

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ENGINEERING TECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 621.9

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-27-41

**МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СБОРКЕ
ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ОБОБЩЕННОГО
ГРАФА ПОВЕРХНОСТЕЙ****Назарьев Александр Викторович^{1,*}
Бочкарев Петр Юрьевич^{2,3}**¹ Филиал АО «НПЦАП» – «ПО «Корпус»² Камышинский технологический институт – филиал ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»³ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

* для корреспонденции: alex121989@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

25 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 апреля 2025 г.

Опубликована:

26 июня 2025 г.

Ключевые слова:

машиностроительное
производство, высокоточное
изделие, технологическая
подготовка производства,
технологический процесс,
система
автоматизированного
планирования технологических
процессов, обобщенный граф
поверхностей.

Аннотация.

Сборка – заключительный, критически важный этап производства любых машин и приборов, но его значимость многократно возрастает при изготовлении высокоточной продукции. В таких отраслях, как военно-промышленный комплекс, аэрокосмическая промышленность, прецизионное станкостроение и производство подшипников, где допуски измеряются микронами, а от надежности работы зависит жизнь людей или успех дорогостоящих проектов, сборка выходит за рамки простого соединения деталей. Здесь речь идет о высокотехнологичном процессе, требующем предельной точности, особых условий и квалифицированного персонала. Точностные характеристики подобных продуктов зачастую превосходят возможности обрабатывающего оборудования, а существующие методы достижения точности при сборке не обладают достаточной универсальностью и зависят от типа производства. Разрабатываемые подходы для решения указанных проблем также не обладают достаточной универсальностью, т. е. не рассматривают все элементы описанной проблемы комплексно. Кроме того, данные подходы не учитывают связи между технологической подготовкой механообрабатывающего и механосборочного производства. Для совокупного решения данной задачи был разработан комплекс проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки. Однако указанная система требует дальнейшего развития в части установления взаимосвязи между конструкторской и технологической подготовкой многономенклатурного производства и перехода к оценке производственной технологичности, что требует совершенствования методического, математического и алгоритмического обеспечения укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточного изделия. В данной статье подробно рассмотрена методика выявления критичных требований к сборке высокоточных изделий на основе построения обобщенного графа поверхностей. Разработка данной методики позволяет завершить совершенствование методического обеспечения укрупненного блока

проектных процедур и перейти к дальнейшим этапам его модернизации.

Для цитирования: Назарьев А. В., Бочкарев П. Ю. Методика выявления критичных требований к сборке высокоточных изделий на основе построения обобщенного графа поверхностей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 3 (169). С. 27-41. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-27-41, EDN: VJZXTL

Благодарность

Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к материалам статьи и высказанные предложения, которые позволили повысить ее качество.

Введение

Современное машиностроение претерпевает значительные изменения, и его развитие происходит с невероятной скоростью. На сегодняшний день отрасль сталкивается с растущими требованиями к эффективности, производительности и скорости технологической подготовки производства (ТПП). Это связано с необходимостью адаптации к быстро меняющимся условиям рынка и потребностей потребителей изделий. Ключевым фактором конкурентоспособности становится оптимизация всего цикла – от проектирования до выпуска готовой продукции. Это особенно критично для высокотехнологичных отраслей, таких как авиационно-космическая промышленность, производство прецизионных станков, подшипников, микроэлектроники и медицинского оборудования, где точность и качество исполнения являются определяющими факторами. Повышение эффективности ТПП напрямую связано с сокращением сроков разработки, снижением себестоимости продукции и улучшением ее качества [1, 2].

Традиционные методы ТПП, часто основанные на ручном труде и использовании разрозненных программных решений, уже не справляются с современными вызовами. Они характеризуются трудоемкостью, высокой вероятностью ошибок и не позволяют в полной мере использовать потенциал современных цифровых технологий. Для решения обозначенной проблемы необходимо расширение использования современных систем автоматизированного проектирования ТП, учитывающих требования, предъявляемые к сборке изделий, и складывающуюся производственную ситуацию [3, 4]. Кроме того, важно отметить, что при проведении ТПП значительную трудность вызывает необходимость обработки большого объема информации о поступающих для изготовления и сборки деталях и сборочных единицах (ДСЕ). Человек не способен конкурировать с современной вычислительной техникой в вопросах выбора рациональных технологических процессов изготовления и сборки изделий и рационального планирования производственных процессов. Именно поэтому задачу создания

подходов, позволяющих комплексно автоматизировать процессы ТПП, можно считать крайне актуальной.

В последние годы в области инженерного проектирования активно разрабатываются различные методики, направленные на оптимизацию процессов выбора эффективных ТП на этапе ТПП. К примеру, широко применяются принципы параллельной инженерной разработки [5], которые позволяют одновременно вести работы по проектированию и подготовке производства, что значительно сокращает время на внедрение новых технологий и улучшает качество конечного продукта. Также стоит отметить метод сквозного технологического проектирования [6, 7], который обеспечивает интеграцию всех этапов проектирования, начиная от концептуального до детального, что позволяет более эффективно управлять ресурсами и минимизировать риски.

Тем не менее, несмотря на свои преимущества, указанные методики не являются универсальными и имеют определенные ограничения. Одним из основных недостатков является недостаточное внимание к взаимосвязи между технологической подготовкой механообрабатывающего и механосборочного производств. Это приводит к тому, что при разработке ТП не учитываются особенности и требования, связанные с последующим сборочным процессом, что может негативно сказаться на качестве и эффективности конечного продукта.

Анализ публикационной активности иностранных ученых [8-10] также показывает, что данная проблема вызывает значительный интерес в научном сообществе. В частности, многие исследователи предлагают разрабатывать формализованные методы описания отдельных компонентов решаемой задачи, используя традиционные принципы генеративного и вариативного проектирования. Эти подходы позволяют более точно моделировать процессы и учитывать различные варианты технологических решений, что в свою очередь способствует более эффективному выбору оптимального ТП.

В дополнение к этому современные исследования также акцентируют внимание на важности интеграции цифровых технологий в

процесс проектирования. Использование компьютерных симуляций и моделирования может значительно повысить точность оценки различных технологических процессов, а также улучшить взаимодействие между различными этапами производственной цепочки. Таким образом, дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию более универсальных методик, которые будут учитывать все аспекты технологической подготовки и обеспечивать высокий уровень интеграции между различными производственными процессами.

Другим возможным решением является концептуально разработанная система автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП) [11, 12], позволяющая реализовать концепцию параллельного многовариантного проектирования ТП в автоматизированном режиме с учетом реальной производственной ситуации. Однако указанная система также не учитывает связь между технологической подготовкой механообрабатывающего и технологической подготовкой механосборочного производств.

Для устранения указанного недостатка был разработан модуль САПлТП – система учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ) [13]. В общем виде структура данного модуля представлена на Рис. 1.

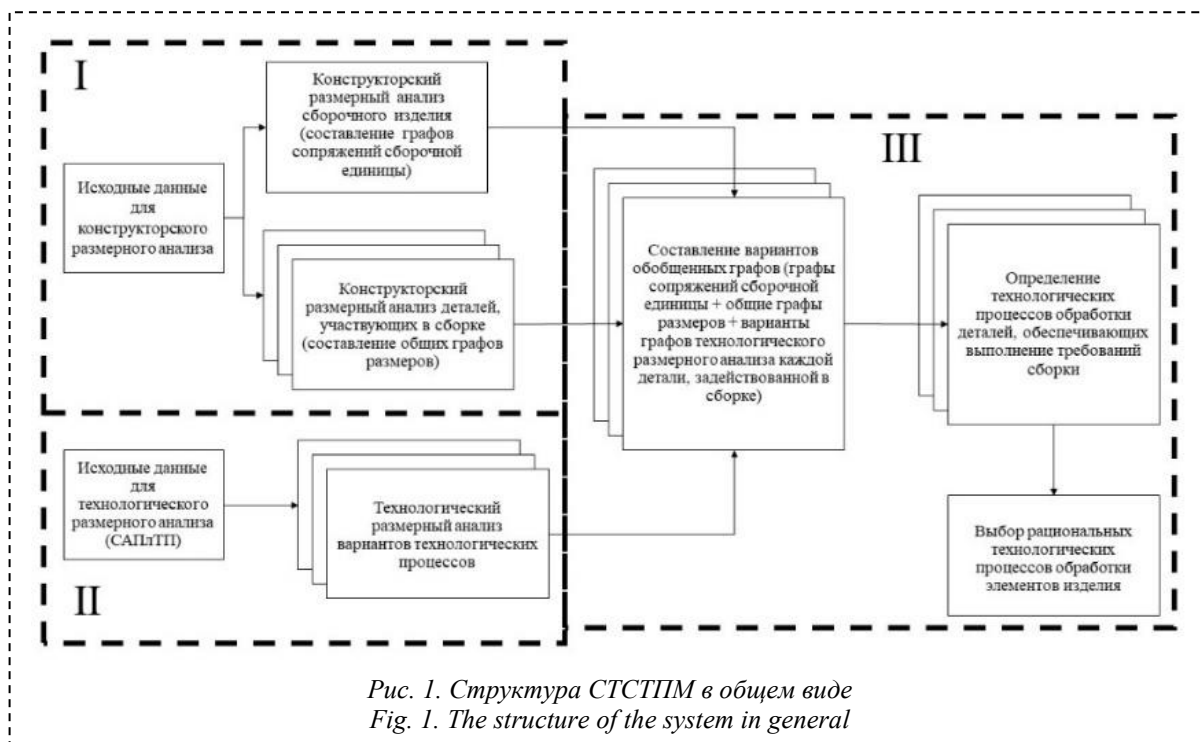
Указанный модуль требует более глубокого анализа и развития, особенно в контексте установления связи между конструкторской и

технологической подготовкой многономенклатурного производства. Важно не только учитывать эти две составляющие, но и перейти к оценке производственной технологичности, что является ключевым аспектом для успешного функционирования производственных процессов.

Для достижения этой цели необходимо усовершенствовать принципы реализации первого укрупненного блока проектных процедур, который включает в себя анализ требований к сборке высокоточного изделия. Этот анализ должен быть более детализированным и учитывать все нюансы, связанные с особенностями конструкции и технологии производства. Например, важно понимать, какие именно элементы сборки могут оказать наибольшее влияние на общую технологичность процесса.

Цель данного исследования заключается в разработке методики построения обобщенного графа поверхностей высокоточного изделия. Такой граф позволит визуализировать взаимосвязи между различными элементами изделия и их влиянием на процесс сборки. С помощью этого инструмента можно будет выявлять критичные или особо ответственные элементы сборки, которые требуют повышенного внимания при проектировании и производстве.

Кроме того, важно учитывать, что в многономенклатурном производстве разнообразие изделий и сложность их конструкций требуют гибкого подхода к проектированию. Это значит, что необходимо разрабатывать адаптивные методики, которые



позволят быстро реагировать на изменения в требованиях и условиях производства.

Также стоит отметить, что внедрение современных технологий, таких как автоматизация и цифровизация процессов, может значительно повысить эффективность сборки высокоточных изделий. Использование компьютерного моделирования и симуляции процессов сборки позволит заранее выявлять потенциальные проблемы и оптимизировать производственные потоки.

Таким образом, исследование и развитие укрупненного блока проектных процедур анализа требований к сборке высокоточного изделия является важным шагом к повышению эффективности СТСТПМ. Применение СТСТПМ позволит не только улучшить качество изделий, но и сократить время и затраты на их производство, что в конечном итоге приведет к повышению конкурентоспособности

предприятия, применившего указанный модуль, на рынке.

Методы

Этапы реализации укрупненного блока проектных процедур, касающихся анализа требований к сборке высокоточного изделия, можно представить в виде последовательности шагов, которые иллюстрируются на Рис. 2. В процессе работы над совершенствованием методик и формализацией данного блока была разработана комбинированная стратегия, направленная на оптимизацию выполнения этих процедур. Эта стратегия включает в себя несколько ключевых компонентов, которые позволяют более эффективно управлять требованиями, связанными со сборкой высокоточных изделий.

Одним из основных аспектов этой стратегии является распределение критичных или особо

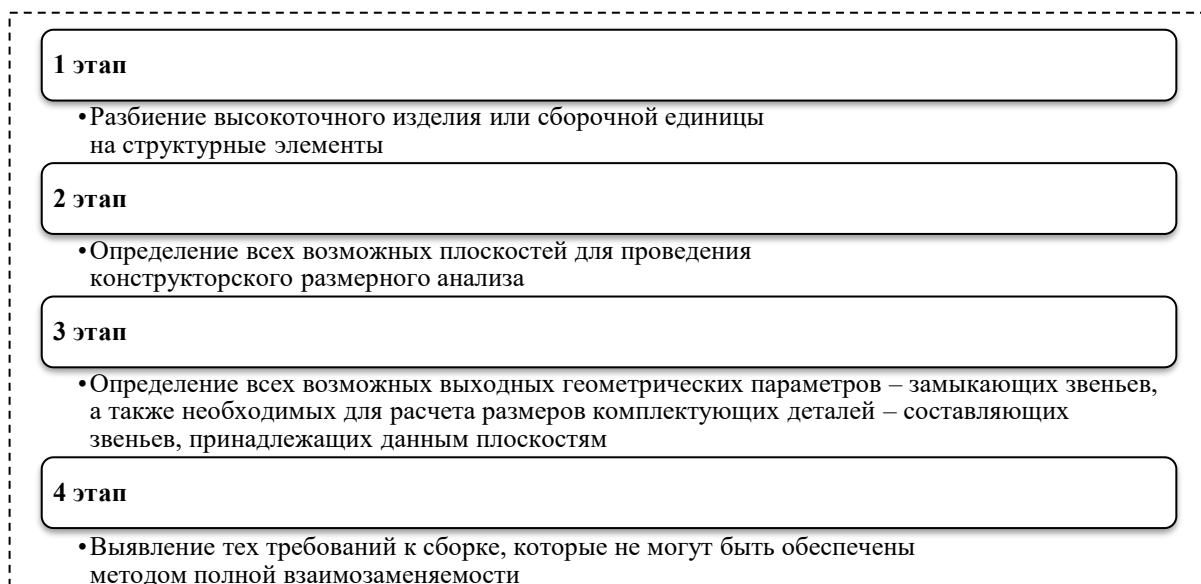


Рис. 2. Этапы реализации укрупненного блока проектных процедур
Fig. 2. Stages of implementation of the enlarged block of project procedures



Рис. 3а. Модули рабочих поверхностей ДСЕ
Fig. 3a. Modules of working surfaces of parts and assembly units

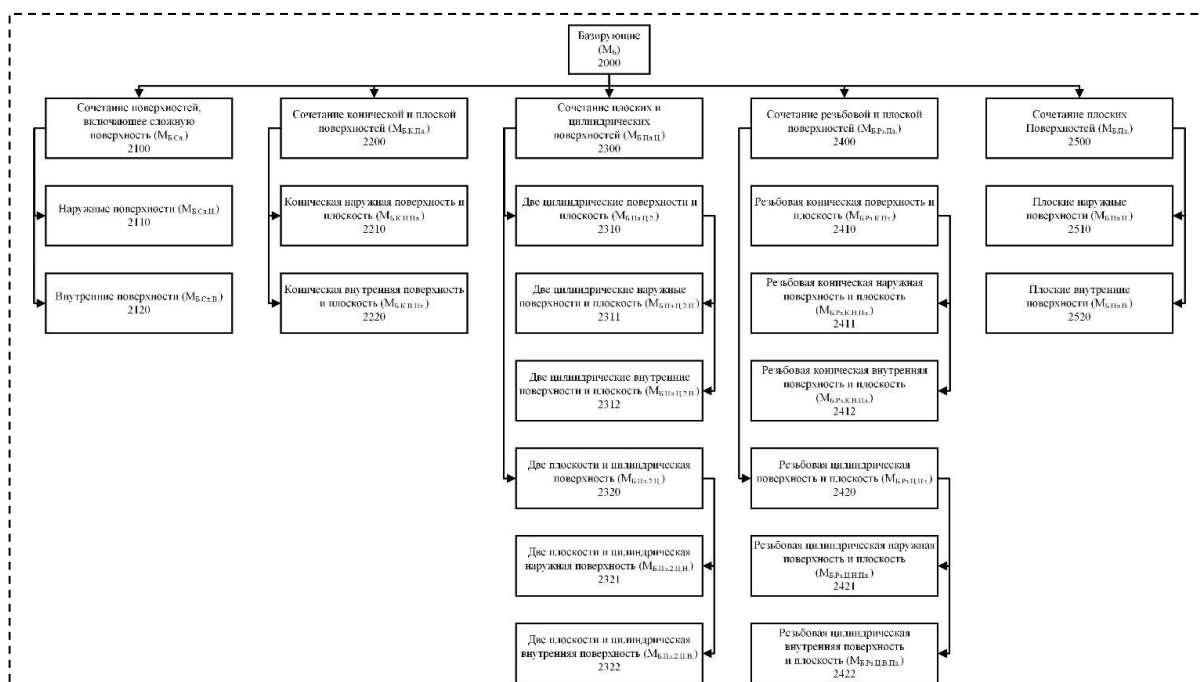


Рис. 3б. Модули базировочных поверхностей ДСЕ
Fig. 3b. Modules of the base surfaces of parts and assembly units

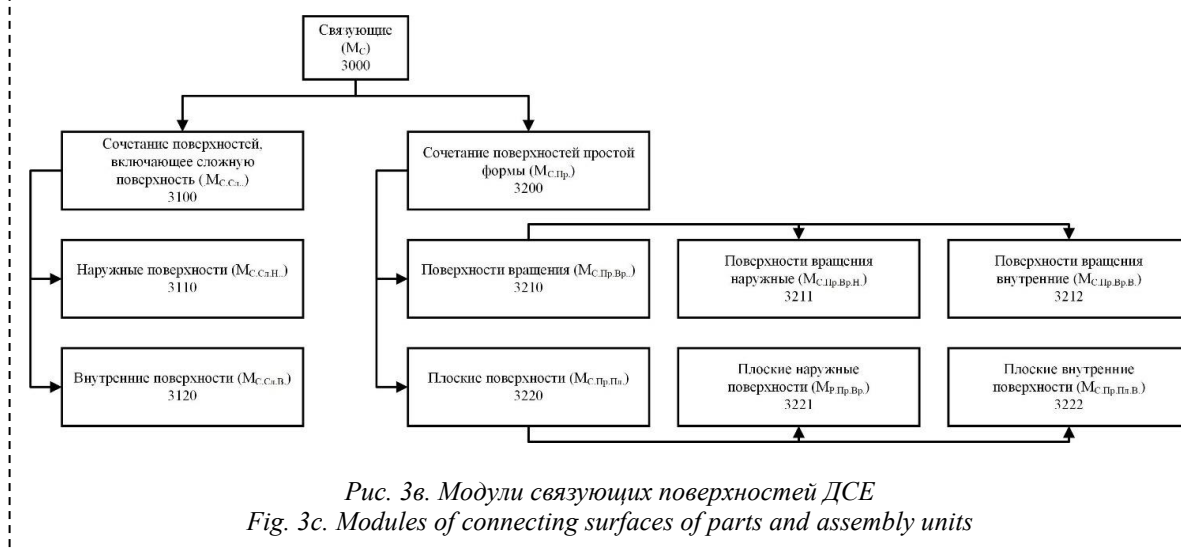


Рис. 3в. Модули связующих поверхностей ДСЕ
Fig. 3с. Modules of connecting surfaces of parts and assembly units

ответственных требований к сборке. Для этого был предложен подход, который основывается на построении обобщенного графа, представляющего поверхности высокоточных сборочных единиц и узлов. Этот граф позволяет визуализировать взаимосвязи между различными компонентами изделия и их требованиями, что значительно упрощает процесс анализа.

Правила распределения требований, сформулированные в рамках данного подхода, помогают определить приоритеты и критичность каждого из требований. Это особенно важно в контексте высокоточных изделий, где даже малейшие отклонения могут привести к серьезным последствиям. Подробное описание данного подхода можно найти в исследовании

[14], которое рассматривает теоретические основы и практические аспекты его применения.

В процессе исследования применялись различные теоретические положения, в том числе технологии машиностроения, математический аппарат теории размерных цепей, теории графов и теории множеств. Эти дисциплины предоставляют мощные инструменты для анализа и оптимизации процессов, связанных со сборкой высокоточных изделий. Например, теория размерных цепей позволяет учитывать допуски и посадки деталей, а теория графов помогает в визуализации и анализе сложных взаимосвязей между компонентами.

Таким образом, разработанная комбинированная стратегия и подход к распределению требований представляют собой важный шаг в направлении модернизации СТСТПМ. Они не только способствуют более структурированному подходу к проектированию, но и обеспечивают возможность быстрого реагирования на изменения и корректировки в процессе сборки.

В данном исследовании будет подробно рассмотрен вопрос выявления критичных элементов сборочных единиц и узлов на основе анализа контактирующих поверхностей ДСЕ. За основу возьмем классификацию модулей поверхностей ДСЕ, предложенную профессором Базровым Б. М. [15].

Критичные (особо ответственные) требования к сборке предъявляются, как правило, к рабочим и базировочным поверхностям. Поэтому целесообразно в первую очередь в ДСЕ анализировать подобные сочетания. Составим перечень модулей поверхностей ДСЕ и сочетание поверхностей ДСЕ, присвоив им условные обозначения и коды (см. Рис. 3а – 3в). Для удобства были приняты следующие сокращения: М – модуль поверхности; с –

связующая; c_{cl} – сложная поверхность; n – наружная поверхность; v – внутренняя поверхность; p_r – простой формы; v_p – вращения; p_{pl} – плоская; p – рабочая; b – базировочная; k – коническая; c – цилиндрическая; p_3 – резьбовая.

Результаты исследований

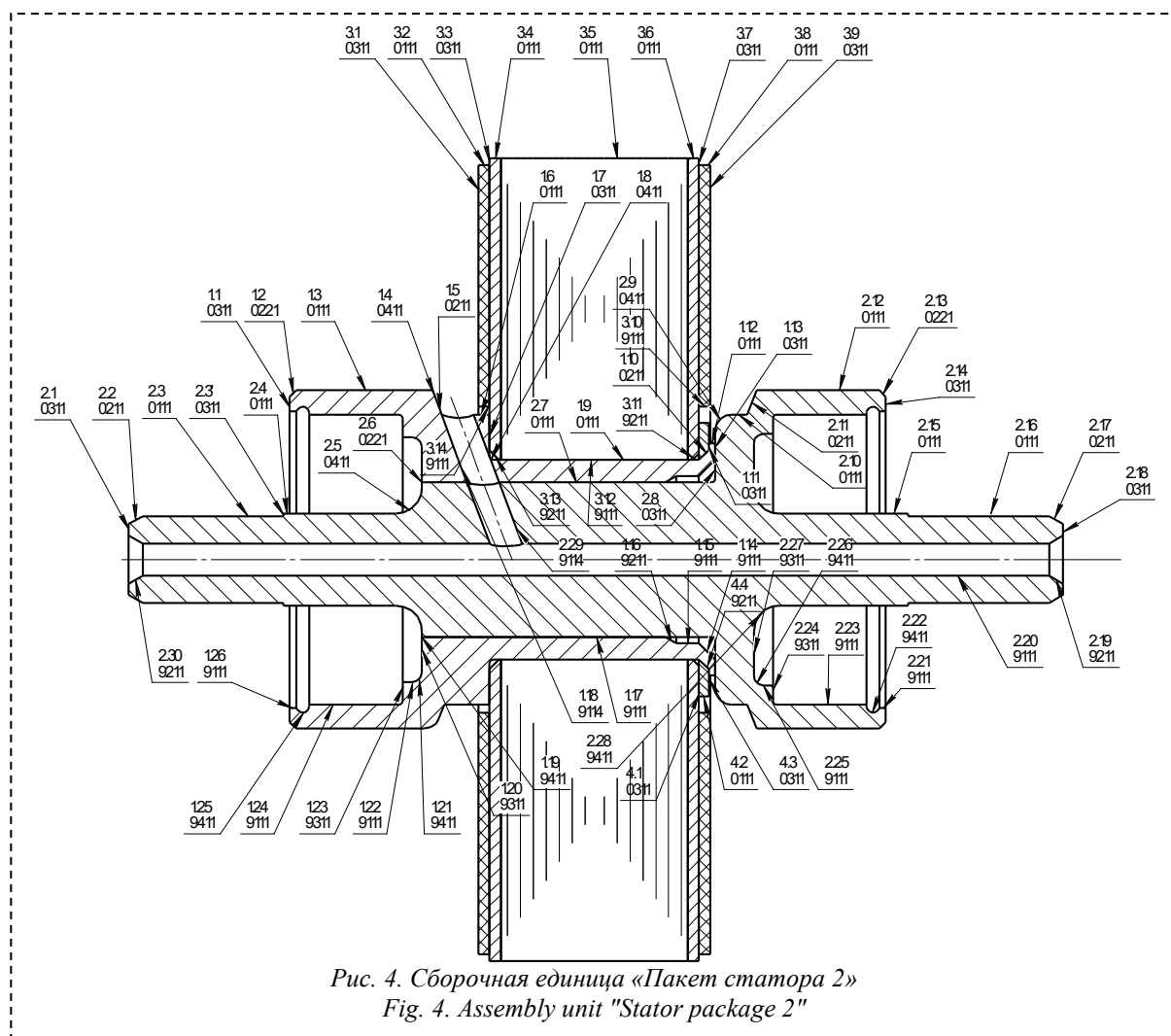
Рассмотрим методику выявления критичных элементов ДСЕ на примере сборочной единицы «Пакет статора 2». В указанную сборочную единицу входят 3 детали – «Ось», «Втулка», «Прокладка» и одна сборочная единица – «Пакет статора 1». Данная сборочная единица с указанием нумерации поверхностей, выполненной по методике, изложенной в исследовании [14], представлена на Рис. 4.

На Рис. 5 представлен граф поверхностей сборочной единицы «Пакет статора 2» с указанием контактирующих поверхностей.

На Рис. 6а представлены группы контактирующих поверхностей (обход справа налево по часовой стрелке):

- 2.29 и 1.18 – цилиндрические отверстия под углом к оси вращения деталей «Ось» и «Втулка» соответственно;

- 1.13 и 2.8 – наружные торцы деталей «Втулка» и «Ось» соответственно;



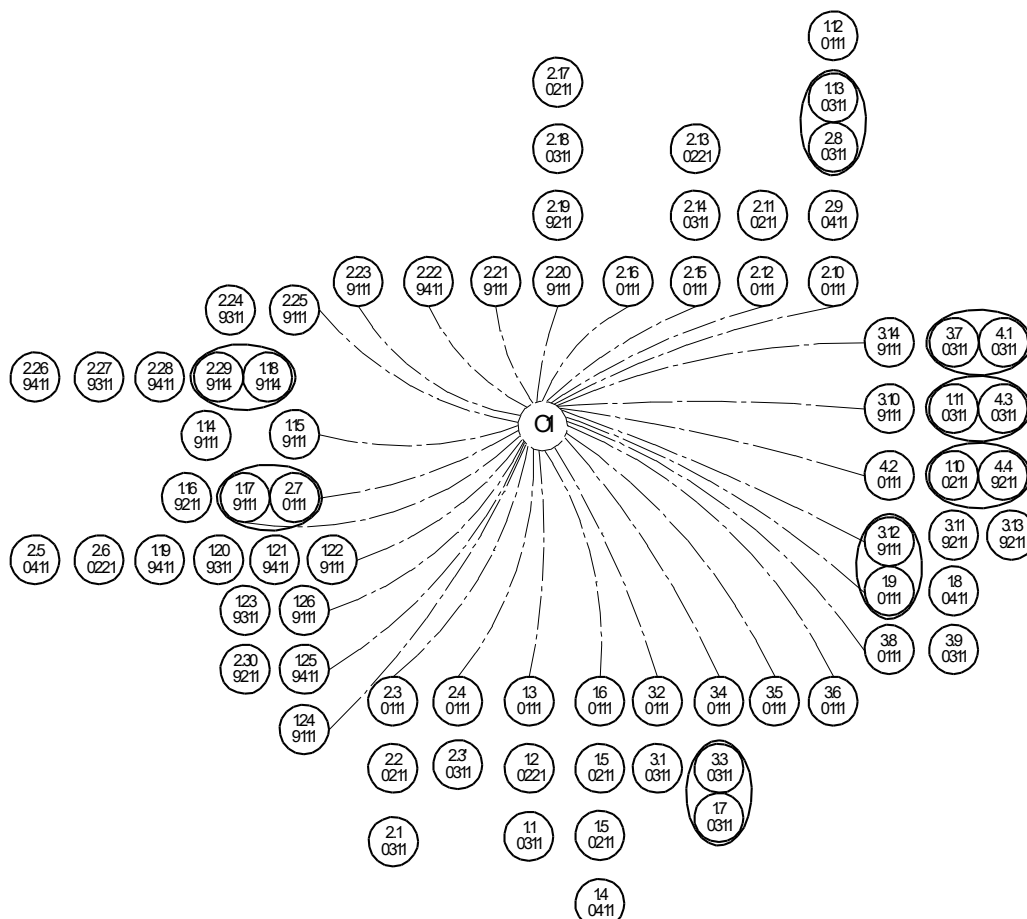


Рис. 5. Граф поверхностей сборочной единицы «Пакет статора 2»
Fig. 5. The graph of surfaces of the assembly unit "Stator package 2"

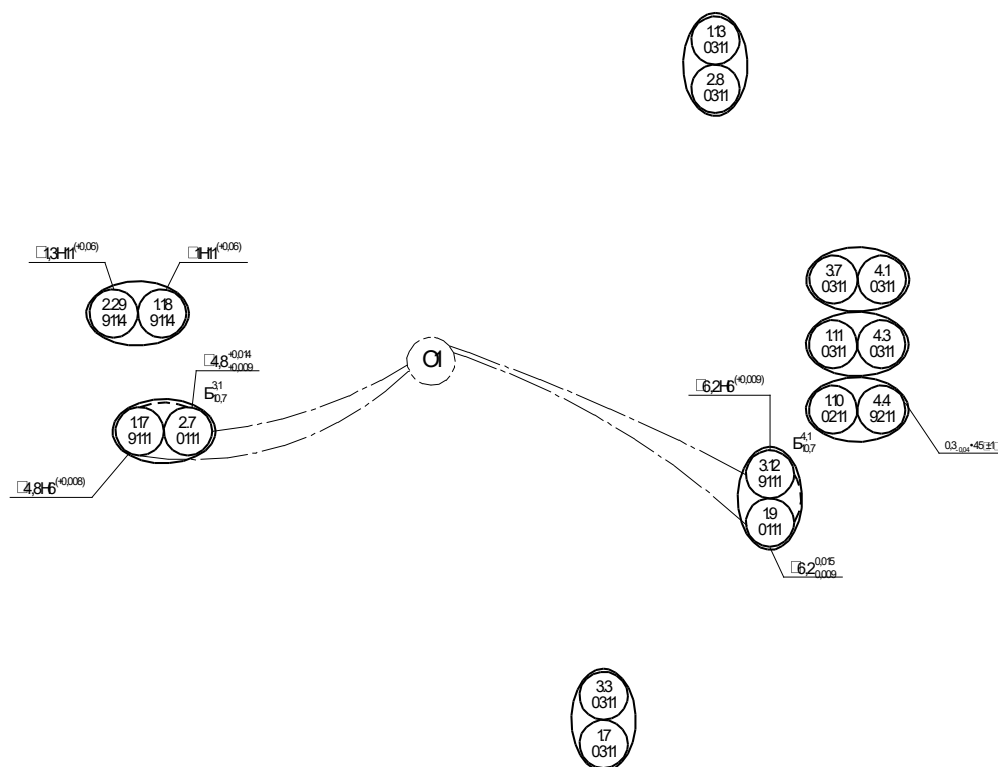


Рис. 6а. Фрагмент графа поверхностей с указанием размеров
Fig. 6a. The fragment of the graph of surfaces with dimensions

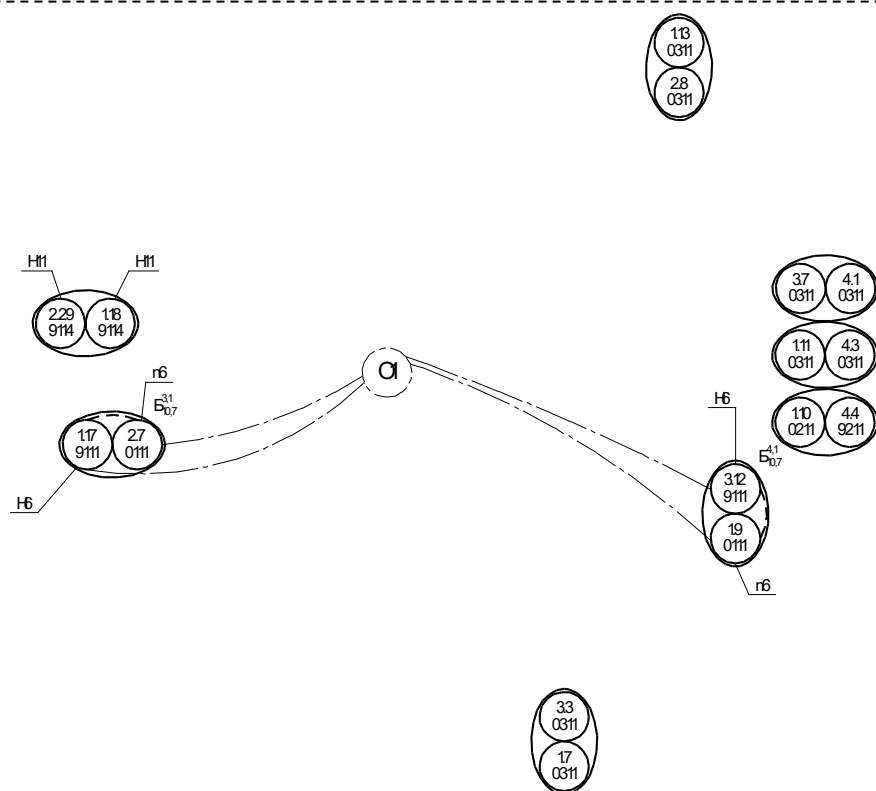


Рис. 6б. Фрагмент графа поверхностей с точностными характеристиками размеров
Fig. 6b. The fragment of the graph of surfaces with dimensional accuracy characteristics

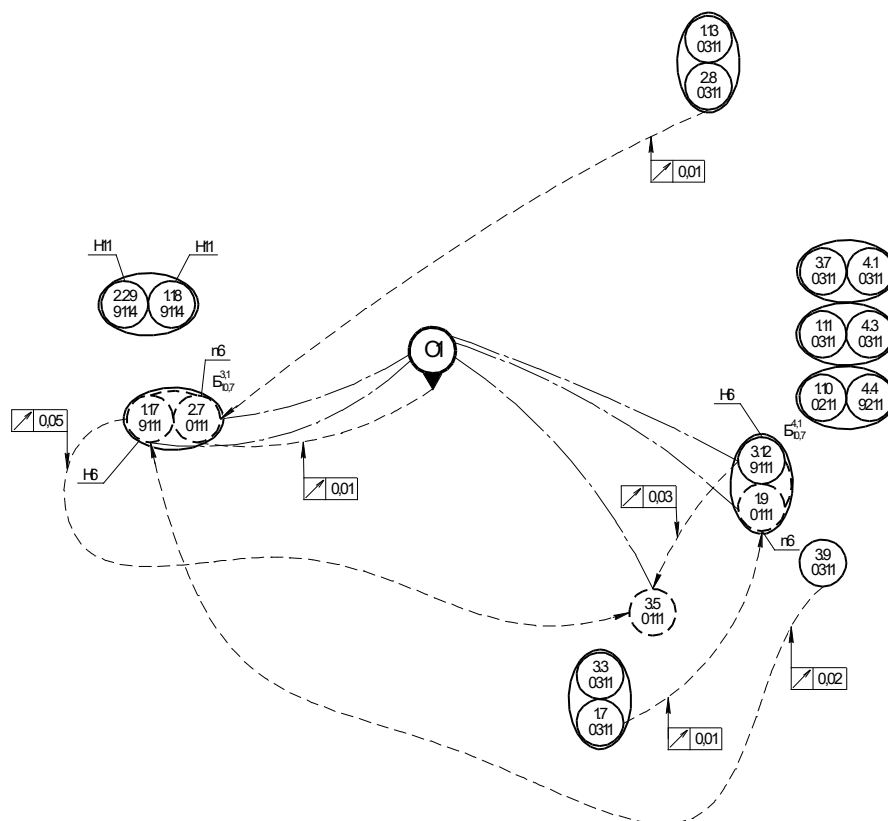
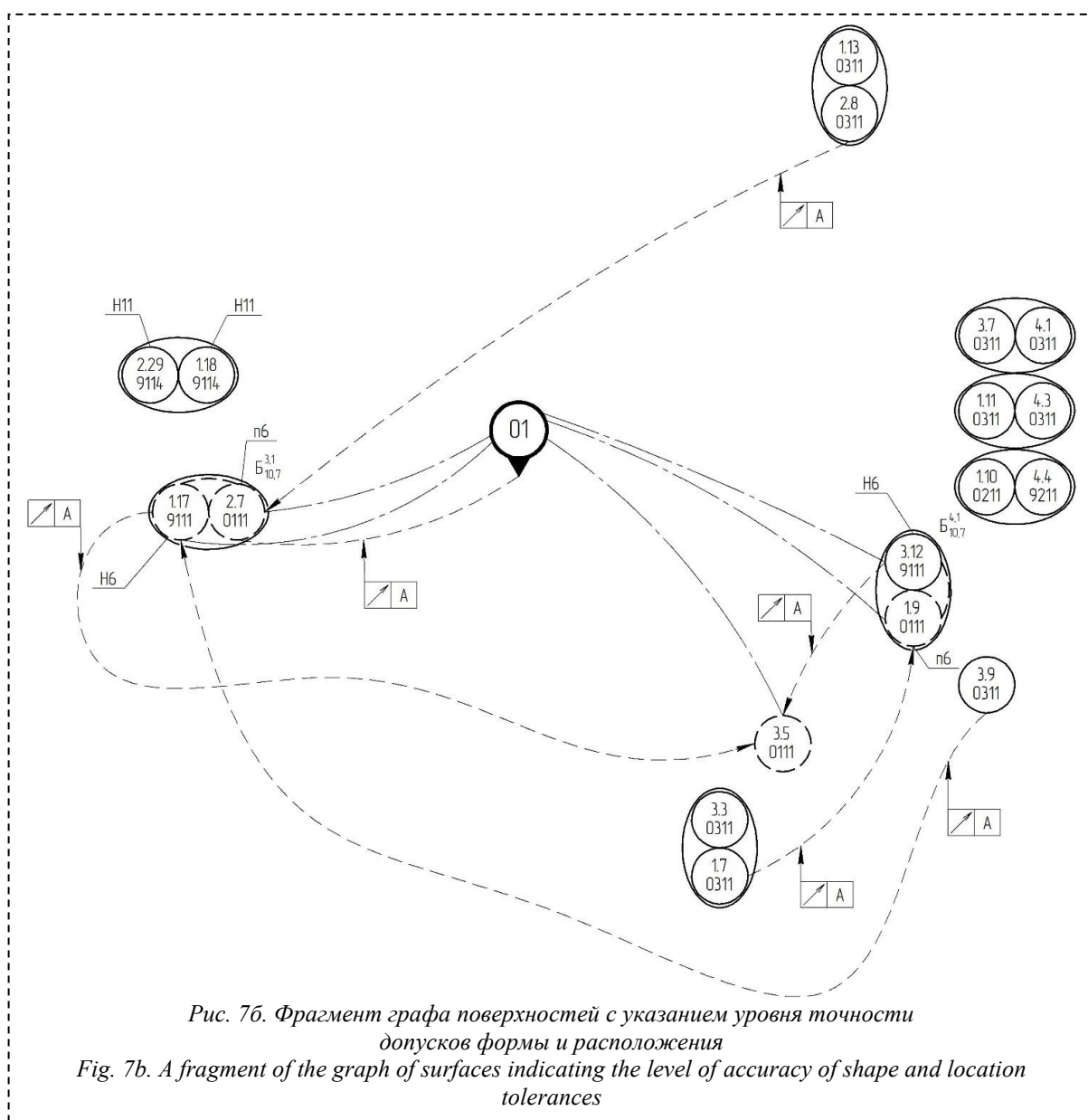


Рис. 7а. Фрагмент графа поверхностей с указанием допусков формы и расположения, предъявляемых к поверхностям
Fig. 7a. The fragment of the graph of surfaces with the indication of the form and position tolerances required for surfaces



-3.7 и 4.1 – наружные торцы СЕ «Пакет статора 1» и детали «Прокладка» соответственно;

- 1.11 и 4.3 – наружные торцы деталей «Втулка» и «Прокладка» соответственно;

- 1.10 и 4.4 – конус наружный детали «Втулка» и конус внутренний детали «Прокладка»;

- 3.12 и 1.9 – внутренняя цилиндрическая поверхность СЕ «Пакет статора 1» и наружная цилиндрическая поверхность детали «Втулка» (посадка с натягом);

- 3.3 и 1.7 – наружные торцы СЕ «Пакет статора 1» и детали «Втулка» соответственно;

- 1.17 и 2.7 – внутренняя цилиндрическая поверхность детали «Втулка» и наружная цилиндрическая поверхность детали «Ось» (посадка с натягом).

Нанесем на данный фрагмент размеры, образованные указанными поверхностями с

указанием точности (см. Рис. 6а). Следует отметить, что группы поверхностей 1.13 и 2.8, 3.7 и 4.1, 1.11 и 4.3, 3.3 и 1.7 являются контактирующими наружными торцами ДСЕ и размерных взаимосвязей не образуют. Следовательно, контакты данных поверхностей не образуют требований к сборке ДСЕ. Также следует отметить, что поверхность 1.10 получена в результате операции вальцевания цилиндрической поверхности детали «Втулка» и самостоятельной размерной характеристики не имеет. Поверхности 2.29 и 1.18 являются контактирующими отверстиями. Данные поверхности также не образуют размерные взаимосвязи. На Рис. 6б приведен тот же самый фрагмент с указанием только точностных характеристик приведенных размеров (квалитетов точности).

Дополним фрагмент допусками формы и расположения, предъявляемыми к данным

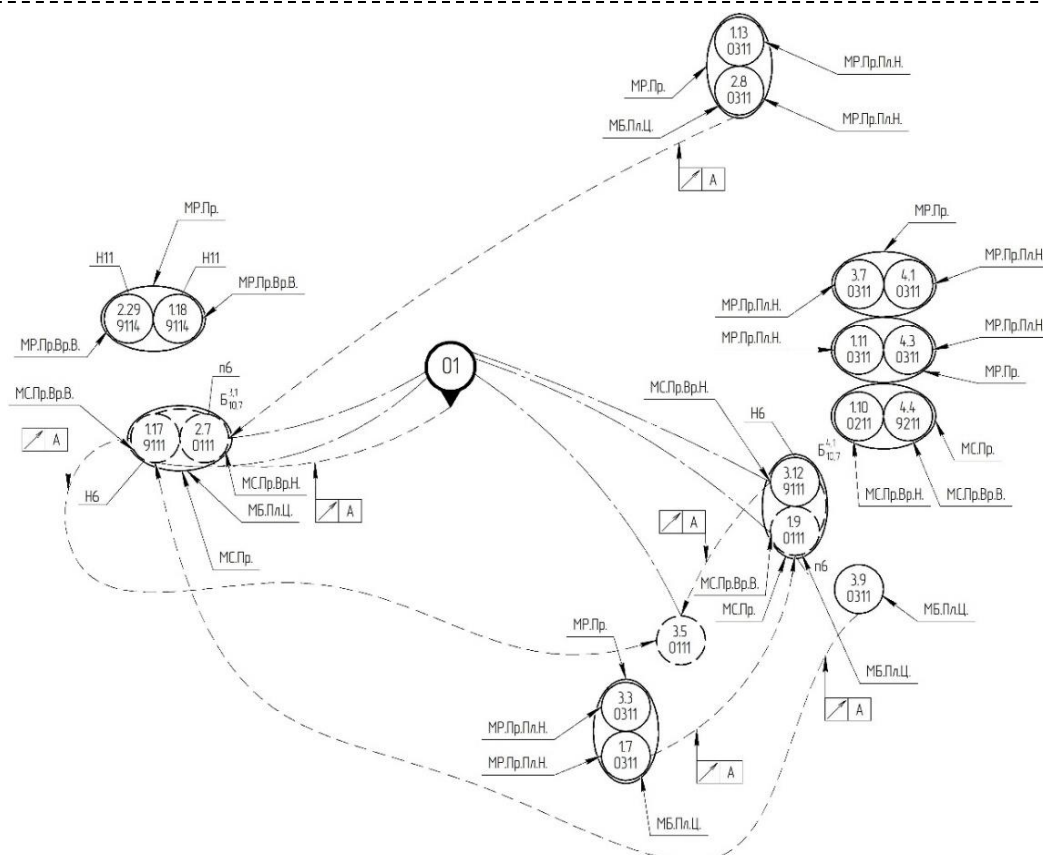


Рис. 8а. Фрагмент графа поверхностей с указанием характера контактирующих поверхностей
Fig. 8a. The fragment of the graph of surfaces with indicating the nature of the contacting surfaces

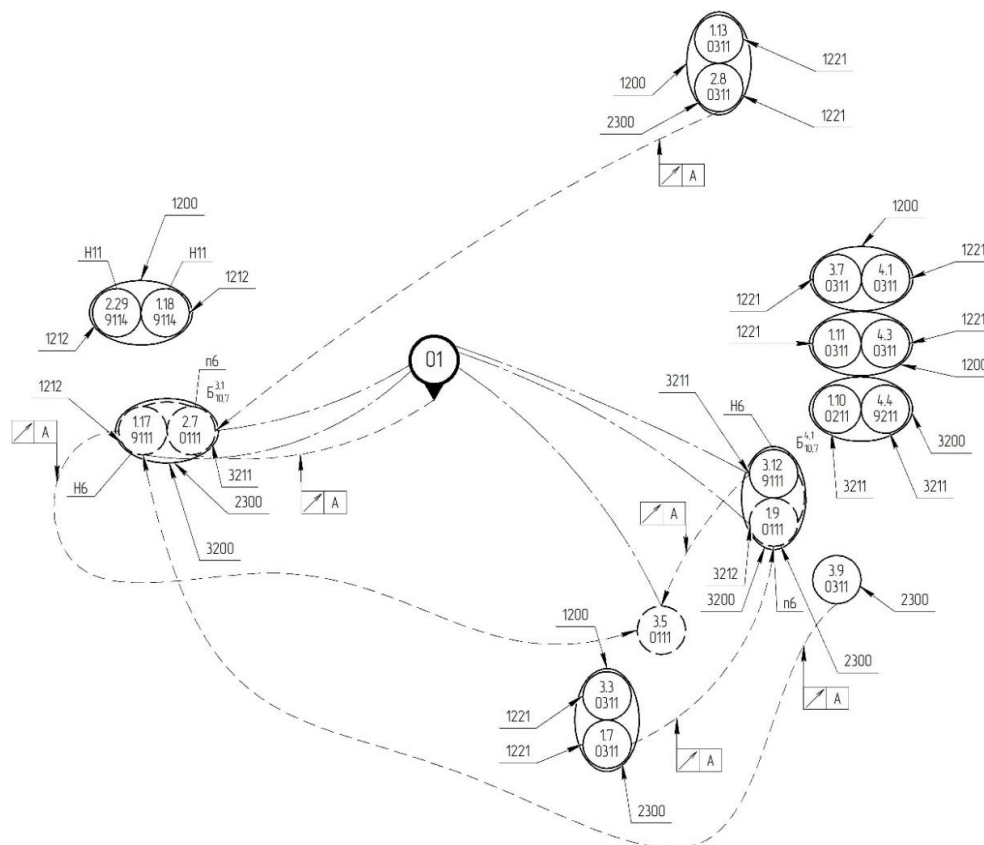
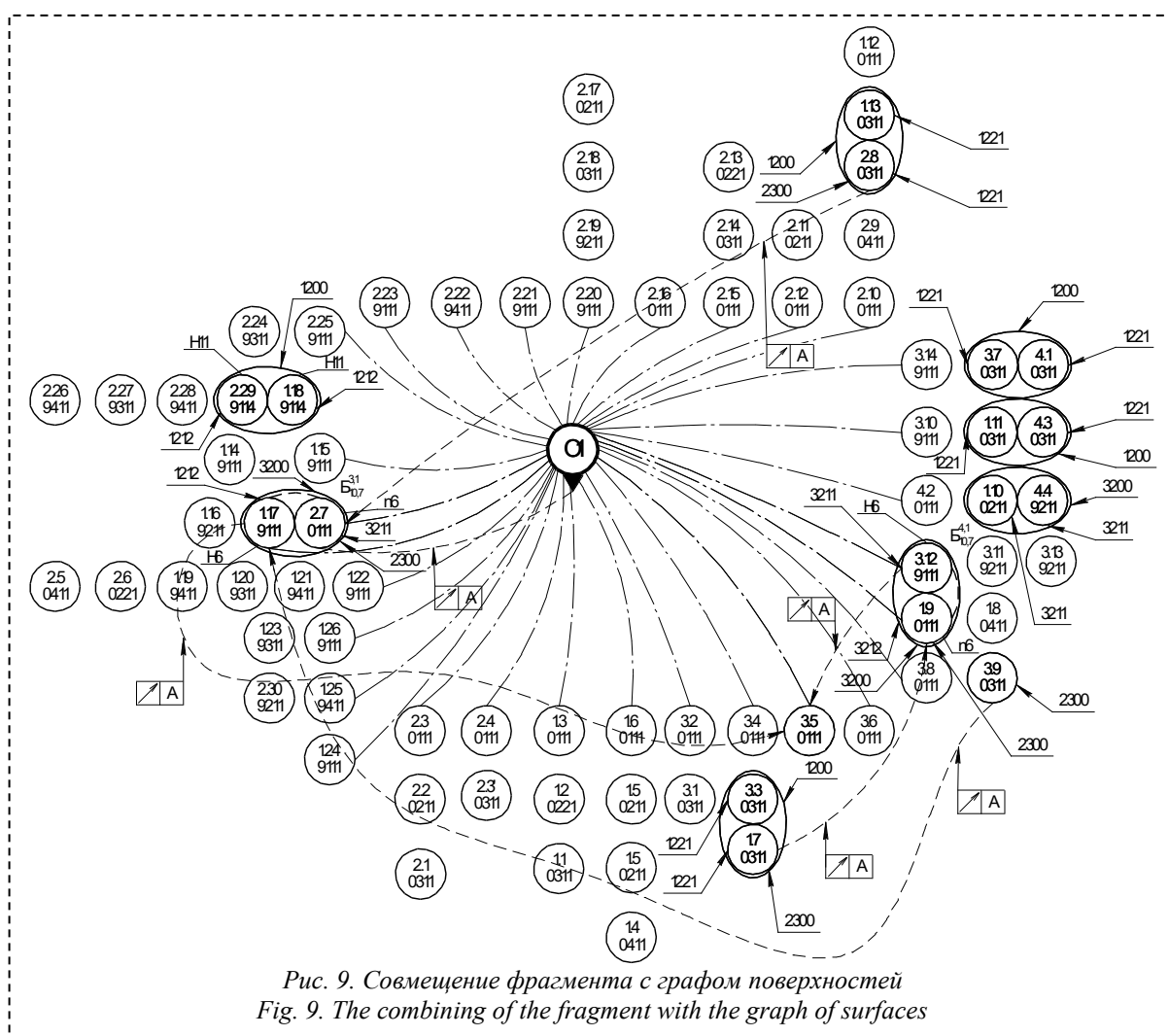


Рис. 8б. Фрагмент графа поверхностей с указанием кодов контактирующих поверхностей
Fig. 8b. The fragment of the graph of surfaces with indication of codes of contacting surfaces



поверхностям, с указанием базовых поверхностей (см. Рис. 7а). В соответствии с рекомендациями, приведенными в исследовании [14] и источниках [16, с. 453, 17], в зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы и расположения на Рис. 7б укажем следующие уровни относительной геометрической точности: А (нормальная), В (повышенная) и С (высокая):

Далее, исходя из функционального назначения сборочной единицы, а также с учетом указанных размерных взаимосвязей, допусков формы и расположения и также базовых поверхностей (см. Рис. 6 и 7) определим характер контактирующих поверхностей в соответствии с классификацией, приведенной в Таблице 1. Результаты представлены на Рис. 8а. Заменяем условные обозначения модулей поверхностей и сочетаний поверхностей ДСЕ на соответствующие коды, присвоенные в Таблицу 1 (см. Рис. 8б).

Наложим получившийся результат на граф поверхностей (см. Рис. 9).

Обсуждение

В результате реализации методики были получены все требования к сборке,

предъявляемые к контактирующим поверхностям сборочной единицы «Пакет статора 2», а также точностные характеристики звеньев размерных цепей, точностные характеристики допусков формы и расположения, предъявляемые к поверхностям ДСЕ, и сведения о характере поверхностей согласно классификации, приведенной в Таблице 1. Следующим шагом планируется сопоставление полученного результата с обобщенным графом поверхностей сборочных единиц, полученным при проведении исследования [14] для окончательного формирования массива требований к сборке и выбора тех из них, которые не обеспечиваются методом полной взаимозаменяемости. Далее планируется окончательное формирование математического и алгоритмического аппарата реализации представленной методики.

Выводы

Использование данной методики в рамках СТСТПМ значительно улучшает обоснованность и эффективность процесса выявления рациональных ТП для изготовления деталей. Это, в свою очередь, способствует обеспечению заданных стандартов качества и точности

готовой продукции, одновременно снижая трудозатраты и себестоимость производства. В условиях современного производства, где каждая деталь имеет значение, такая оптимизация становится особенно актуальной.

Кроме того, совершенствование научных принципов, связанных с реализацией данного укрупненного блока проектных процедур, способствует углублению цифровой трансформации в области конструкторской и технологической подготовки. Это включает в себя не только автоматизацию проектирования технологических процессов, но и создание основ для системного подхода к оценке производственной технологичности изготавливаемых изделий [11]. Внедрение таких подходов позволяет более точно учитывать все аспекты производства, включая сроки, ресурсы и качество.

Цифровизация процессов также открывает новые горизонты для внедрения современных технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, что может значительно повысить уровень автоматизации и оптимизации. Например, использование алгоритмов для анализа больших данных о производственных процессах может помочь в выявлении узких мест и предложении решений для их устранения.

Таким образом, реализация укрупненного блока проектных процедур СТСТПМ не только позволяет улучшать качество и точность изделий, но и создает условия для внедрения инновационных технологий, что, в свою очередь, ведет к повышению конкурентоспособности на рынке. Все это подчеркивает важность системного подхода в проектировании и производстве, который будет актуален в условиях стремительного развития технологий и изменяющихся требований рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузеев В. И. Повышение эффективности интегрированных технологических процессов на стадиях проектирования и реализации // Научные технологии в машиностроении. 2014. № 7. С. 36–41.
2. Bazrov B. M. Classification of objects of technological preparation in the machining production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, 20–21 November 2020. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2019. Vol. 1047. P. 12048. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012048.
3. Чигиринский Ю. Л., Плотноков А. Л., Фирсов И. В., Жданов А. А. К вопросу о необходимости создания цифровых двойников технологических процессов механической обработки деталей машин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2024. № 3 (286). С. 37–41. DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-37-41.
4. Терехов М. В., Заикин В. С., Аверченков А. В. Повышение эффективности производства на основе разработки автоматизированной системы планирования производства // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2021. № 2 (12). С. 49–57. DOI: 10.30987/2658-6436-2021-2-49-57.
5. Растегаев Е. В. Требования к САПР ТП в условиях параллельной инженерной разработки // Вестник Рыбинской государственного авиационного технологического университета им. П. А. Соловьева. 2019. № 4. С. 69–73. EDN: KXJQUX.
6. Чигиринский Ю. Л. Математические методы в технологическом проектировании // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 4. С. 13–20. EDN: RRLRLZ. DOI: 10.12737/article_5aacd857b7d411.22186680.
7. Li X., Zhang S., Huang B., Huang R., Xu C., Zhang Y. A survey of knowledge representation methods and applications in machining process planning // International journal of advanced manufacturing technology. 2018. Vol. 98. № 9–12. P. 3041–3059. DOI: 10.1007/s00170-018-2433-8.
8. Marri H. B., Gunasekaran A., Grieve R. J. Computeraided process planning: A state of art // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 1998. Vol. 14. № 4. P. 261–268. DOI: 10.1080/00207548908942569.
9. Yusri Yu., Kamran L. Survey on computer-aided process planning // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 75. № 1–4. P. 77–89. DOI: 10.1007/s00170-014-6073-3.
10. Xu X., Wang L., Newman S.T. Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future trends // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2011. Vol. 24. № 1. P. 1–31. DOI: 10.1080/0951192X.2010.518632.
11. Митин С. Г., Бочкарев П. Ю. Совершенствование принципов автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки // Научные технологии в машиностроении. 2024. № 1 (151). С. 16–22. DOI: 10.30987/2223-4608-2024-16-22.
12. Гумаров Г. С., Митин С. Г. Разработка многономенклатурных механообрабатывающих производств с применением систем автоматизированного проектирования // Наука и техника Казахстана. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-mnogonomenklaturnyh-mehanoobrabatyvayuschih-proizvodstv-s-primeneniem-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya> (дата обращения: 04.08.2024). DOI: 10.48081/FGNE1148.
13. Назарьев А. В. Совершенствование технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе учета требований к сборке высокоточных изделий : диссертация на соискание

ученой степени кандидата технических наук. Саратов. 2019. 163 с.

14. Назарьев А. В., Бочкарев П.Ю. Технологическое обеспечение сборки на основе принципов выявления критичных требований к высокоточным изделиям // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2024. Т. 24. № 1. С. 66–77. DOI: 10.23947/2687-1653-2024-24-1-66-77.

15. Базров Б. М. Базис технологической подготовки машиностроительного производства.

М. : Общество с ограниченной ответственностью Издательство "КУРС", 2023. 324 с.

16. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. М. : Машиностроение, 1986. Т. 2. 4-е изд., перераб. и доп. 1986. 496 с.

17. Суслов А. Г., Безъязычный В. Ф., Базров Б. М. [и др.]. Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Суслова. М. : Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Назарьев Александр Викторович – начальник сектора конструкторского отдела конструкторского бюро, филиал Акционерного общества «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» – «Производственное объединение «Корпус» (410010, Россия, г. Саратов, ул. имени Осипова В.И., д. 1), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0610-6060>, e-mail: alex121989@mail.ru

Бочкарев Петр Юрьевич – профессор кафедры «Технология машиностроения» Камышинского технологического института – филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (403874, Россия, Волгоградская область, г. Камышин, ул. Ленина, д. 6а), профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина здание 4, строение 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>, e-mail: bpy@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Назарьев Александр Викторович – разработка принципов выявления критичных требований к сборке высокоточных изделий, промышленная апробация, подготовка текста.

Бочкарев Петр Юрьевич – научное руководство, методический подход планирования механообрабатывающих и сборочных производств, доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

METHODOLOGY FOR DETERMINING CRITICAL ASSEMBLY REQUIREMENTS HIGH-PRECISION PRODUCTS BASED ON THE DESIGN OF THE GENERALIZED GRAPH OF SURFACE

Alexandr V. Nazaryev^{1,*}
Peter Yu. Bochkarev^{2,3}

¹ Branch of the SC “Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making” – “Industrial Association “Korpus”

² Kamyshin Technological Institute – branch of Volgograd State Technical University

³ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

* for correspondence: alex121989@mail.ru



Abstract.

Assembly is the final, critically important stage in the production of any

Article info

Received:

25 November 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

Accepted:

30 April 2025

Published:

26 June 2025

Keywords: machinery production, high-precision product, process design, manufacturing method, system for automated planning of manufacturing methods, generalized graph of surface.

machines and devices, but its importance increases many times in the manufacture of high-precision products. In industries such as the military-industrial complex, aerospace, precision machine tool and bearing manufacturing, where tolerances are measured in microns, and people's lives or the success of expensive projects depend on reliability, assembly goes beyond simply connecting parts. Here we are talking about a high-tech process that requires extreme precision, special conditions and qualified personnel. The precision characteristics of such products often exceed the capabilities of processing equipment, and existing methods for achieving precision during assembly do not have sufficient versatility and depend on the type of production. The approaches being developed to solve these problems also do not have sufficient versatility, that is, they do not consider all the elements of the described problem comprehensively. In addition, these approaches do not take into account the relationship between the process design of machining and mechanical assembly production. To solve this problem in a comprehensive manner, a set of design procedures of the system of accounting requirements for the assembly in the design of manufacturing methods of machining was developed. However, the specified system requires further development in terms of establishing the relationship between the designing preproduction and process design of multi-product production and the transition to the assessment of production manufacturability, which requires the improvement of the methodological, mathematical and algorithmic support of the enlarged block of design procedures of analyzing the requirements of the assembly of a high-precision product. This article discusses in detail the methodology of identifying critical requirements of the assembly of high-precision products based on the construction of a generalized graph of surfaces. The development of this methodology makes it possible to complete the improvement of the methodological support of the enlarged block of design procedures and proceed to further stages of its modernization.

For citation: Nazaryev A.V., Bochkarev P.Yu. Methodology for determining critical assembly requirements high-precision products based on the design of the generalized graph of surface. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 3(169):27-41. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-27-41, EDN: VJZXTL

REFERENCES

1. Guzeev V.I. Improving Efficiency of Integrated Technological Processes at Design and Implementation Stages. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2014; 7:36–41 (In Russ.)
2. Bazrov B.M. Classification of Objects of Technological Preparation in the Machining Production. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, 20-21 November 2020. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd; 2019. Vol. 1047. 12048. (In Eng.) DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012048.
3. Tchigirinsky Yu. L., Plotnikov A. L., Firsov I. V., Zhdanov A. A. About The Necessity To Create Digital Twins Of Technological Processes For Mechanical Processing Of Machine Parts. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of the Volgograd State Technical University. 2024; 3(286):37–41 (In Russ.) DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-37-41.
4. Terehov M.V., Zaikin V.S., Averchenkov A.V. Increasing Industrial Efficiency Based On Developing An Automated Production Planning System.

Avtomatizatsiya i modelirovanie v proektirovanii i upravlenii = Automation and Modelling in Design and Management. 2021; 2(12):49–57 (In Russ.) DOI: 10.30987/2658-6436-2021-2-49-57.

5. Rastegaev E.V. Requirements For CAD In Conditions Of Parallel Engineering Development. *Vestnik Rybinskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Solov'eva* = Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological University named after P.A. Solovyov. 2019; 4:69–73 (In Russ.) EDN: KXJQUX

6. Tchigirinsky Yu.L. Mathematical Methods In Technological Design. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2018; 4:13–20 (In Russ.) EDN: RRLRLZ. DOI: 10.12737/article_5aacd857b7d411.22186680.

7. Li X., Zhang S., Huang B., Huang R., Xu C., Zhang Y. A survey of knowledge representation methods and applications in machining process planning. *International journal of advanced manufacturing technology*. 2018; (98–9–12): 3041–305 (In Eng.) DOI: 10.1007/s00170-018-2433-8.

8. Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve R.J. Computeraided process planning: A state of art. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1998; (14-4):261–268 (In Eng.) DOI: 10.1080/00207548908942569.

9. Yusri Yu., Kamran L. Survey on computer-aided process planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014; 75(1-4):77–89. (In Eng.) DOI: 10.1007/s00170-014-6073-3.

10. Xu X., Wang L., Newman S.T. Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2011; 24(1):1–31. (In Eng.) DOI: 10.1080/0951192X.2010.518632.

11. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. The Development Of Computer-Aided Planning Principles For Multiproduct Machining Processes. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroyenii* = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2024; 1(151):16-22 (In Russ.) DOI: 10.30987/2223-4608-2024-16-22.

12. Gumarov G.S., Mitin S.G. Development Of Multiple Mechanclature Machining Productions Using Automated Design System. *Nauka i tekhnika Kazaxstana* = Science and Technology of Kazakhstan. 2023; 1:59–72. (In Russ.) DOI: 10.48081/FGNE1148. Available at:

<https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-mnogonomenklaturnyh-mehanoobrabatyvayuschih-proizvodstv-s-primeneniem-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya> (accessed 04.08.2024).

13. Nazaryev A.V. Improving the Process Design of Multi-product Machining Industries Based on Taking Into Account the Requirements for the Assembly of High-precision Products. Dissertation of candidate of technical sciences. Saratov; 2019. 163 p.

14. Nazaryev A.V., Bochkarev P.Yu. Improving The Principles Of Identifying Critical Requirements For The Assembly Of High-Precision Products. *Advanced Engineering Research* (Rostov-on-Don). 2024; 24(1):66–77. (In Russ.) DOI: 10.23947/2687-1653-2024-24-1-66-77.

15. Bazrov B.M. Machine-building Production Technological Preparation Basics. Moscow: Limited Liability Company Publishing House "KURS"; 2023. 324 p.

16. Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K. Handbook of a machine-building technologist: in 2 volumes. Moscow: Mechanical engineering; 1986. Vol. 2. 496 p.

17. Suslov A.G., Bezyazychny V.F., Bazrov B.M. et al. Handbook of technologists. Moscow: Innovative mechanical engineering; 2019. 800 p.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Alexandr V. Nazaryev – head of the sector of the Design Department of the Design Bureau, the Branch of Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making - Industrial Association «Korpus» (410010, Russia, Saratov, 1, Osipov St.), Candidate of Technical Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0610-6060>, e-mail: alex121989@mail.ru

Peter Yu. Bochkarev – Professor of the Mechanical Engineering Technology and Applied Mechanics Department, Kamyshin Technological Institute – branch of Volgograd State Technical University (403805, Russia, Volgograd region, Kamyshin, 6a, Lenina St), Professor of the AIC Engineering Support Department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov (4100121, Russia, Saratov, 1, Teatralnaya Sq.), Dr. Sci. (Eng.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>, e-mail: bpy@mail.ru

Contribution of the authors:

Alexandr V. Nazaryev — development of principles for identifying critical requirements of the assembly of high-precision products, industrial testing, text preparation.

Peter Yu. Bochkarev — scientific guidance, methodological approach to planning of machining and assembly plants, revision of the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

