

# Формирование структуры комплекса проектных процедур для эффективного выполнения технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе учёта особенностей сборки высокоточных изделий

*А.В. Назарьев,  
инж.-констр. I кат., alex121989@mail.ru,  
фил. НПЦАП - «ПО «Корпус», г. Саратов,  
П.Ю. Бочкарёв,  
проф. каф.ТММ, д.т.н., проф., bry@sstu.ru  
СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов*

В статье рассматривается организация комплексного подхода (комплекса проектных процедур), обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий.

The article deals with the organization of complex approach (a complex of design procedures) that ensures effective implementation of assembly operations based on the relationship between technological preparation of manufacturing and assembly production of precision products.

## Введение

Перед современным производством стоит задача выпуска в короткий срок небольшими партиями изделий высокой функциональной точности. Существующие методы достижения точности сборки не являются универсальными и зависят от типа производства и конструктивных особенностей изготавливаемых изделий. Кроме того, значительные трудности, особенно на этапе сборочного производства, создает влияние непознанных и неуправляемых причин, вызывающее непрогнозируемый разброс заданных эксплуатационных характеристик. Именно поэтому необходимо проведение исследований по созданию комплексного подхода для решения вопросов, возникающих при изготовлении подобных изделий. [1].

На сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы, отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом [2].

## Результаты исследований

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 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.



рис. 1. Связь между технологической подготовкой механообрабатывающего и сборочного производств

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.

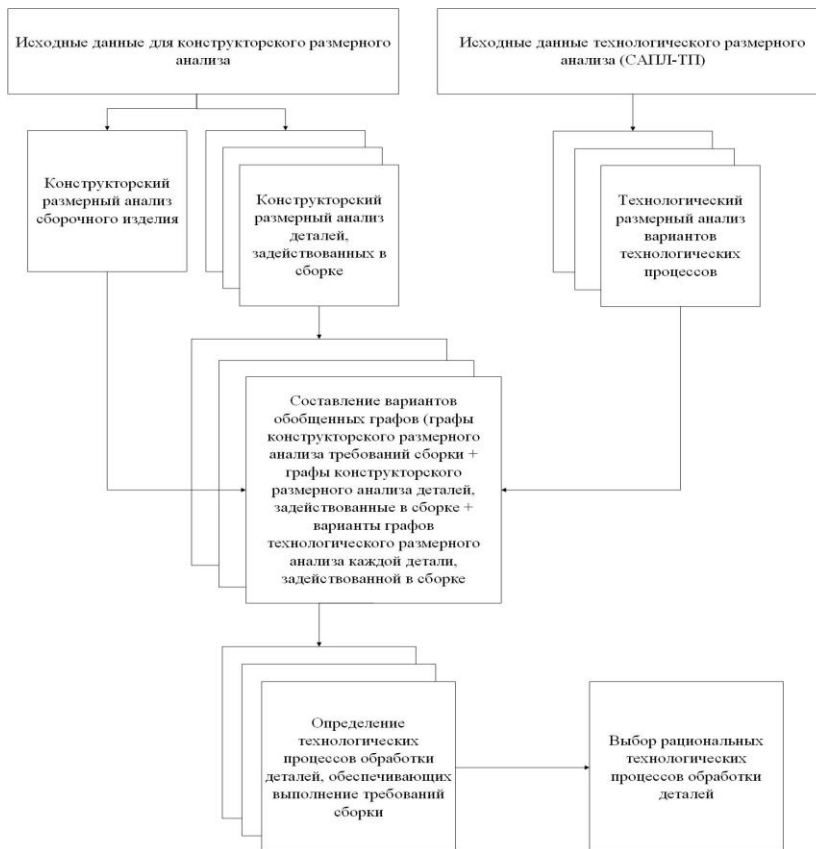


рис. 2. Структура комплекса проектных процедур

Исходными данными для проведения процедуры анализа высокоточной сборочной единицы (высокоточного изделия) и требований к ее (его) сборке являются конструкторская документация на сборочное изделие и детали, задействованные в сборке, и, полученные на основе обработки конструкторской документации, базы данных.

Для реализации процедуры необходимо выполнение нескольких этапов: разбиение высокоточного изделия или высокоточной сборочной единицы на структурные элементы (условное разделение структурных элементов на группы представлено на рис. 3); определение плоскостей для проведения конструкторского размерного анализа (КРА) отдельных структурных элементов и сборки в целом; формирования размерных цепей конструкторского размерного анализа.

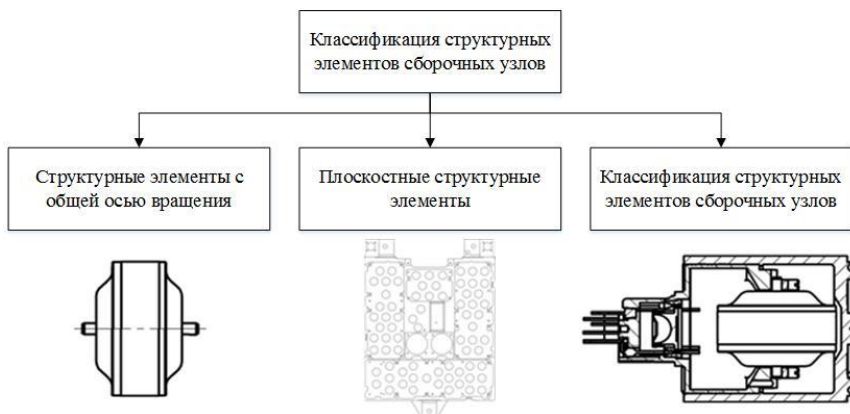


рис. 3. Классификация структурных элементов по компоновочному решению

Конструкторский размерный анализ заключается в построении графов размерного анализа сборочных единиц (графов сопряжений)  $G_C = (A, B)$  и графов размерного анализа деталей, входящих в данные сборочные единицы (графов размеров)  $G_P = (C, D)$ . Граф размеров может быть истолкован как результат развертки графа сопряжений до уровня геометрических контуров, образующих элементы изделия, и наоборот, граф сопряжений может быть истолкован как свертка графа размеров [5]. В результате получаем объединение графов (графы размеров являются элементами графа сопряжений). На рис. 4 представлено объединение фрагмента графа сопряжений (расчет одного требования к сборке высокоточного изделия «Гиромотор») и графов размеров деталей, входящих в высокоточное изделие «Гиромотор». На основе полученного объединенного графа строятся системы уравнений для расчета искомых звеньев.

Исходными данными для технологического размерного анализа является множество вариантов ТП изготовления деталей, задействованных в сборке, полученное в системе автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП).

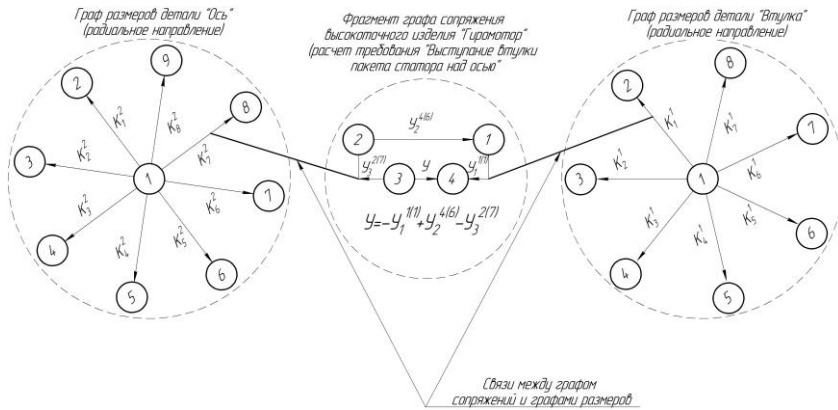


рис. 4. Объединение фрагмента графа сопряжений и графов размеров деталей высокоточного изделия «Гиромотор»

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 САПлТП. Данная система позволяет обеспечивать параллельное проектирование технологических процессов для заданной группы деталей в рассматриваемый период времени с учетом реально складывающейся производственной ситуации [6,7].

Технологический размерный анализ заключается в построении графов возможных вариантов ТП изготовления деталей  $G_T = (I, F)$ . 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.

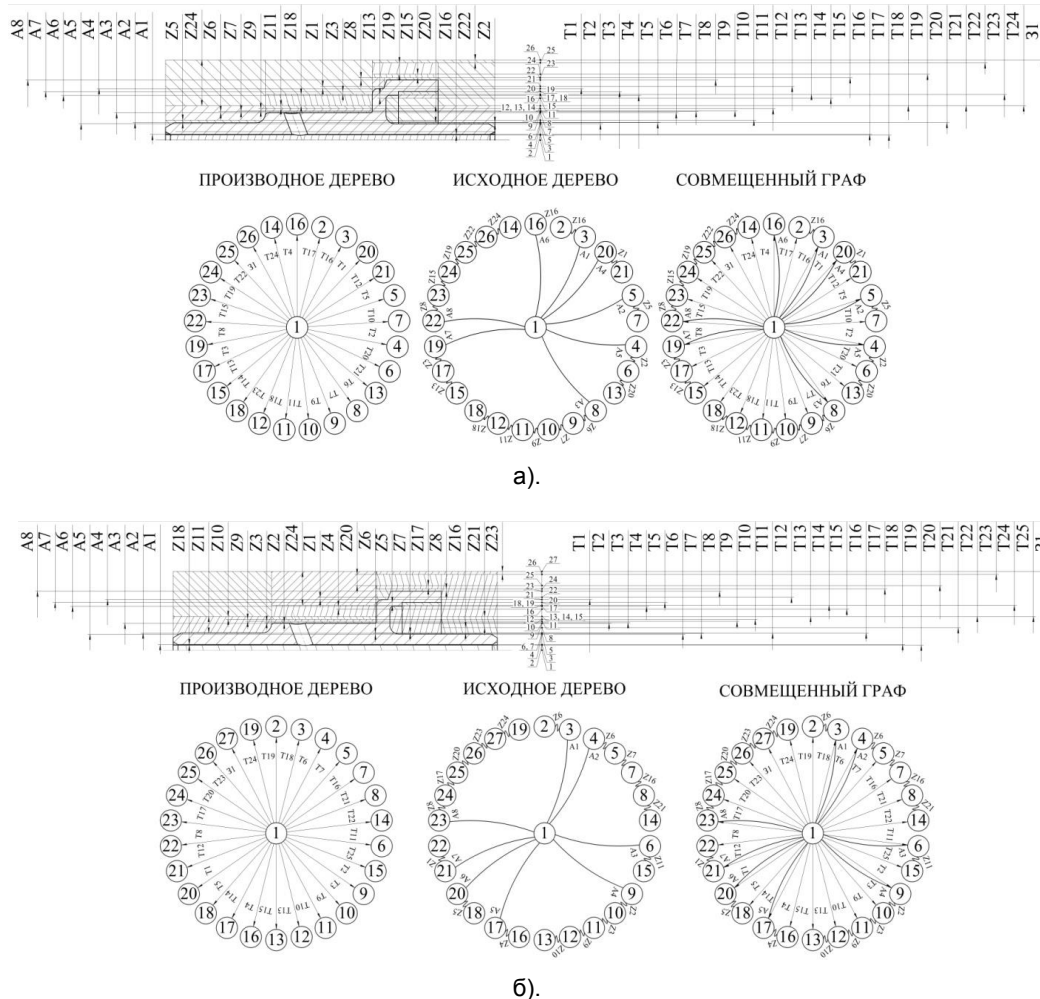


рис. 4. Размерная схема и расчёт на точность для технологического процесса № 1 (а) и технологического процесса № 2 (б) детали «Ось»

На рис. 4 а, 4 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). В результате для каждой детали получают варианты систем уравнений расчета номинальных размеров и припусков.

Для автоматизации расчета технологических размерных цепей использован модернизированный подход, исходными данными для которого являются граф технологического процесса и размерные цепи [8, 9].

На заключительном этапе составляются варианты обобщенных графов, включающие в себя графы конструкторского размерного анализа сборочных единиц и деталей, а также варианты графов технологического размерного анализа каждой детали, задействованной в сборке. Пример составления обобщенных графов приведен на рис. 5. В результате получают системы уравнений данных графов. На их основе выбирается множество технологических процессов изготовления деталей, удовлетворяющих требованиям сборки. Критерий выбора – получение максимально возможного числа сборочных комплектов  $max\{I_{СК}\}$ .

Из технологических процессов, удовлетворяющих требованиям сборки в свою очередь, определяется вариант рационального технологического процесса с учётом складывающейся производственной ситуации. Выбор варианта рационального технологического процесса осуществляется по следующим критериям: количество операций технологических процессов изготовления деталей ( $N_{оп}$ ); общее количество технологических переходов для каждого из технологических процессов изготовления деталей ( $N_{пер}$ ); однородность технологического оборудования ( $K_{одн.техн.оборуд.}$ ).

Выбор рационального технологического процесса осуществляется методом многокритериальной оптимизации по критерию Парето с применением генетического алгоритма для определения весовых коэффициентов важности каждого из критериев [10-13].

Для каждого из критериев рациональности необходимо подобрать оптимальное значение весовых коэффициентов  $\xi$ . При этом необходимо соблюдать следующее условие:

$$\xi_{оп} > \xi_{пер} > \xi_{одн.техн.оборуд}$$

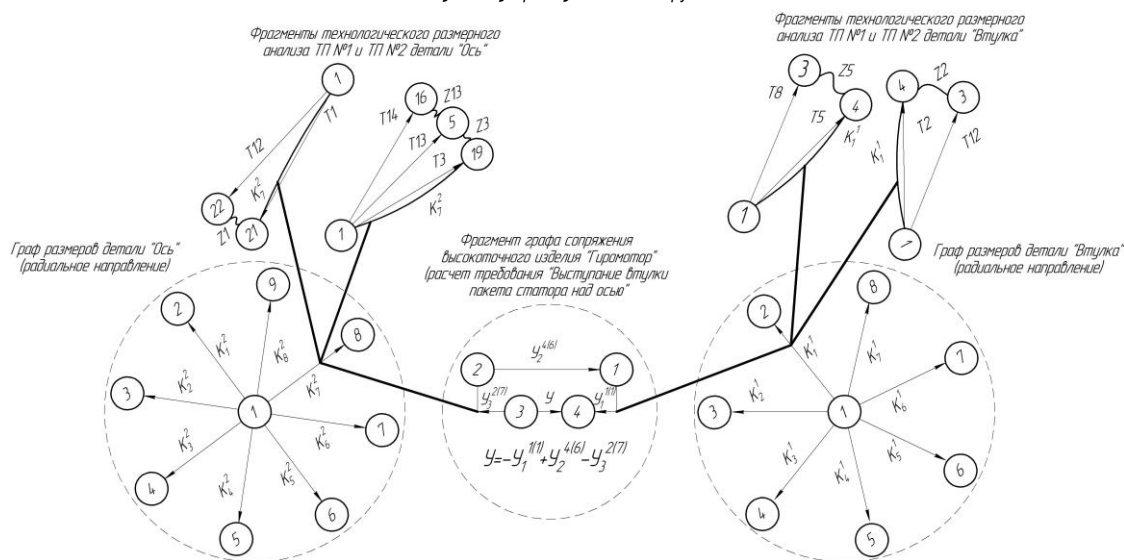


рис. 5. Фрагмент обобщенного графа для высокоточного изделия «Гиросмотор»

## 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.

## Литература

1. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник / Б.М. Базров. -М.: Машиностроение, 2005. - 736 с.
2. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. - М.: Машиностроение, 2002. - 684 с.
3. Назарьев А.В. Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий машиностроения и приборостроения / П.Ю. Бочкарев, А.В. Назарьев // Научноёмкие технологии в машиностроении. 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. Гречников, Ф.В. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности [Текст] / Ф.В. Гречников, С.Ф. Тлустенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. - 2011. - № 3-4. - С. 38–43.
6. Бочкарев, П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки [Текст] / П.Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. - 2002. - N 1. - С. 10-14.
7. Митин, С.Г. Автоматизация принятия конструкторских решений в соответствии с технологическими возможностями многономенклатурных производственных систем [Текст] / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Научные технологии в машиностроении. - 2014. - № 11 (41). - С. 44-47.
8. Thimm, G.A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning. Part 1: Designing to process planning / G. Thimm, G.A. Britton, S.C. Fok // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2004. – P. 261–271.
9. Мухомолов А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей [Текст] / А. В. Мухомолов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т.15, №3. – С. 48-55.
10. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы и их применение. – Таганрог: изд. ТРГУ, 2002. – 244с.
11. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экспериментальных задач. Нижегородский госуниверситет. – Нижний Новгород: изд. ННГУ, 1995. – 62с.
12. Усачев М.С. Многокритериальный выбор вариантов технических средств распределённых систем управления на основе чётких, нечётких множеств и генетических алгоритмов: Дисс. ... кандидата техн. наук: 05.13.01 - Защищена 18.05.2016 г. / ФГБОУ ВПО МГУЛ. - Мытищи: МГУЛ, 2016. - 238 с.
13. Догадина Е.П. Многокритериальное управление процессами мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры / Е. П. Догадина, А. Н. Коноплев // Методы и устройства передачи и обработки информации. - 2011. - № 1. - С. 121-123.