

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Рыбинский государственный авиационный  
технический университет  
имени П. А. Соловьева»  
(РГАТУ имени П. А. Соловьева)

Ректор федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования  
«Рыбинский государственный  
авиационный технический  
университет имени П. А. Соловьева»

В. И. Кошкин

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,  
Ярославская обл., 152934.  
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.  
E-mail: [root@rsatu.ru](mailto:root@rsatu.ru)

2022 г.

26.10.2022

№ 0803/3829



### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

**Хвощевской Любови Фёдоровны**

«Повышение собираемости изделий машиностроения на основе конфигурационной модели размерной цепи», представленную на соискание учёной степени

кандидата технических наук

по специальности 2.5.6. Технология машиностроения

**Актуальность работы.** Диссертационная работа Хвощевской Любови Фёдоровны посвящена изучению важной и сложной проблемы обеспечения собираемости изделий машиностроения с учётом допусков расположения. На современном этапе развития машиностроительного производства задача повышения точности расположения критических элементов сборочных единиц с учётом взаимосвязанного влияния допусков компонентов является чрезвычайно актуальной. Это объясняется тем, что высокие требования, предъявляемые к изделиям, а также большая конкуренция на рынке требуют новых эффективных подходов к обеспечению качества изделий. Традиционный подход к изучению пространственных размерных связей изделий с учётом допусков использует линейные модели, аппарат матриц и обладает целым рядом недостатков, в частности, предполагает независимое назначение угловых и размерных допусков на относительное расположение поверхностей. Это с одной стороны, увеличивает стоимость изготовления вследствие ужесточения допусков. С другой стороны, отсутствие пространственной целостности представления изделия при описании его размерными цепями по каждой координатной оси может привести к браку в изделии.

Возможность обеспечения точности ответственных связей изделия в процессе его сборки и предсказуемости результата сборки с учётом допусков уже на ранних стадиях разработки является

крайне важной задачей как для повышения конкурентоспособности изделия, минимизации затрат трудовых, материальных и энергетических ресурсов, так и для сокращения сроков запуска изделия. В связи с этим диссертационное исследование Хвощевской Л.Ф. является, безусловно, актуальным и имеет несомненную научную ценность в решении проблемы обеспечения собираемости изделий машиностроения.

**Научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования.** В ходе решения поставленных задач Хвощевская Л.Ф. получила ряд новых научных данных. Наиболее значимыми являются следующие результаты. Во-первых, в работе введено понятие конфигурационной цепи (КРЦ) изделия и разработан подход к анализу пространственных размерных связей в изделиях машиностроения с учётом допусков расположения на её основе. Во-вторых, для получения аналитической модели конфигурационной размерной цепи, её расчётных формул используется аппарат бикватернионов.

В третьих, впервые предложено точность геометрической характеристики расположения критического элемента изделия аналитически определять двумя параметрами: величиной кумулятивной допустимой ошибки эйлера поворота конечного звена КРЦ и величиной кумулятивной допустимой ошибки месторасположения конечной точки цепи, а допуск расположения элемента изделия геометрически представлять двумя векторами: вектором допустимой кумулятивной ошибки перемещения конечной точки КРЦ и вектором допустимой кумулятивной ошибки эйлера поворота конечного звена.

В-четвертых, диссертантом получены аналитические (необходимые) условия точности с учетом технических требований к расположению геометрических элементов деталей в трёхмерном пространстве.

В-пятых, диссертантом впервые для повышения точности расположения критического элемента изделия в трёхмерном пространстве обоснована целесообразность использования при анализе различных подходов к оценке угловых отклонений геометрических элементов компонентов сборки, входящих в КРЦ.

В-шестых, обосновано влияние коррелированности выходных параметров анализа на точность прогнозирования при оценке доли бракованных сборок на основе результатов анализа.

Диссертационное исследование Хвощевской Л.Ф. характеризуется несомненной научной ценностью. Полученные результаты вносят значительный вклад в развитие теории и практики проведения размерного анализа изделий машиностроения с учётом допусков расположения, а также в решение проблемы обеспечения собираемости. Одновременно, полученные результаты позволяют с новых позиций подходить к проектированию изделий и оценке их качества, поскольку учитывают динамическую и кумулятивную природу отклонений в расположении ключевых контрольных точек критических геометрических элементов сборочных единиц в отличие от существующего на сегодняшний день статического подхода.

Следует также отметить, что разработанный в диссертации Хвашевской Л.Ф. подход к размерно-точностному анализу изделий машиностроения обладает рядом преимуществ, позволяющих обеспечить качество изделий, собираемость, снижение затрат на изготовление: 1) возможность комплексного учета в анализе пространственных отклонений расположения компонентов изделия и кинематических связей; 2) КРЦ сборки создает единую платформу для взаимодействия инженеров-конструкторов и инженеров-технологов, а также для управления точностью ключевых геометрических характеристик расположения элементов изделия на протяжении его жизненного цикла; 3) возможность использования различных методов достижения точности расположения конечного звена КРЦ (метода «максимума-минимума», статистического (вероятностного метода)); 4) возможность учесть геометрию деталей изделия в анализе, а также возможность геометрической интерпретации результатов анализа на основе КРЦ; 5) возможность оптимизации и синтеза допусков на основе КРЦ.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы к включению в курсы лекций по размерному анализу, а также при подготовке НКР. Кроме того, они могут быть использованы в конструкторских бюро предприятий при проектировании изделий.

**Степень обоснованности, достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.** Основные положения и выводы диссертационной работы Хвашевской Л.Ф., выносимые на защиту, являются обоснованными результатами диссертационного исследования с корректным использованием математического моделирования и аппарата бикватернионов, а также методов технологии машиностроения, теории вероятностей, теории механизмов и машин, теории метрологии и стандартизации. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях. Достоверность результатов исследования никаких сомнений не вызывает.

**Анализ содержания работы.** Диссертационная работа Хвашевской Л.Ф. написана хорошим литературным языком, изложена на 138 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырёх глав, заключения и библиографического списка. Список литературы включает 134 источника.

Во введении автор обосновывает актуальность и степень разработанности выбранной темы исследования, формулирует цель и задачи исследования.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору перспективных направлений в решении проблемы обеспечения собираемости изделий машиностроения, а также изучению современного состояния проблемы пространственного размерного анализа сборочных единиц с учётом допусков. Теоретически обосновано, что для проведения полноценного анализа и получения объективных результатов необходимо иметь возможность учёта кумулятивного эффекта погрешностей геометрических элементов деталей, входящих в изделие, в ключевых геометрических характеристиках критических элементов сборки. В этой же главе установлено, что для обеспечения точности замыкающего звена размерной цепи в случае крупносерийного производства целесообразно использовать расширенное практическое поле рассеивания размера замыкающего звена.

Содержание введения и первой главы свидетельствует о хорошем знании диссертантом современного состояния решаемой научной проблемы.

Во второй главе разработаны необходимые (аналитические) условия для обеспечения точности расположения геометрических элементов изделия в трёхмерном пространстве для следующих технических требований: перпендикулярность линии (оси) относительно комплекта баз; перпендикулярность линии (оси) относительно базовой плоскости; параллельность плоскости относительно базовой плоскости; точность угла между плоскостями; точность позиции точки относительно комплекта баз; точность позиции линии относительно комплекта баз; соосность оси относительно базовой оси. Эти результаты имеют существенное значение в анализе точности с точки зрения их практического использования, поскольку обеспечивают возможность учёта в анализе общих технических требований к расположению геометрических элементов изделия в трёхмерном пространстве, а также учёта взаимосвязей и взаимовлияний размерных и угловых отклонений геометрических элементов изделия.

В третьей главе проведён анализ источников погрешностей в изделиях машиностроения, дана классификация погрешностей сборки и установлена их взаимосвязь. Также в этой главе разработаны математические инструменты для проведения размерного анализа сборок с учётом допусков расположения. Введено понятие конфигурационной размерной цепи (КРЦ) изделия, разработана её аналитическая модель и расчётные формулы с использованием аппарата бикватернионов, а также разработана оценка точности расположения конечного звена КРЦ. Допустимые отклонения расположения аналитически определены величиной кумулятивной допустимой ошибки перемещения конечной точки КРЦ и величиной кумулятивной допустимой ошибки эйлера поворота конечного звена КРЦ. Допуск расположения элемента изделия геометрически представлен вектором допустимой кумулятивной ошибки перемещения конечной точки КРЦ и вектором допустимой кумулятивной ошибки эйлера поворота конечного звена.

В этой же главе Хвашевской Л.Ф. обоснованы различные способы (нелинейный и линеаризованный) оценки угловых отклонений геометрических элементов изделий. Кумулятивный эффект угловых отклонений компонентов, как и размерных отклонений, проявляется в ключевых геометрических характеристиках расположения элементов изделий и, в конечном итоге, приводит к браку. Использование нелинейных оценок отклонений ориентации компонентов обеспечит получение объективных результатов анализа точности и является чрезвычайно важным для обеспечения качества сборки с большим количеством угловых отклонений геометрических элементов.

В этой же главе изучается влияние корреляции выходных точностных параметров на качество и объективность в прогнозировании доли бракованных сборок по результатам анализа на основе КРЦ в предположении нормального закона распределения параметров. При этом установлено, что ошибка прогноза возрастает при увеличении коэффициента корреляции, но снижается при расширении области рассеивания.

Технология пространственного размерного анализа сборок с учётом допусков расположения компонентов на основе конфигурационной размерной цепи, а также её практическая реализация представлены в четвёртой главе. Также в этой главе диссертант рассматривает размерно-точностной анализ изделий с учетом допусков расположения на основе КРЦ методом «наихудшего случая» с целью повышения их собираемости для двух примеров: сборки, состоящей из шести однотипных прямоугольных пластин, и сборочной единицы типа «вал-втулка» детали «Каретка».

Материал всех глав диссертационного исследования изложен ясно и последовательно с убедительными новыми обоснованными теоретическими и практическими результатами.

Заключение диссертационной работы содержит 12 выводов, которые чётко сформулированы, и полностью отражают полученные результаты, а также рекомендации и перспективные направления развития темы.

**Общая оценка работы и её соответствие требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.** Диссертация Хвощевской Л.Ф. представляет собой важное, интересное и профессионально выполненное исследование, соответствующее статусу научно-квалификационного труда. Полученные в диссертационной работе результаты отражены в 7 публикациях, включенных в перечень ВАК РФ и рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Результаты диссертационного исследования докладывались на 7 научных конференциях всероссийского и международного значения, что говорит о должном уровне апробации.

#### **Замечания по содержанию диссертации.**

1. В работе содержится значительное количество неточностей, некорректных высказываний и т.п. Например: «Брак в изделии может быть обусловлен рядом факторов, среди которых... тепловые деформации деталей под действием остаточных напряжений в их материале.» - с. 13; «допуск параллельности представляет собой дугу» - с. 28.

Рис. 1.3 на с. 23 и его описание на с. 31 не соответствуют друг другу.

На с. 70 читаем: «На рисунке 3.5 показан пример пространственной размерной цепи», а подпись к рис. 3.5 на с. 78 гласит: «Два способа оценивания отклонений ориентации».

При описании конструкторской подготовки производства на с. 93-94 перепутана последовательность этапов.

2. На с. 34 утверждается: «Точность и настроенность технологического процесса считается идеальными, если поле рассеяния совпадает с полем допуска. В этом случае доля брака не превышает 0,27%. Если поле рассеяния располагается внутри поля допуска, то это значит, что точность процесса завышена и является экономически невыгодной.»

В соответствии с современными взглядами, с учетом неконтролируемых отклонений, неизбежных при выполнении технологических процессов, теоретический уровень дефектности составит в этом случае 6,68% (66800 дефектов на 1.000.000 возможностей). Рекомендованное же соот-

ношение между полем допуска и полем рассеяния составляет 1,3, а для процессов «б σ» этот показатель вообще равен 2.

3. Не ясно, зачем нужна приведенная на с. 69 классификация источников погрешностей сборки на производственные и контактные, противоречащая приведенной на с. 13 общепринятой классификации.

**Заключение.** Диссертационная работа Хвашевской Любови Фёдоровны «Повышение собираемости изделий машиностроения на основе конфигурационной модели размерной цепи» является самостоятельным завершённым научным трудом, выполненном на высоком научно-методическом уровне. Проведённое исследование и полученные результаты представляют большой интерес для решения важной проблемы, стоящей перед современным машиностроением, – создания качественных и конкурентоспособных изделий машиностроения с минимальными затратами труда и ресурсов.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, степени достоверности результатов исследования и объёму диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. (в ред. от 1 октября 2018 г., с изменениями от 26 мая 2020 г.), а её автор – Хвашевская Любовь Фёдоровна – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения и единогласно одобрен.

Отзыв обсужден на заседании кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева, протокол № 4 от 21 октября 2022 г.

Заведующий кафедрой «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения»  
кандидат технических наук, доцент  
Профессор кафедры  
доктор технических наук, профессор



Кордюков А. В.



Безязычный В. Ф.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева».  
Адрес: 152934, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53.  
тел. +7 (4855) 280-470 **E-mail:** [root@rsatu.ru](mailto:root@rsatu.ru)