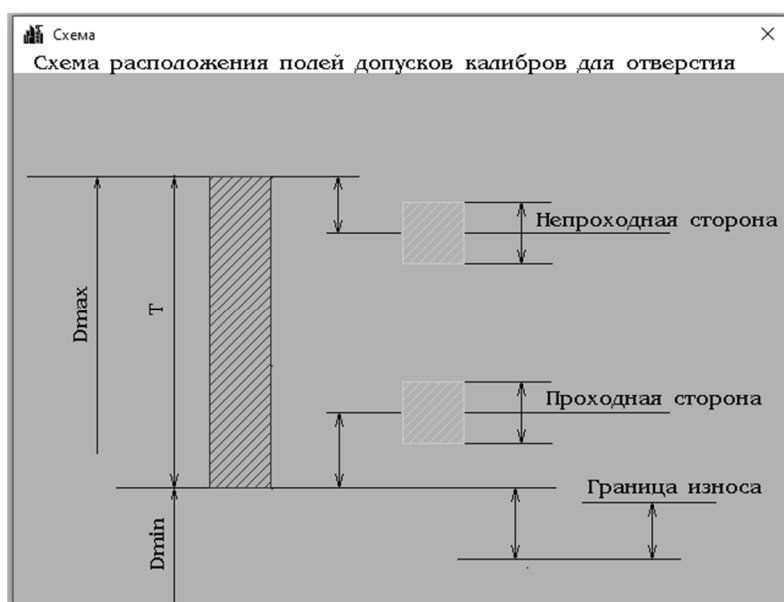


Рисунок 7 – Справочная графическая информация по допускам предельных калибров
Figure 7 – Reference graphic information on tolerances of limit calibers

КАЛИБР-ПРОБКА

ОТВЕРСТИЕ 250.00 G7

НО О EI = 15.0 мкм - осн.откл.
ВО О ES = 61.0 мкм
Допуск отв. TD = 46.0 мкм
Размер отв. Dmax = 250.061 мм
Размер отв. Dmin = 250.015 мм

Исполнительные размеры калибра для контроля отверстия 250.00 G7

Дном = 250.00 мм
Р-ПРmax = 250.02700 мм
Р-ПРmin = 250.01700 мм
Р-ПРизн = 250.01200 мм
Р-НЕmax = 250.06300 мм
Р-НЕmin = 250.05300 мм

Режим калибры

Тип калибра
☒ пробка
☐ скоба
☐ контрольный

Номинальный размер 250.0

Обозначение поля допуска G7

Ввод Отмена Помощь

КАЛИБР-ПРОБКА

ОТВЕРСТИЕ 250.00 G7

НО О EI = 15.0 мкм - осн.откл.
ВО О ES = 61.0 мкм
Допуск отв. TD = 46.0 мкм
Размер отв. Dmax = 250.061 мм
Размер отв. Dmin = 250.015 мм

Исполнительные размеры калибра для контроля отверстия 250.00 G7

Дном = 250.00 мм

Рисунок 8 – Диалоговое окно расчета параметров предельного калибра
Figure 8 – Dialog box for calculating limit calibre parameters

Заключение

На основе представленного в работах [4, 5] теоретического материала предложены проектные процедуры для решения конструкторских задач по определению допусков деталей (валов и отверстий) и их посадок (прямая и обратная задачи). Эти процедуры интегрированы в электронный справочник по ЕСДП, применение которого позволяет автоматизировать процесс проектирования электромеханических устройств при расчете параметров их деталей, узлов, компонентов, а также обеспечивает оперативный доступ к справочной информации по ЕСДП (стандартам ISO 286–1:2010, ISO 286–2:2010) как при решении практических конструкторских задач квалифицированными пользователями, так и в процессе освоения учебных дисциплин соответствующего профиля [11].

Дальнейшее развитие электронного справочника возможно в следующих направлениях:

- расчет параметров соединений, которые не относятся по форме сопряжения к гладким цилиндрическим поверхностям, например соединения зубчатых колес, резьбовые и шпоночные соединения;
- адаптация проектных процедур статистического моделирования с учетом специфики производства, когда рассеяние размеров деталей не подчиняется основным законам распределения допусков;
- обобщение предложенных проектных процедур для размерного анализа конструкций изделий (расчет размерных цепей).

Библиографический список

1. ISO 286-1:2010. Geometrical Product Specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes – Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/gost-25346-89.pdf> (дата обращения 02.04.23).
2. ISO 286-2:2010. Geometrical Product Specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes – Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/gost-25347-82.pdf> (дата обращения 02.04.23).
3. Анухин В. И. Допуски и посадки. СПб.: Питер, 2008. 207 с.
4. Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М. Допуски, посадки и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 325 с.
5. Сковорцов С. В., Сковорцова Т. С., Хрюкин В. И. Методика вероятностных расчетов допусков и посадок для САПР механических конструкций // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 48. С. 134-136.
6. Сковорцов С. В., Сковорцова Т. С., Хрюкин В. И. Выбор стандартных посадок с учетом вероятностного характера параметров соединений для САПР механических конструкций // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 61. С. 32-39.
7. Основы компьютерного моделирования систем / Д. Е. Артемкин, В. В. Баринев, Г. В. Овечкин, И. М. Степнов; под ред. А. Н. Пылькина. М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. 152 с.
8. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
9. ГОСТ 3325-85 Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. М.: Издательство стандартов. 1985. 104 с.
10. ГОСТ 24853-81 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. М. Издательство стандартов. 1981. 14 с.
11. Сковорцов С. В., Митрошин А. А., Кузнецов А. А., Сковорцова Т. С. Моделирование и оптимизация процессов освоения учебных дисциплин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 69. С. 110-122.

UDC 004.94:006.78

DETERMINATION OF MATING PARTS PARAMETERS FOR SMOOTH CYLINDRICAL JOINTS BASED ON STATISTICAL MODELING

S. V. Skvortsov, Dr. Sc. (Tech.), full professor, RSREU, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0001-9495-4953, e-mail: s.v.skvor@gmail.com

V. I. Khryukin, Ph. D. (Tech.), associate professor, RSREU, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0002-7736-115X, e-mail: vi_x@mail.ru

T. S. Skvortsova, Ph. D. (Tech.), lecturer, Academy of the FPS of Russia, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0001-7504-5973, e-mail: t.s.skvortsova@yandex.ru

The interrelated tasks of determining the parameters of mechanical components of structures are considered, taking into account the probabilistic nature of mating parts dimensions. The aim of the work is to

develop design procedures that ensure determination of tolerances in parts connection (direct task) and the selection of standard fits that meet the requirements for the accuracy of mating elements connection (inverse task). When developing design procedures, standard calculation methods and original approaches based on statistical modeling of mating parts dimensions to determine their maximum dimensions and connection parameters were used. On the basis of the proposed design procedures, an electronic reference book on the System of Fits and Tolerances has been developed. Its application provides the user with reference data according to the standards of the System of Fits and Tolerances, and also allows automating the solution of direct and inverse problem of determining mating parts parameters for smooth cylindrical joints, including limit calibres and rolling bearings, during electromechanical devices design.

Key words: CAD/CAM systems, statistical modeling, tolerances and fits, standard fits, clearances and interferences, fit tolerance, standard tolerance grade, fits of rolling bearings and limit calibres.

DOI: 10.21667/1995-4565-2023-85-117-127

References

1. ISO 286-1:2010. Geometrical Product Specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/gost-25346-89.pdf> (data obrashhenija 02.04.23).
2. ISO 286-2:2010. Geometrical Product Specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/gost-25347-82.pdf> (data obrashhenija 02.04.23).
3. **Anuhin V. I.** *Dopuski i posadki*. (Tolerances and fits), St. Petersburg, Piter, 2008, 207 p. (in Russian).
4. **Jakushev A. I., Voroncov L. N., Fedotov N. M.** *Dopuski, posadki i tehnicheckie izmerenija*. (Tolerances, fits and technical measurements), Moscow, Mashinostroenie, 1987, 325 p. (in Russian).
5. **Skvortsov S. V., Khryukin V. I., Skvortsova T. S.** Metodika verojatnostnyh raschetov dopuskov i posadok dlja SAPR mehanicheskikh konstrukcij. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2014, no. 48, pp. 134-136 (in Russian).
6. **Skvortsov S. V., Khryukin V. I., Skvortsova T. S.** Vybor standartnyh posadok s uchetom verojatnostnogo haraktera parametrov soedinenij dlja SAPR mehanicheskikh konstrukcij. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 61, pp. 32-39 (in Russian).
7. **Osnovy komp'juternogo modelirovanija system**. (The basics of systems computing modeling) / D. E. Artemkin, V. V. Barinov, G. V. Ovechkin, I. M. Stepanov; Pod red. A. N. Pyl'kina. Moscow, Laboratorija bazovyh znaniy, 2004, 152 p. (in Russian).
8. **Ventcel' E. S., Ovcharov L. A.** *Teorija verojatnostej i ee inzhenernye prilozhenija*. (Probability theory and its engineering applications), Moscow, Vysshaja shkola, 2000, 480 p. (in Russian).
9. **GOST 3325-85**. *Podshipniki kachenija. Polja dopuskov i tehnicheckie trebovanija k posadochnym poverhnostjam valov i korpusov. Posadki*. (Rolling bearings. Tolerance fields and technical requirements for the landing surfaces of shafts and housings. Fits), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1985, 104 p. (in Russian).
10. **GOST 24853-81**. *Kalibry gladkie dlja razmerov do 500 mm. Dopuski*. (The calibers are smooth for sizes up to 500 mm. Tolerances), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1981, 14 p. (in Russian).
11. **Skvortsov S. V., Mitroshin A. A., Kuznetsov A. A., Skvortsova T. S.** Modelirovanie i optimizacija processov osvoenija uchebnyh disciplin. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2019, no. 69, pp. 110-122 (in Russian).