

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ

© 2017

А.В. Назарьев, аспирант кафедры «Технология машиностроения»

П.Ю. Бочкарев, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Технология машиностроения»

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов (Россия)

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

Аннотация: В настоящее время вопрос совершенствования изготовления высокоточных узлов приобретает первостепенное значение, так как данные изделия характеризуются жесткими, постоянно возрастающими требованиями к точности и качеству изготовления. Это приводит к возникновению проблемы достижения заданных эксплуатационных характеристик таких изделий. На сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы, отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом. Именно поэтому необходимо проведение исследований по созданию комплексного подхода, обеспечивающего эффективное выполнение сборки высокоточных изделий. В статье формируется структура комплексного подхода (комплекса проектных процедур), который основывается на установлении связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия. Также в статье выбираются и анализируются математические модели и подходы для реализации комплекса (математическая модель представления и анализа деталей и сборок, исходными данными для которой являются полученные графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров; подход для автоматизации расчета технологических размерных цепей, исходными данными для которого являются граф технологического процесса и размерные цепи). Реализация данного комплексного подхода в системе автоматизированного планирования технологических процессов позволяет учитывать реально складывающуюся производственную ситуацию и выбирать рациональные технологические процессы обработки деталей с учетом требований сборки, что, в свою очередь, приводит к повышению точности и качества, снижению трудоемкости, времени изготовления и себестоимости высокоточных изделий, а также к сокращению времени и трудоемкости при технологической подготовке производства.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед машиностроительным производством стоит задача выпуска в короткий срок небольшими партиями изделий высокой функциональной точности. При традиционных методах изготовления заданная точность достигается усложнением технологического оборудования и использованием информационных и измерительных технологий. Однако в настоящее время функциональная точность высокоточных изделий (приборов и машин) превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок. Это привело к возникновению проблемы достижения заданных точности и качества изготовления высокоточных изделий [1]. Данная проблема решается в основном затратными способами в виде многочисленных доработок, переборок и уточнения конструкции. Кроме того, значительные трудности, особенно на этапе сборочного производства, создает влияние непознанных и неуправляемых причин, вызывающее непрогнозируемый разброс заданных эксплуатационных характеристик [2–4].

Существующие методы достижения точности сборки не являются универсальными и зависят от типа производства и конструктивных особенностей изготавливаемых изделий. Например, метод селективной сборки обеспечивает требуемое качество сборки изделий из деталей, точность изготовления которых значительно меньше заданной функциональной. Данный метод обеспечивает низкую себестоимость изготовления изделия, но эффективен только в крупносерийном и массовом производствах. Кроме того, при сборке высоко-

точных изделий в основном не предусматривается возможность использования методов селективной сборки, индивидуальной пригонки и регулирования. Значительно чаще применяются производственные приемы достижения точности (доводочные работы). Это негативно сказывается на длительности и стоимости сборочного цикла.

Основными требованиями эффективного функционирования машиностроительных предприятий являются сжатые сроки (соответственно выбранному типу производства и такту выпуска при массовом производстве) и высокое качество технологической подготовки производства (ТПП). Именно поэтому необходимо проведение исследований по созданию комплексного подхода к решению существующих задач в машиностроении, особенно в области сборки высокоточных изделий [3; 4].

Целью статьи является формирование 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. Научная новизна данной 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. [2; 5; 6]. Отсутствует отвечающая реальным требованиям концепция системы в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предлагается подход (комплекс проектных процедур), который основывается на установлении связи между технологической подготовкой обрабатываемого и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия [7; 8]. В общем виде связь представлена на рис. 1. Данный подход позволит в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать оптимальные технологические процессы обработки элементов, учитывающие 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. 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) [9–11] 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 [12–14].

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 становится 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 [9–11].

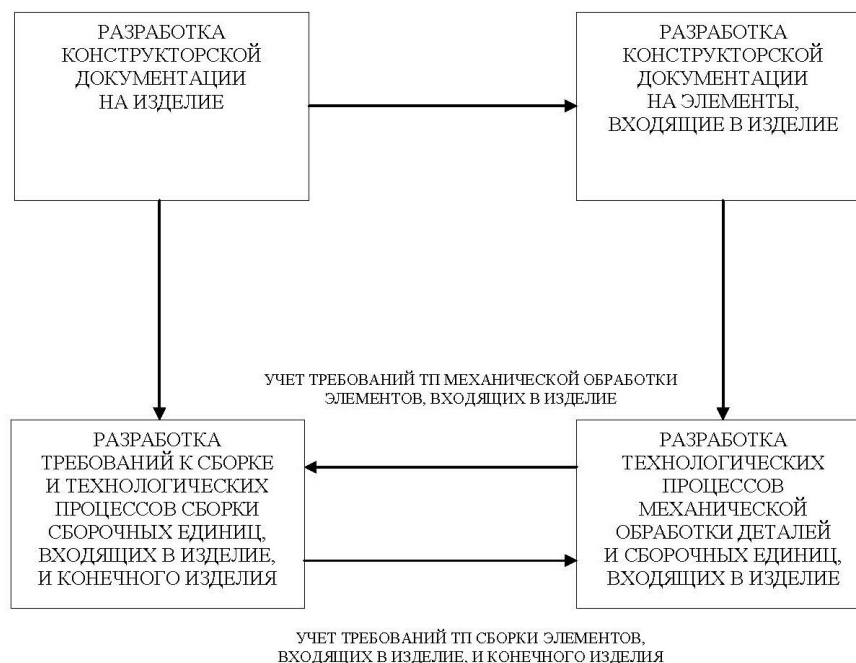


Рис. 1. Связь между технологической подготовкой обрабатываемого и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия

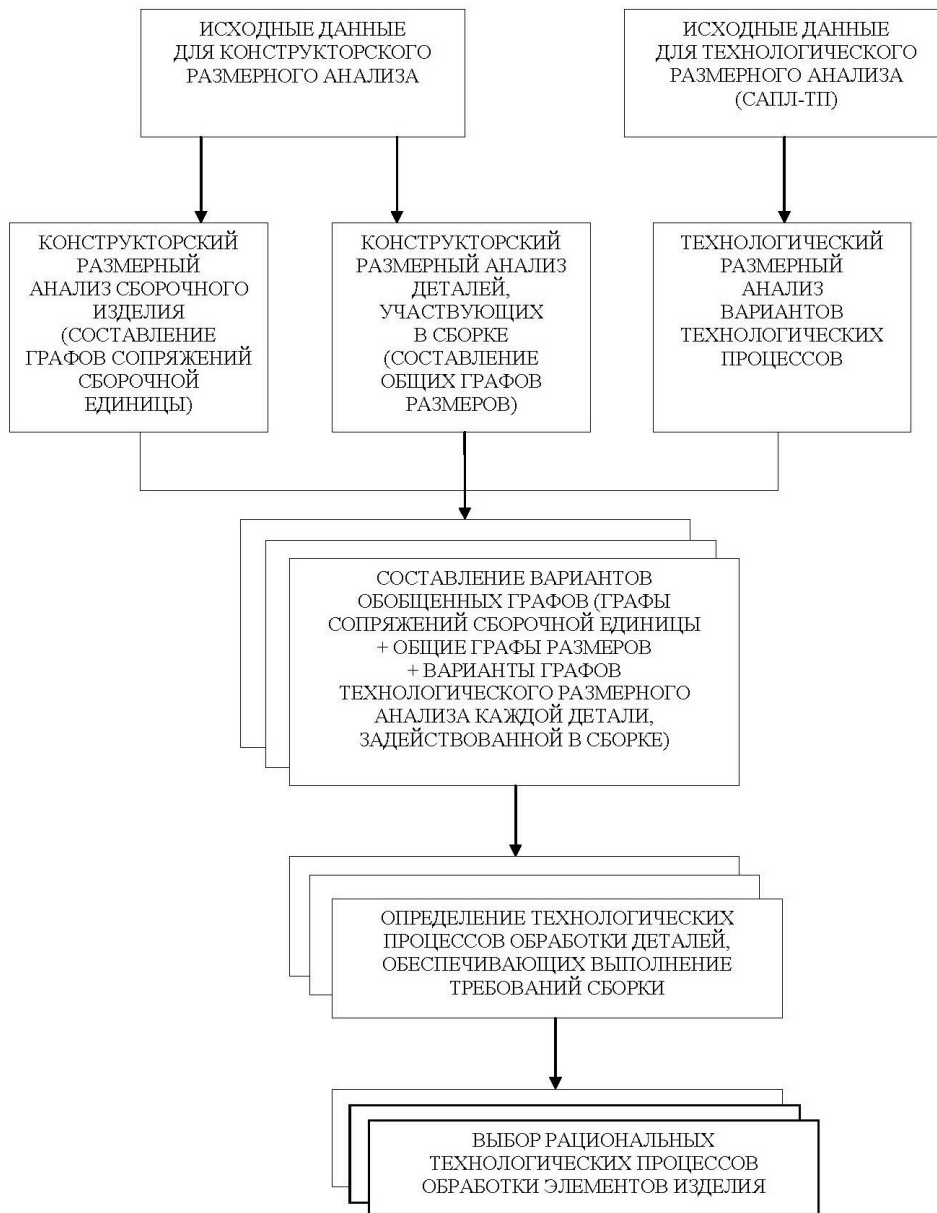


Рис. 2. Структура комплекса проектных процедур

Исходными данными для технологического размерного анализа является множество вариантов технологических процессов изготовления деталей, задействованных в сборке, полученное в САПР-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 [15–17].

На рис. 3 а, 3 б представлены размерные схемы (радиальное направление) двух вариантов технологических процессов для детали «Ось» и их расчет на точность с применением теории графов (A – конструкторские размеры, T – технологические размеры, Z – 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;

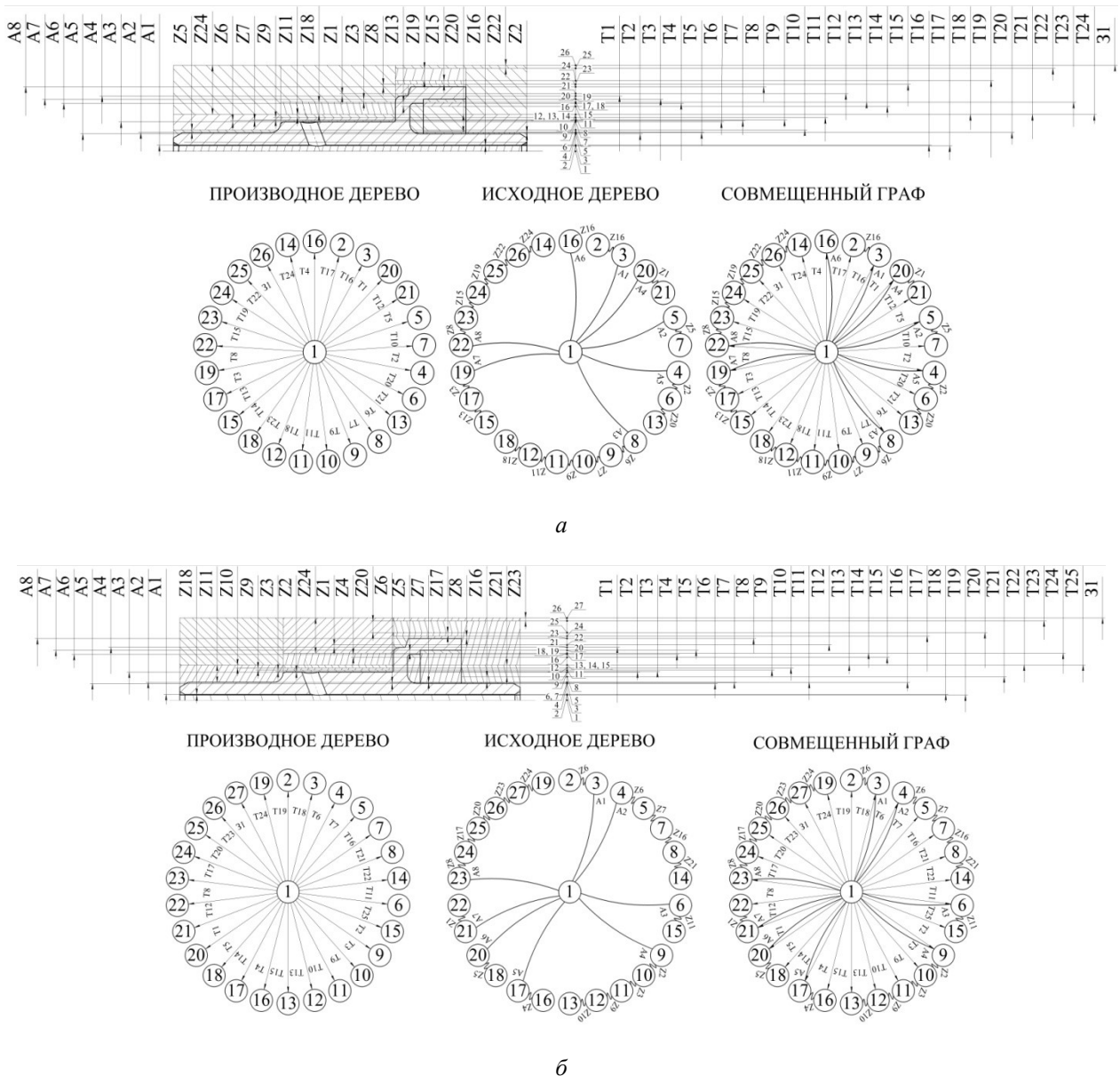


Рис. 3. Размерная схема и расчет на точность для технологического процесса № 1 (а) и технологического процесса № 2 (б) детали «Ось»

– при реализации алгоритма не требуется особая нумерация поверхностей;

– алгоритм позволяет автоматизировать расчеты цепей отклонения формы и расположения;

– алгоритм может быть применен для размерного анализа технологических процессов как деталей типа «тело вращения», так и более сложных изделий [18–20].

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; стоимость реализации; норма прибыли.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

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, с учетом требований, заложенных при проектировании изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация данного подхода в САПЛ-ТП является актуальной, так как комплекс проектных процедур позволит учитывать реально складывающуюся производственную ситуацию и выбирать рациональные технологические процессы обработки деталей с учетом требований

сборки, что позволит снизить трудоемкость, время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, а также сократить время и трудоемкость при ТПП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Семенов А.Н. Проблемы теоретического обеспечения сборки высокотехнологических изделий // *Инструмент и технологии*. 2004. № 21-22. С. 122–124.
- Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.
- Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2005. 736 с.
- Падун Б.С. Взаимодействие процессов механического и сборочного производства // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2014. Т. 57. № 8. С. 12–15.
- Суслов А.Г. Технология машиностроения. М.: Кнорус, 2013. 336 с.
- Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2014. Т. 57. № 8. С. 7–11.
- Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий машиностроения и приборостроения // *Научноёмкие технологии в машиностроении*. 2016. Т. 1. № 12. С. 28–34.
- Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Организация эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий авиационно-космической техники // *Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева*. 2017. № 1. С. 227–235.
- Бочкарев П.Ю., Шалунов В.В., Бокова Л.Г. Проектирование технологических операций механообработки в системе планирования технологических процессов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2009. Т. 3. № 1. С. 46–54.
- Иванов А.А., Бочкарев П.Ю. Формализация описания и метода поиска оптимальной реализации технологических процессов механообработки в системе планирования технологических процессов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2015. Т. 3. № 1. С. 76–85.
- Разманов И.А., Митин С.Г. Обоснование системы показателей для оценки уровня проектных решений различных этапах подготовки многономенклатурных производств // *Новая наука: проблемы и перспективы*. 2016. № 2-1. С. 180–183.
- Гречников Ф.В., Глустенко С.Ф. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва*. 2011. № 3-4. С. 38–43.
- Гречников Ф.В., Глустенко С.Ф. Обеспечение точности и взаимозаменяемости в технологических автоматизированных системах производства летательных аппаратов // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13. № 4-1. С. 202–208.
- Гречников Ф.В., Глустенко С.Ф. Теория формализованного описания математических моделей сборки агрегатов летательных аппаратов // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2011. № 3-4. С. 30–37.
- Матвеев В.В., Тверской М.М., Бойков Ф.И. Размерный анализ технологических процессов. М.: Машиностроение, 1982. 264 с.
- Мордвинов Б.С. Исследование геометрических структур с применением теории графов // *Известия вузов. Машиностроение*. 1965. № 3. С. 111–118.
- Харари Ф. Теория графов. М.: Машиностроение, 2003. 296 с.
- Масягин В.Б., Головченко С.Г. Метод расчета линейных технологических размеров на основе матричного представления графа // *Омский научный вестник. Серия: Приборы, машины и технологии*. 2003. № 3. С. 75–78.
- Thimm G., Britton G.A., Fok S.C. A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning. Part 1: Designing to process planning // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2004. Vol. 24. P. 261–271.
- Мухомозов А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2015. Т. 15. № 3. С. 48–55.

REFERENCES

- Semenov A.N. The issues of theoretical provision of high-technology goods assembling. *Instrument i technologii*, 2004, no. 21-22, pp. 122–124.
- Suslov A.G., Dalskiy A.M. *Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Scientific bases of technology of mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2002. 684 p.
- Bazrov B.M. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Fundamentals of mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 736 p.
- Padun B.S. Interaction of processes of machining and assembling works. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priboroostroenie*, 2014, vol. 57, no. 8, pp. 12–15.
- Suslov A.G. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Mechanical engineering technology]. Moscow, Knorus Publ., 2013. 336 p.
- Kulikov D.D., Padun B.S., Yablochnikov E.I. Perspectives of automation of technological reproduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priboroostroenie*, 2014, vol. 57, no. 8, pp. 7–11.
- Nazarev A.V., Bochkarev P.Yu. Assurance of efficient assembly operations carrying out of products of mechanical engineering and instrument making. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2016, vol. 1, no. 12, pp. 28–34.
- Nazarev A.V., Bochkarev P.Yu. Architecture of assembly operations effective implementation for aerospace engineering high-precision workpieces. *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Soloveva*, 2017, no. 1, pp. 227–235.
- Bochkarev P.Yu., Shalunov V.V., Bokova L.G. Machining technological operations designing within the system of technological operations planning. *Vestnik*

- Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 3, no. 1, pp. 46–54.
10. Ivanov A.A., Bochkarev P.Yu. Formalizing the description and methods for optimization of mechanical treatment technologies within the system of planning technological processes. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 76–85.
 11. Razmanov I.A., Mitin S.G. The justification for the system of parameters to evaluate the level of design decisions at various stages of preparation of multiproduct manufacture. *Novaya nauka: problemy i perspektivy*, 2016, no. 2-1, pp. 180–183.
 12. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Designing the assembly processes upon the precision criterion. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva*, 2011, no. 3-4, pp. 38–43.
 13. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Maintenance of accuracy and interchangeability in the technological automated systems of manufacture of flying machines. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2011, vol. 13, no. 4-1, pp. 202–208.
 14. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Theory representations mathematical models and sequences of performance of technological operators of assemblage of planes. *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie*, 2011, no. 3-4, pp. 30–37.
 15. Matveev V.V., Tverskoy M.M., Boykov F.I. *Razmernyy analiz tekhnologicheskikh protsessov* [Tolerance analysis of technological process]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 264 p.
 16. Mordvinov B.S. The study of geometric structures using the graph theory. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 1965, no. 3, pp. 111–118.
 17. Kharari F. *Teoriya grafov* [Graph theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 296 p.
 18. Masyagin V.B., Golovchenko S.G. The method of calculating the linear machining dimensions using the graph's matrix representation. *Omskiy nauchnyy vestnik. Seriya: Pribory, mashiny i tekhnologii*, 2003, no. 3, pp. 75–78.
 19. Thimm G., Britton G.A., Fok S.C. A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning. Part 1: Designing to process planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2004, vol. 24, pp. 261–271.
 20. Mukholzoev A.V. The algorithm for automated calculation of technological dimensional chains. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 48–55.

ENGINEERING SUPPORT OF PRODUCTION OF HIGH-ACCURACY COMPONENT ASSEMBLIES

© 2017

A.V. Nazaryev, postgraduate student of Chair “Mechanical engineering”
P.Yu. Bochkarev, Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor, professor of Chair “Mechanical engineering”
Gagarin Yu.A. Saratov State Technical University, Saratov (Russia)

Keywords: assembly factory; design procedures complex; high-accuracy products; dimensions graph; graph of conjugation of assembly unit components; engineering process graph.

Abstract: Currently, the issue of improving the production of high-accuracy assembly units takes the center stage since these products are characterized by rigid, increasingly stringent requirements for accuracy and quality of manufacture. This leads to the problem of achieving specified operational characteristics of such products. Today, there are some isolated solutions to the individual tasks of this problem, and there is no any closest to real requirements concept of the system as a whole. For this reason, it is necessary to carry out the research to create the integrated approach ensuring the efficient assembly of high-accuracy products. The paper forms the structure of integrated approach (the complex of design procedures) based on the establishing the relation between the processing and assembling factories pre-production engineering with respect to the requirements specified during the product designing. The paper also selects and analyzes the mathematical models and approaches for implementing the complex (the mathematical model for the representation and analysis of the parts and assemblies the initial data for which are the obtained graphs of conjugations of assembly unit components and the dimensions graphs; the approach to automate the process dimension chains the initial data for which are the engineering process graph and the dimension chains). The implementation of this integrated approach within the system of automated manufacturing planning allows taking into account the actual manufacturing situation and selecting reasonable engineering procedures of the parts processing with respect to the assembly requirements that, in its turn, leads to the accuracy and quality improvement, labor saving, the production time reduction, and the high-accuracy products cost reduction, and causes time reduction and labor saving during the pre-production engineering.