

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.В. Назарьев, П.Ю. Бочкарев

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Проблема совершенствования машиностроительных производств приобретает первостепенное значение. Требуемая точность высокоточных изделий достигается при традиционных методах изготовления усложнением технологического оборудования и использованием информационных и измерительных технологий. В настоящее время функциональная точность высокоточных изделий превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок. Это привело к возникновению проблемы достижения заданного качества и точности высокоточных изделий при их изготовлении. На сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы, отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом. В данной статье формируется структура комплекса проектных процедур, который основывается на установлении связи между технологической подготовкой механообрабатывающего и сборочного производств. Также в статье рассматриваются математическая модель представления и анализа деталей и сборок (исходными данными являются полученные графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров) и подход для автоматизации расчета технологических размерных цепей (исходными данными являются граф технологического процесса и размерные цепи).

Ключевые слова: сборочное производство; комплекс проектных процедур; высокоточные изделия; граф размеров; граф сопряжения элементов сборочной единицы; граф технологического процесса.

ВВЕДЕНИЕ

Сборка изделий (особенно высокоточных) является наиболее ответственным этапом изготовления машин. Особенно ярко это проявляется при изготовлении высокоточных узлов, применяемых в изделиях для авиационно-космической промышленности, прецизионного станкостроения, двигателестроения и пр., т.к. данные отрасли характеризуются жесткими, постоянно возрастающими требованиями к качеству изготовления приборов и машин. В настоящее время функциональная точность высокоточных изделий превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок. Это привело к возникновению проблемы достижения заданных характеристик высокоточных изделий при их изготовлении, решение которой в большинстве случаев приводит к применению затратных способов таких как многочисленные переборки, доработки и уточнения конструкции [1;2].

Именно поэтому необходимо проведение исследований по созданию комплексного подхода к решению существующих задач в машиностроении, особенно сборки высокоточных изделий, т.к. основными особенностями эффективного функционирования машиностроительных предприятий являются сжатые сроки и высокое качество технологической подготовки производства (ТПП) [2]. Целью статьи является форми-

рование структуры комплексного подхода, обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между ТПП обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий, с учетом требований, заложенных при проектировании изделия, а также выбор и анализ решений для его реализации. Актуальность работы заключается в том, что на сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы: повышения качества и точности собираемых изделий, снижения затрат на материалы, внедрения ресурсосберегающих технологий и т. п. [1;2]. Отсутствует отвечающая реальным требованиям концепция системы в целом. Научная новизна данной работы состоит в разработке математических моделей и методик реализации комплекса проектных процедур, обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий, с учетом реально складывающейся производственной ситуации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Предлагается подход (комплекс проектных процедур), который основывается на установлении связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия [3;4]. В об-

щем виде связь представлена на рис. 1. Данный подход позволит в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать оптимальные технологические процессы обработки элементов, учитывая требования последующей сборки, что, в свою очередь, позволит снизить трудоемкость, время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, а также сократить время и трудоемкость при ТПП.

Структура комплекса включает в себя следующие процедуры:

- анализ требований к сборке высокоточных изделий;
- анализ возможных технологических процессов обработки деталей, входящих в высокоточные изделия;
- выбор на основе анализа рациональных технологических процессов.



Рис. 1. Связь между технологической подготовкой обрабатываемого и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия

Структура комплекса в общем виде приведена на рис. 2.

Анализ исходных данных и разработка рациональных технологических процессов в системе автоматизированного планирования технологических процессов (САПЛ-ТП) [5] включают в себя несколько этапов.

На начальных этапах проводится конструкторский размерный анализ сборочного изделия и деталей, задействованных в сборке, и технологический размерный анализ множества возможных вариантов технологических процессов, разработанных в САПЛ-ТП. Исходными данными для проведения конструкторского размерного анализа являются:

- конструкторская документация на сборочное изделие;

- конструкторская документация на детали, задействованные в сборке.

На основе исходных данных проводится конструкторский размерный анализ сборочного изделия и деталей, участвующих в сборке. В ходе него определяются критичные требования сборки и детали, участвующие в этих требованиях.

Размерные связи машиностроительных деталей (сборочных изделий) представляются графом, вершины которого обозначают элементарные поверхности, а ребра – размерные связи между ними. В результате конструкторского размерного анализа формируются графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров. Для автоматизации этапа применена математическая модель представления и анализа деталей и сборок, исходными данными для которой являются полученные графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров [6].

Проектирование технологических процессов в настоящее время невозможно без участия технологов. Это приводит к субъективному подходу при принятии решений на стадии ТПП и, как следствие, к снижению показателей эффективности работы производственных систем при реализации технологических процессов. Кроме того, разработка технологических процессов неавтоматизированными методами в условиях многономенклатурного производства позволяет анализировать ограниченное число вариантов на отдельных этапах проектирования. Следствием этого являются потеря качества технологических решений и увеличение сроков ТПП. Одним из подходов, позволяющих автоматизировать ТПП, является САПЛ-ТП. Данная система позволяет обеспечивать параллельное проектирование технологических процессов для заданной группы деталей в рассматриваемый период времени с учетом реально складывающейся производственной ситуации [5].

Исходными данными для технологического размерного анализа является множество вариантов технологических процессов изготовления деталей, задействованных в сборке, полученное в САПЛ-ТП.

Технологический размерный анализ заключается в построении графов возможных технологических процессов изготовления деталей. Граф представляет собой совмещение двух деревьев: производного и исходного. Производное дерево отображает технологические размеры, исходное дерево – конструкторские размеры и размеры припусков. Таким образом, граф технологического процесса позволяет в закодированной форме представить геометрическую структуру технологического процесса обработки и является его математической моделью. Применение таких математических моделей позволит выбирать технологические процессы обработки элементов, в наибольшей степени удовлетворяющие требованиям по точности изготовления и требованиям сборки изделия [7].

На рис. 3 а, 3 б представлены размерные схемы (радиальное направление) двух вариантов технологических процессов для детали «Втулка» и их расчет на точность с применением теории графов (А – конструкторские размеры, Т – технологические размеры, З – размер исходной заготовки, Z – припуски на механическую обработку).

Для автоматизации расчета технологических размерных цепей использован подход, исходными данными для которого являются граф технологического процесса и размерные цепи. В нем используются две матрицы: номинальных размеров и допусков. Можно выделить следующие преимущества данного подхода:

- отсутствует необходимость выявления увеличивающих и уменьшающих звеньев отдельных размерных цепей и составления уравнений расчета;
- для выполнения необходимых расчетов номинальных размеров и их допусков требуется составить только две матрицы смежности (матрицу допусков и матрицу номинальных размеров) и размерную цепь;
- при реализации алгоритма не требуется особая нумерация поверхностей;
- алгоритм позволяет автоматизировать расчеты цепей отклонения формы и расположения;
- алгоритм может быть применен как для размерного анализа технологических процессов деталей типа «тело вращения», так и более сложных изделий [7].

На заключительном этапе выбирается множество технологических процессов изготовления деталей, удовлетворяющих требованиям сборки (точность и качество изготовления, собираемость изделий). Среди них определяется вариант рационального технологического процесса с учетом складывающейся производственной ситуации. Выбор варианта рационального технологического процесса осуществляется по следующим критериям:

- время реализации технологического процесса;
- количество операций технологического процесса;
- производственные мощности предприятия (наличный парк станков, технологическая оснастка, средства измерения и прочие условия, при которых должна осуществляться обработка детали);
- себестоимость изготовления детали.

Выбор рационального технологического процесса осуществляется методом многокритериальной оптимизации с применением генетического алгоритма [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлена структура и проанализированы возможные решения реализации комплекса проектных процедур, обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между ТПП обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий авиационно-космической техники. Реализация данного подхода в САПЛ-ТП является актуальной, т.к. комплекс проектных процедур позволит учитывать реально склады-

вающуюся производственную ситуацию и выбирать рациональные технологические процессы обработки деталей с учетом требований сборки. Что, в свою очередь, позволит снизить трудоемкость, время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, сократить время и трудоемкость при ТПП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Семенов, А. Н. Проблемы теоретического обеспечения сборки высокотехнологичных изделий / А. Н. Семенов // Инструмент и технологии. - 2004. - № 21 - 22. - С. 122 -124.
2. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения : учебник / Б. М. Базров. - М. : Машиностроение, 2005. - 736 с.
3. Назарьев А. В. Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий авиационно-космической техники / А. В. Назарьев, П. Ю. Бочкарев // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. 2016. Т. 1. № 12. С. 28-34.
4. Назарьев, А. В. Организация эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий авиационно-космической техники / А. В. Назарьев, П. Ю. Бочкарев // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. 2017. № 1 (40). С. 227-235.
5. Бочкарев П.Ю. Проектирование технологических операций механообработки в системе планирования технологических процессов [Текст] / П.Ю.Бочкарев, В.В. Шалунов, Л.Г. Бокова // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2009. - Т. 3. - № 1. - С. 46-54.
6. Гречников Ф.В. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности [Текст] / Ф.В. Гречников, С.Ф. Глушенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. - 2011. - № 3-4. - С. 38-43.
7. Мухолзоев, А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей [Текст] / А. В. Мухолзоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, №3. – С. 48-55.
8. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы и их применение / В.М. Курейчик. – Таганрог: изд. ТРГУ, 2002. – 244 с.

Назарьев Александр Викторович – аспирант кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.», тел. +79297704399, e-mail: alex121989@mail.ru.

Бочкарев Петр Юрьевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.», тел. +79272213640, e-mail: bpu@sstu.ru.



Рис. 2. Структура комплекса проектных процедур

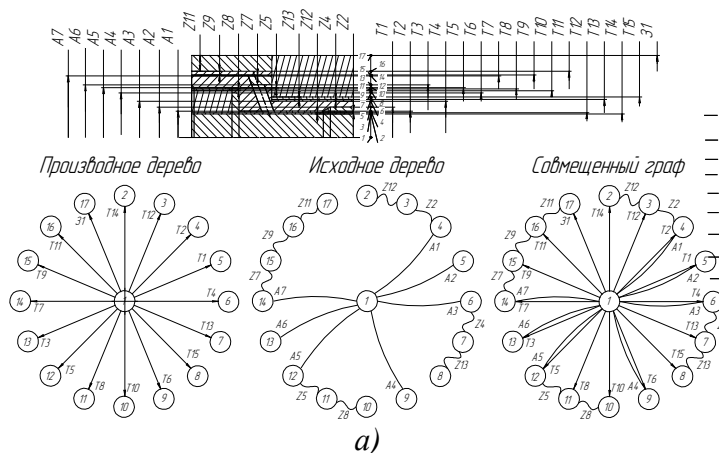


Рис. 3 а. Размерная схема и расчет на точность для технологического процесса №1 детали «Втулка»

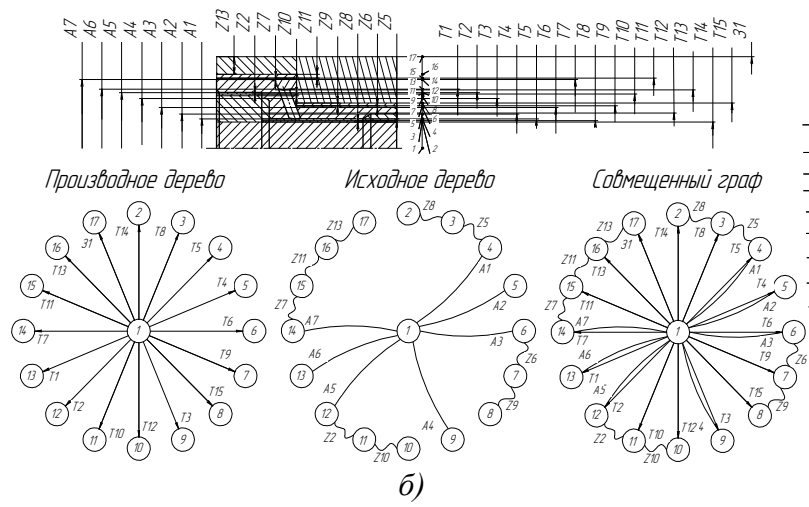


Рис. 3 б. Размерная схема и расчет на точность и для технологического процесса №2 детали «Втулка»

ORGANIZATION OF STRUCTURE OF COMPLEX OF DESIGN PROCEDURES FOR AUTOMATIZATION OF PROCESS DESIGN OF HIGH-PRECISION UNITS OF AEROSPACE INDUSTRY

A.V. Nazaryev, P.Yu. Bochkaryov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov

Abstract – The problem of improving machine-building production is of paramount importance. The required precision is achieved with the traditional methods of manufacturing. They are: the complication of the processing equipment and the applying of the information technologies and measurement technologies. At present, the functional precision of the high-precision products (the devices and the machines) has surpassed the precision of the machining equipment and the assembly equipment almost by a decade. This leads to the problem of the achieving of the specified quality and accuracy of the high-precision products during their manufacture. Now there are just the segmental solutions for some specific tasks of these issues, such as the upgrading of the quality and the precision of the production, the reduction of the material costs, the adoption of the resource-saving technologies and so on. But the unifying vision of the system meeting the real requirements does not exist. In the present paper the discipline of the holistic approach (complex of design procedures) which provide the effectiveness of the realization of the assembly operations is considered. The effective realization of the assembly operations is based on the links between the process design of the manufacturing of the high-precision products and the process design of the assembly production of the high-precision products. Moreover, mathematical models and approaches of realization of the complex are considered in this paper.

Index terms: assembly production; complex of design procedures; high-precision units; graph of the sizes; graph of the mating of elements of assembly; system of automated sequencing of manufacturing methods.

REFERENCES

1. Semenov, A.N. Problems of theoretical supporting of assemblage of high-tech product [Text] / A.N. Semenov // *Instrument i tekhnologii*. – 2004. № 21 - 22. - p. 122 -124.
2. Bazrov, B.M. Fundamentals of mechanical engineering / B.M. Bazrov. – Moscow : Mashinostroenie Publ., 2005. - 736 p.
3. Nazarev, A.V. Assurance of efficient assembly operations carrying out of products of mechanical engineering and instrument making [Text] / A.V. Nazarev, P.Yu. Bochkarev // *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*. 2016. vol. 1. № 12. p. 28–34.
4. Nazarev, A.V. Architecture of assembly operations effective implementation for aerospace engineering high-precision workpieces [Text] / A.V. Nazarev, P.Yu. Bochkarev // *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Soloveva*. 2017. №.1 (40). p. 227-235.
5. Bochkarev, P.Yu. Machining technological operations designing within the system of technological operations planning [Text] / P.Yu. Bochkarev, V.V. Shalunov, L.G. Bokova // *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2009. - vol. 3. - № 1, p. 46–54.
6. Grechnikov, F.V. Design build process for the accuracy of eligibility [Text] / F.V. Grechnikov, S.F. Tlustenko // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva*. - 2011. - №. 3-4. - p. 38–43.
7. Mukholzoev, A.V. The algorithm for automated calculation of technological dimensional chains [Text] / A.V. Mukholzoev // *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie*. – 2015. - vol. 15. - № 3. - p. 48–55.
8. Kurejchik, V.M. Genetic algorithms and their application / V.M. Kurejchik. – Taganrog: TRSU Publ. - 2002. – 244 p.

Nazarev Alexander V. – postgraduate student of department «Mechanical engineering», Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, phone: +79297704399, e-mail: alex121989@mail.ru

Bochkarev Petr Yu. – professor of department «Engineering mechanics and machine's elements», Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, phone: +79272213640, e-mail: bpy@sstu.ru