

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.307.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22 декабря 2022 г. № 272

О присуждении **Хващевской Любови Фёдоровне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение собираемости изделий машиностроения на основе конфигурационной модели размерной цепи» по специальности 2.5.6. Технология машиностроения принята к защите 30 сентября 2022 г. (протокол заседания № 60) диссертационным советом 24.2.307.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83 (Приказ от 02.11.2012 № 714/нк о создании совета, приказ от 24.03.2021 № 256/нк о возобновлении работы совета).

Соискатель Хващевская Любовь Фёдоровна, 23 декабря 1960 года рождения.

В 1983 году с отличием окончила Иркутский государственный университет им. А.А. Жданова по специальности «Математика». В 2015 году соискатель с отличием освоила программу магистратуры по направлению

15.04.05 - «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», работает программистом в учебно-исследовательской лаборатории «Трёхмерное моделирование и информатизация в машиностроении», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология и оборудование машиностроительных производств», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Журавлёв Диомид Алексеевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», кафедра «Технология и оборудование машиностроительных производств», профессор.

Официальные оппоненты:

**Березин Сергей Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЗабГУ»), кафедра «Технические системы и робототехника», профессор;

**Масягин Василий Борисович**, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ОмГТУ»), кафедра «Технология машиностроения», профессор, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» (ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Соловьева»)**, г. Рыбинск, в своем положительном отзыве, подписанном Кордюковым Алексеем Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом, кафедра «Авиационные двигатели и общее машиностроение», заведующим кафедрой и Безъязычным Вячеславом Феоктистовичем, доктором технических наук, профессором, кафедра «Авиационные двигатели и общее машиностроение», профессором и утвержденном Кошкиным Валерием Ивановичем, доктором физико-математических наук, профессором, ректором ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Соловьева», указала, что диссертационная работа Хвощевской Л.Ф. является **завершенным научным трудом, выполненным на высоком научно-методическом уровне. Проведенное исследование и полученные результаты представляют большой интерес для решения важной проблемы, стоящей перед современным машиностроением, - создание качественных и конкурентоспособных изделий с минимальными затратами труда и ресурсов.** По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, степени достоверности результатов исследования и объему диссертация соответствует требованиям п.9 Положения «О порядке присуждения степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Соискатель имеет 37 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ, в сборниках научных трудов и материалах всероссийских и международных конференций опубликовано 7 работ. Авторский вклад соискателя в научные публикации заключается в проработке известных теоретических и практических опубликованных данных по тематике

диссертации, разработке новых научных теоретических положений, проведении расчётов, оформлении и подготовке материалов к публикации; вклад составляет 90 %. Объем научных статей – 6,44 печатных листа.

В опубликованных работах представлены результаты исследования нового подхода к анализу пространственных размерных связей в изделиях машиностроения с учетом допусков расположения, основанного на использовании конфигурационной модели размерной цепи и бикватернионов, позволяющего повысить собираемость изделий машиностроения.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значительные работы:

1. **Хвощевская, Л.Ф.** Моделирование пространственных допустимых отклонений сборочных единиц с помощью бикватернионов / **Л.Ф. Хвощевская, Д.А. Журавлёв** // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – № 11(22). – С.71-88.

2. **Хвощевская, Л.Ф.** Анализ точности изделий машиностроения для случая параллельно связанных линейных размерных цепей / **Л.Ф. Хвощевская, Д.А. Журавлёв** // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 1(53). – С.48-57.

3. Zhuravlev, D. Ensuring the collection of mechanical engineering products, taking into account the tolerances for computer-aided design in GePARD.3D/ D Zhuravlev, **L Khvashevskaya**, A Shabalin and M Gaer// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 1155. III International Scientific Conference: Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering (MIP – III 2021) 29<sup>th</sup>-30<sup>th</sup> April 2021. Krasnoyarsk.

4. **Хвощевская, Л.Ф.** Статистический анализ точности замыкающего звена плоскостной размерной цепи / **Л.Ф. Хвощевская, Д.А. Журавлёв** // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 9. – С.49-55.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Ведущая организация ФГБОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск.** *Замечания:* 1) В работе имеется много неточностей, некорректных высказываний: а) «брак в изделии может быть обусловлен рядом факторов, среди которых тепловые деформации деталей под действием остаточных напряжений в их материале.» - с. 13; б) «допуск параллельности представляет собой дугу» - с. 28; в) рис. 1.3 на с. 23 и его описание на странице 31 не соответствуют друг другу; г) на с. 70 читаем: «На рисунке 3.5 показан пример пространственной размерной цепи», а подпись к рис. 3.5 на стр. 78 гласит: «Два способа оценивания отклонений ориентации»; д) при описании конструкторской подготовки производства на с. 93-94 перепутана последовательность этапов. 2) На с. 34 утверждается: «Точность и настроенность технологического процесса считаются идеальными, если поле рассеивания совпадает с полем допуска. В этом случае доля брака не превышает 0,27%. Если поле допуска располагается внутри поля допуска, то это значит, что точность процесса завышена и является экономически невыгодной».

В соответствии с современными взглядами, с учётом неконтролируемых отклонений, неизбежных при выполнении технологических процессов, теоретический уровень дефектности составит в этом случае 6,68% (66800 дефектов на 1000000 возможностей). Рекомендованное же соотношение между полем допуска и полем рассеяния составляет 1,3, а для процессов «6 $\sigma$ » этот показатель вообще равен 2.

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

**2. Официальный оппонент Березин Сергей Яковлевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «ЗабГУ», кафедра «Технические системы и робототехника», профессор.** *Замечания:* 1) В первой главе достаточно подробно изучено изменение отклонений размера замыкающего

звена линейной размерной цепи сборки в зависимости от использования различных методов (метода «наихудшего случая», вероятностного метода) достижения точности замыкающего звена и смещений средних значений размеров составляющих звеньев цепи. На мой взгляд, можно было бы изложить этот вопрос короче.

1. Во втором пункте предложенной методики пространственного анализа сборки указывается, что необходимо построить конструкторско-технологический граф сборки. Почему в тексте диссертационной работы не рассматривается вопрос о построении такого графа?

2. В диссертации для анализа пространственных размерных взаимосвязей в изделии с учётом допусков предложен аппарат бикватернионов. В диссертации не указывается в чем преимущества использования в размерном анализе аппарата бикватернионов перед традиционным матричным аппаратом?

3. В тексте диссертации не указано, для каких деталей (жестких или нежестких), составляющих изделие машиностроения, разработан подход к анализу пространственных размерно-точностных связей?

4. В тексте диссертации не указаны достоинства разработанного подхода к анализу пространственных размерных связей в сборках с учётом допусков расположения. Думаю, что это было бы полезным дополнением.

5. В исследованиях не нашли отражения допустимые отклонения формы, биения.

**3. Официальный оппонент Масыгин Василий Борисович**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «ОмГТУ», кафедра «Технология машиностроения», профессор. *Замечания:* 1) Для включения в размерно-точностной анализ допусков ориентации и месторасположения элементов изделий в трёхмерном пространстве получены аналитические условия точности геометрических характеристик расположения. В тексте диссертации не указано, можно ли включить в анализ допуски биения, используя предложенный подход?

1. В тексте диссертации имеются опечатки. Так, например, на стр. 70 указана ссылка на рис. 3.5. Однако этот рисунок не соответствует ей.

2. Думаю, что было бы целесообразным в диссертации указать достоинства предложенного подхода к анализу геометрической точности изделий машиностроения.

3. Было бы полезным в диссертации отразить преимущества использования для автоматизированного размерного анализа сборок аппарата бикватернионов.

#### **Отзывы на автореферат:**

**1. Давыдов Владимир Михайлович**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РИА, кафедра «Технологическая информатика и информационные системы», и.о. заведующего кафедрой, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск. *Замечания:* 1) Из автореферата не видно, каким образом получены результаты, представленные на рис. 2 и 4; 2) Заключение в автореферате носит описательный характер и не подтверждены конкретными данными.

**2. Андросов Иван Александрович**, кандидат технических наук, проректор по производственному развитию и технологиям, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва. *Замечания:* 1) В автореферате на стр. 10-11 сформулированы необходимые аналитические условия точности расположения геометрических элементов изделия в трёхмерном пространстве для двух групп (ориентации и месторасположения) стандартных технических требований. Желательно было бы оценить возможность использования предлагаемого подхода и для случая пользовательских технических требований. 2) Как известно, пространственные отклонения присущи любым инженерным объектам. Хотелось бы, чтобы в автореферате было указано на возможность расширения разработанного подхода к пространственному размерно-точностному анализу изделий машиностроения на другие области.

**3. Гусева Роза Ивановна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Авиастроение», доцент ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре. *Замечания:* 1) Исследование и его результаты ориентированы на цифровое машиностроительное производство. Из автореферата неясно, какими недостатками обладают современные САТ-системы? 2) В автореферате следовало бы отметить, в каких областях (кроме машиностроения) возможно использование разработанного подхода к анализу точности.

**4. Павлов Валентин Фёдорович**, доктор технических наук, профессор, кафедра сопротивления материалов, заведующий кафедрой и **Сургутанов Николай Андреевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра сопротивления материалов, доцент, ФГБОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара. *Замечания:* В работе не учитываются деформации, которые могут возникнуть при контактной сборке деталей и повлиять на точность пространственного расположения ключевых геометрических элементов изделий.

**5. Макаров Владимир Фёдорович**, доктор технических наук, профессор, кафедра «Инновационные технологии машиностроения», профессор и **Плотников Александр Афанасьевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Инновационные технологии машиностроения», доцент, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. *Замечания:* 1) При реализации технологии анализа пространственных размерных связей используются две основные группы погрешностей, в которые входят некоторые производственные и контактные погрешности. Известно, что в реальных производственных условиях, а также при эксплуатации изделий перечень погрешностей гораздо шире, в связи с этим становится затруднительным прогнозировать эксплуатационные свойства изделий. 2) Из автореферата не ясно, было ли автором создано или использовано существующее программное обеспечение для выполнения математических расчётов. Без соответствующего программного обеспечения

практическая реализация разработанной технологии анализа в производственных условиях невозможна.

**6. Шматков Виктор Сергеевич**, заместитель начальника механосборочного производства по техническим вопросам, ИАЗ-филиал ПАО «Корпорация «Иркут»», г. Иркутск. *Замечание:* Желательно было бы вывод № 6 на стр.8 обосновать.

**7. Фершалов Юрий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, Отделение машиностроения, морской техники и транспорта, профессор и **Глушко Елена Владиленовна**, Департамент компьютерно-интегрированных производственных систем, Политехнический институт, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», доцент. *Замечания:* 1) Стр. 6 – не конкретизированы методы, взятые за основу для исследования из теории механизмов и машин, аналитической механики и аналитической геометрии; 2) Стр. 15 – рис. 4 нет обозначений на оси абсцисс, поэтому не понятны какие зависимости рассматриваются; 3) Стр. 15 – рис. 5 недостаточно информативен, осталось неясным, где речь идёт о первом способе, а где о втором; 4) Стр. 17 – относительно примера, приведенного на рис.6 – хотелось бы более подробного описания технологии анализа, а не просто обведения области красной линией.

**8. Радкевич Михаил Михайлович**, доктор технических наук, профессор, Высшая школа машиностроения, Институт материалов, машиностроения и транспорта, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор. *Замечаний нет.*

**Все отзывы положительные.**

В отзывах отмечены актуальность выбранной темы исследования, научная новизна работы, а также практическая и теоретическая значимость проведенного исследования и полученных результатов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области обеспечения качества изделий машиностроения, наличием научных

разработок, публикаций в рецензируемых изданиях по выполненным исследованиям, близким к проблеме работы соискателя, вкладом в развитие данного направления исследований и, таким образом, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также отсутствием совместных проектов, печатных работ.

В качестве примера публикаций, близких к тематике работы соискателя, можно привести следующие работы:

1. Безъязычный, В.Ф. Разработка информационной технологии совершенствования производства деталей и сборки серийного газотурбинного двигателя в рамках концепции «цифрового двойника» / В.Ф. Безъязычный, К.А. Виноградов, О.В. Виноградова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2022. – № 3. – С. 137-144. DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-3-137-144.

2. Nepomiluev, V.V. Improving the manufacture of high-precision machines by assembly modifications/ V.V. Nepomiluev, N.A. Semenov, A.N. Rykunov, V.G. Shuvaev//Russian Engineering Research. – 2019. № 5 (39). – С. 421-435.

3. Березин, С.Я. Групповые методы в анализе схем базирования крепежных резьбовых деталей при автоматической сборке/ С.Я. Березин// Сборка в машиностроении, приборостроении, № 12, 2018. – С. 565-569.

4. Березин, С.Я. Технологические особенности автоматизированной сборки на основе микровинтов/ С.Я. Березин // Сборка в машиностроении, приборостроении, № 9, 2019. – С. 387-392.

5. Масыгин, В.Б. Алгоритмы и программа для компьютерного моделирования конструкции сборочной единицы и технологического маршрута сборки / В. Б. Масыгин, Д. Д. Примаков, И. В. Волков // Естественные и технические науки. – 2019. – № 5. – С. 169-175. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.10

6. Masyagin, V.B. Application of the geometrical models, graphs and elements of robots kinematics as the basic elements of the unified methodology for assurance of accuracy calculating stage in precision axisymmetric products

assembling / V. B. Masyagin, D. D. Primak, I. A. Volkov, R. L. Artykh, R. I. Bazhenov // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1791, no. 1. – P. 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012017.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** новая научная идея использования конфигурационной модели размерной цепи и бикватернионов для проведения пространственного размерного анализа сборки изделий машиностроения, состоящих из жестких деталей, с учётом допусков расположения, позволившая обеспечить точность расположения ключевых контрольных точек критических элементов изделия, **предложены** нетрадиционный подход к включению в пространственный размерный анализ сборки геометрических допусков с учётом общих технических требований к расположению геометрических элементов изделия в трёхмерном пространстве; нетрадиционный подход к аналитическому определению допустимых пространственных отклонений расположения геометрических элементов изделия с помощью двух параметров: величины угла допустимых ошибок истинного эйлера поворота конечного звена конфигурационной размерной цепи и величины конечного перемещения конечной точки конфигурационной размерной цепи, а также к геометрической интерпретации допусков расположения с помощью двух векторов: вектора допустимых ошибок истинного эйлера поворота и вектора конечного перемещения конечного звена конфигурационной размерной цепи сборки; оригинальная идея использовать в анализе бикватернионы.

**доказана** перспективность использования новой научной идеи проведения пространственного размерного анализа сборки с учётом допусков расположения на основе конфигурационной модели размерной цепи изделия и с использованием бикватернионов при решении задачи обеспечения собираемости изделий,

**введены** новые термины: «конфигурационная размерная цепь», «ключевые контрольные точки изделия».

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** научное положение о кумулятивном влиянии двух групп источников погрешностей: производственных и контактных, на расположение ключевой контрольной точки изделия в трёхмерном пространстве, вносящее вклад в расширение представлений о получении брака при сборке,

**применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов использован** комплекс существующих современных методов исследования, трёхмерное математическое моделирование нелинейных пространственных размерно-точностных связей в изделиях машиностроения для установления влияния источников погрешностей на точность расположения ключевых контрольных точек изделия,

**изложены** элементы теории пространственного размерного анализа изделий машиностроения на основе конфигурационной размерной цепи с учётом общих требований к расположению геометрических элементов соединяемых деталей изделия в трёхмерном пространстве,

**раскрыты** существенные проявления теоретических положений механики твердых тел, таких как первая теорема Шаля, вторая теорема Шаля, теорема Эйлера-Даламбера в решении задач достижения точности расположения критических геометрических элементов сборки в трёхмерном пространстве;

**изучены** влияние корреляции выходных точностных параметров, распределенных по нормальному закону, на качество сборки и прогнозирование доли бракованных сборок, а также влияние различных подходов к оценке угловых отклонений: нелинейного, линеаризованного на точность оценки этих отклонений;

**проведена модернизация** размерно-точностного подхода к изучению и анализу пространственных размерных связей в собираемых изделиях машиностроения с учётом допусков.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработана** методика пространственного размерного анализа изделий машиностроения с учётом допусков расположения,

**определены** перспективы использования разработанного подхода к оценке собираемости изделий машиностроения на основе конфигурационной размерной цепи и с использованием бикватернионов для изделий с маложёсткими компонентами, для оптимизации этапа конструкторско-технологической подготовки производства изделий, а также в смежных областях,

**созданы** практические рекомендации по использованию нелинейной и линеаризованной оценок точности угловых отклонений геометрических элементов при использовании разработанной методики пространственного размерно-точностного анализа изделий с учетом допусков расположения, а также созданы и предложены рекомендации по учету корреляции выходных параметров анализа при оценке доли брака,

**представлены** рекомендации по использованию полученных результатов исследования, а также предложения по развитию пространственного размерного анализа изделий с учетом допусков расположения геометрических элементов конструкции на основе конфигурационной размерной цепи изделия и с использованием бикватернионов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ:** результаты исследований подтверждаются расчётами с использованием современных компьютерных вычислительных программ (программный пакет, система компьютерной алгебры Maple (разработчик Waterloo Maple Inc.), Microsoft Excel),

**теория**, построенная на использовании известных научных фактов из основ технологии машиностроения, теории механизмов и машин, фундаментальных положений классической механики, аналитической геометрии, метрологии и стандартизации, теории вероятностей и прикладной статистики, теории векторного анализа, согласуется с проведенными расчётами,

**идея** базируется на научном обобщении передового опыта, анализе теории и практики российских и зарубежных исследователей в области обеспечения качества и собираемости изделий машиностроения,

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации с применением векторного анализа.

**Личный вклад соискателя** состоит в постановке цели, решении задач и проведении всех этапов исследования, в выполнении расчётов, анализа, оценки его результатов и их геометрической интерпретации; подготовке публикаций по выполненным исследованиям; формулировке выводов и рекомендаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- практическая реализация разработанной методики анализа на основе конфигурационной размерной цепи и бикватернионов проведена без использования соответствующего программного обеспечения;
- отсутствует информация об учёте в анализе деформаций, которые могут возникнуть при контактной сборке и повлиять на точность пространственного расположения ключевых геометрических элементов изделий;
- отсутствует информация о возникающих проблемах при эксплуатации изделия «Каретка» и появляющихся возможностях их решения на основе разработанного подхода к пространственному размерно-точностному анализу;

Соискатель Хващевская Любовь Фёдоровна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию на

выказанные замечания, касающиеся практической реализации разработанной методики анализа без использования соответствующего программного обеспечения. Соискатель пояснила, что разработанный подход к пространственному размерно-точностному анализу изделий машиностроения на основе конфигурационной размерной цепи и бикватернионов является инновационным и для него пока не создано программное обеспечение. Соискатель аргументировала, что при создании математических моделей и инструментов для проведения размерно-точностного анализа с учетом допусков предполагалось, что изделия состоят из абсолютно твердых деталей, поэтому деформации не учитывались в анализе. Соискатель пояснила, что, функциональное назначение каретки предполагает её движение по рельсу, при движении возникает заклинивание в узлах «вал-втулка» каретки и обосновала возможные причины проблем, возникающих при эксплуатации сборочной единицы «Каретка». Отметила, что в качестве основных источников проблем в работе каретки является то, что конструкторско-технологическая подготовка производства двухэтапная, то есть, нет единой платформы, на которой инженеры-конструкторы и инженеры-технологи могут решать проблемы назначения допусков на геометрические характеристики расположения элементов изделия при отработке изделия на технологичность. Полноценный размерно-точностной анализ сборок с учетом допусков не проводится, поскольку не учитывается при анализе полный комплекс источников погрешностей в изделии и их кумулятивное влияние на геометрическую точность и его эксплуатационные характеристики. Это связано с тем, что традиционный подход к пространственному размерному анализу предполагает построение трёх размерных линейных цепей в перпендикулярных плоскостях (на каждую степень свободы по одной). Таким образом, не учитываются также в анализе и общие технические требования к расположению геометрических элементов изделия в трёхмерном пространстве, а, следовательно, и взаимосвязь угловых и размерных отклонений конструктивных элементов изделия. Эти причины

