А. В. Назарьев¹, П. Ю. Бочкарев²

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ
КОМПЛЕКСА ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР СИСТЕМЫ УЧЕТА ТРЕБОВАНИЙ
К СБОРКЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

¹ Филиал научно-производственного центра автоматики и приборостроения
имени академика Н. А. Пилюгина – Производственное объединение «Корпус»

² Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова

E-mail: alex121989@mail.ru

В статье формируется структура комплекса проектных процедур системы учета требований к сборке при проектировании технологических процессов механической обработки, а также рассматривается математическое и методическое обеспечение реализации укрупненных блоков проектных процедур данной системы. Применение данного комплексного подхода в рамках действующего многономенклатурного производства позволяет сокращать время сборки высокоточных изделий и количество некомплектных деталей (незавершенное производство).

Ключевые слова: высокоточное изделие; математическое обеспечение, методическое обеспечение, комплекс проектных процедур.

A. V. Nazaryev¹, P. Yu. Bochkarev²

MATHEMATICAL AND METHODOLOGICAL IMPLEMENTATION OF THE COMPLEX OF DESIGN PROCEDURES OF THE SYSTEM OF ACCOUNTING REQUIREMENTS FOR ASSEMBLY IN DESIGN OF MANUFACTURING METHODS OF MECHANICAL PROCESSING

¹ Branch of Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making- Industrial Association «Korpus»

² Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov

The structure of the complex of design procedures of the complex of design procedures of the system of accounting requirements for assembly in design of manufacturing methods of mechanical processing is formed in the article, and the mathematical and methodological implementation for the realization of the integrated blocks of design procedures of this system is considered. The employment of this integrated approach within the framework of the existing multi-nomenclature production allows to reduce the assembly time of high-precision products and the number of incomplete parts (work-in-process).

Keywords: high-precision product; mathematical implementation; methodological implementation; complex of design procedures.

Задача исследования

Разработка комплекса формализованных проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки (СТСТПМ) [1], позволяющая в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать в системе автоматизированного планирования технологических процессов (САПЛТП) [2] рациональные технологии обработки деталей, учитывающие точностные требования сборки и обеспечивающие качественное и эффективное выполнение сборочных операций.

Понятие «высокоточные изделия» следует применять с учетом конкретной производственной ситуации, когда при сборке для значительной части сборочных единиц изделий не обеспечивается допуск замыкающего звена. Необходимо изготавливать дополнительные

сборочные комплекты, увеличивается объем незавершенного производства.

Подобный комплексный подход к технологической подготовке производства (ТПП) должен базироваться на реализации следующих принципов: проектирование рациональных технологических процессы (ТП) механообработки деталей, обеспечивающих заданные качество и точность, а также минимальную себестоимость их реализации (технологическую себестоимость); учет ограничений, накладываемых требованиями к сборке изделий, при проектировании ТП механической обработки; учет оперативной производственной ситуации.

Методика

Структура СТСТПМ, представленная в общем виде на рис. 1, включает в себя три укрупненных блока проектных процедур [1; 3]

Рис. 1. Структура СТСТПМ

Для реализации первой процедуры «Анализ высокоточного изделия и требований к его сборке» представлена классификация структурных элементов и разработана методика разбиения высокоточного изделия на структурные элементы для дальнейшего проведения конструкторского размерного анализа (КРА) [3].

Для проведения КРА была выбрана [4; 5] и доработана математическая модель, для реализации которой применяется аппарат теории графов.

Конструкторский размерный анализ заключается в построении графов размерного анализа сборочных единиц (графов сопряжений) $G_C = (B_C, C_C)$ и графов размерного анализа деталей, входящих в данные сборочные единицы (графов размеров) $G_P^j = (B_P, C_P)$ ($j_1=1...n_1$ обозначает номер детали в сборке). В результате получаем объединение графов (графы размеров являются элементами графа сопряжений):

$$G_P^1, G_P^2...G_P^n \in G_C = G_{CP} \quad (1)$$

Для корректного составления необходимых графов сопряжений-размеров и формирования на их основе систем уравнений предлагается присвоить индексы всем деталям, входящим в сборочные единицы, и всем размерам данных деталей, т. к. размеры одной и той же детали могут быть задействованы при расчете нескольких требований сборки высокоточного изделия.

На основе полученного объединенного графа построены уточненные [3] системы уравнений, в которых учитывается предложенная индексация:

Плоскость 1

$$\begin{cases} B_1 = \sum_{i=1}^n A_{1i}^{j_1 j_2} & A_{1i}^{j_1 j_2} = \sum_{c=1}^l A_{ci}^{j_1 j_2} \\ B_2 = \sum_{i=1}^{j_2} A_{2i}^{j_1 j_2} & A_{2i}^{j_1 j_2} = \sum_{c=1}^l A_{ci}^{j_1 j_2} \\ \vdots \\ B_x = \sum_{i=1}^{j_x} A_{xi}^{j_1 j_2} & A_{xi}^{j_1 j_2} = \sum_{c=1}^l A_{ci}^{j_1 j_2} \end{cases}$$

(2)

где $B_1, B_2, \dots, B_x$ – требования к сборке, выяв-

ленные в ходе проведения КРА сборочной единицы; $A_{1i}^{j_1 j_2}, A_{2i}^{j_1 j_2}, \dots, A_{xi}^{j_1 j_2}$ – составляющие звенья конструкторской размерной цепи (индекс i обозначает порядковый номер составляющего звена, индекс j_2 – номер размера данной детали ($j_2=1...n_2$), участвующего в расчете требования, соответственно, $A_i^{j_2}$ – составляющие звенья конструкторских размерных цепей деталей.

Для расчета номинального размера и допуска замыкающего звена используются известные формулы [4].

Таким образом, в результате реализации блока процедур получены комплекты деталей, размеры которых участвуют в расчете каждого из требований сборки. Далее в САПлТП необходимо получить все возможные варианты ТП изготовления данных деталей для проведения второго укрупненного блока процедур «Анализ возможных технологических процессов обработки деталей, входящих в высокоточное изделие».

Технологический размерный анализ заключается в построении графов возможных вариантов ТП изготовления деталей $G_T^{j_1 j_3} = (B_T, C_T)$ (где j_3 – номер варианта ТП для детали ($j_3=1...n_3$)). Реализация данной процедуры подробно изложена в [1; 3].

На заключительном этапе составляются варианты обобщенных графов, включающие в себя графы КРА сборочных единиц и деталей, а также варианты графов технологического размерного анализа каждой детали, задействованной в сборке. Графы технологического размерного анализа вариантов ТП являются элементами объединенного графа сопряжений и размеров:

$$G_T^{j_1 1}, G_T^{j_1 2}...G_T^{j_1 n} \in G_{CP} \quad (3)$$

Для реализации этого этапа предложена методика объединения графов размеров-сопряжений и графов размерного анализа вариантов ТП механической обработки деталей в обобщенные графы. Пример составления обобщенных графов приведен на рис. 2.

Рис. 2. Фрагмент обобщенного графа для высокоточного изделия «Гиромотор»

В результате реализации процедуры сгенерированы уточненные [3] варианты систем уравнений обобщенных графов, учитывающие предложенную нами индексацию.

Сформированные варианты уравнений КРА высокоточных изделий (сборочных единиц) для полученных плоскостей КРА

$$\begin{cases} B_1 = \sum_{i=1}^{p_1} A_{1,i}^{j_1, j_2} \\ B_2 = \sum_{i=1}^{p_2} A_{2,i}^{j_1, j_2} \\ \dots \\ B_X = \sum_{i=1}^{p_X} A_{X,i}^{j_1, j_2} \end{cases},$$

Сформированные варианты систем уравнений КРА для полученных комплектов деталей

$$\begin{cases} A_{1,i}^{j_1, j_2} = \sum_{i=1}^{l_1} A_i^{j_2} \\ A_{2,i}^{j_1, j_2} = \sum_{i=1}^{l_2} A_i^{j_2} \\ \dots \\ A_{X,i}^{j_1, j_2} = \sum_{i=1}^{l_X} A_i^{j_2} \end{cases}$$

Сформированные варианты систем уравнений технологического размерного анализа для множеств ТП, полученных в САПРТП

$$\begin{cases} A_{j_3}^{i_1, j_2} = \sum_{i=1}^{n_6} S_{i, j_3}^{i_1, j_2} \\ Z_{j_3}^{i_1, j_4} = \sum_{i=1}^{n_7} S_{i, j_3}^{i_1, j_2} \end{cases}$$

(4)

На их основе предлагается выбирать множество ТП изготовления деталей, удовлетворяющих требованиям сборки. Критерий выбора – получение максимально возможного числа сборочных комплектов (СК) $W_{СК} = \max\{d_i\}$. d_i – число сборочных комплектов для j_3 -го варианта ТП. Для выбора используется известный математический аппарат [6].

Далее, из ТП, удовлетворяющих требованиям сборки, должен определяться вариант рационального ТП, учитывающий, помимо прочего, складывающуюся производственную ситуацию.

Выбор варианта рационального ТП предлагается осуществлять по следующим критериям: количество операций ТП изготовления деталей ($W_{оп}$); общее количество технологических переходов для каждого из ТП изготовления деталей ($W_{пер}$); однородность технологического оборудования ($W_{отд}$).

Выбор рационального ТП производится на основе известного метода многокритериальной оптимизации по критерию Парето с применением генетического алгоритма для определения весовых коэффициентов важности каждого из критериев [7].

Для каждого из критериев рациональности определяется значение весовых коэффициентов. При этом предлагается следующее условие выбора:

$$\xi_{оп} > \xi_{пер} > \xi_{отд} \quad (5)$$

В результате реализации математической модели получаем искомые значения весовых коэффициентов для каждого из критериев выбора рациональных ТП изготовления деталей, что позволяет сформировать парето-оптимальное множество и получить рациональные варианты ТП.

Обсуждение результатов и выводы

Таким образом, были сформированы математические модели и методическое обеспечение для реализации укрупненных блоков проектных процедур. На их основе было разработано алгоритмическое и программное обеспечение для проверки работоспособности полученной системы. Результаты эксперимента, проведенного в условиях действующей многономенклатурной производственной системы, показали, полученные рациональные варианты ТП изготовления деталей обеспечивают сокращение времени последующей сборки высокоточных изделий на 26 % за счет снижения ко-

личества итераций сборки. Количество некомплектных деталей (незавершенное производство) в среднем снизилось на 5,5 %.

Перспективы дальнейшего развития результатов исследования: детализация и развитие созданных математических моделей и подходов на всех этапах реализации СТСТПМ для дальнейшей интеллектуализации и цифровизации ТПП; проведение более глубокой интеграции СТСТПМ в структуру САПРТП, а именно: учет ограничений, накладываемых требованиями к сборке, позволит обеспечить связь технологической подготовки производства с конструкторской, т.к. подобные требования закладываются на этапе конструкторской подготовки производства; выполнение третьего укрупненного блока проектных процедур позволит перейти к оценке производственной технологичности деталей [8] в условиях многономенклатурного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назарьев, А. В. Формирование структуры комплекса проектных процедур для автоматизации технологической подготовки производства высокоточных изделий / А. В. Назарьев, П. Ю. Бочкарев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (204) / ВолгГТУ. – 2017. – С. 128–132.
2. Бочкарев, П. Ю. Проектирование технологических операций механообработки в системе планирования технологических процессов / П. Ю. Бочкарев, В. В. Шалунов, Л. Г. Бокова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 3. – № 1. – С. 46–54.
3. Назарьев, А. В. Формирование структуры комплекса проектных процедур системы учета требований к сборке высокоточных изделий при проектировании технологических процессов механической обработки / А. В. Назарьев, П. Ю. Бочкарев // Вестник ПГТУ. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2018. – № 4 (8). – С. 62–73.
4. Лелюхин, В. Е. Анализ и расчет размерных цепей на основе графов размерных связей / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова // Вестник ИШ ДВФУ. – 2015. – № 4 (25). – С. 29–34.
5. Гречников, Ф. В. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности / Ф. В. Гречников, С. Ф. Глушенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева. – 2011. – № 3–4. – С. 38–43.
6. Филипович, О. В. Управление параметрами селективной сборки двух деталей / О. В. Филипович, Г. В. Невар, М. И. Гарматюк, Д. В. Замооронова // Известия ТулГУ, Технические науки – 2015. – № 10. – С. 144–150.
7. 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.
8. Бочкарев, П. Ю. Оценка производственной технологичности деталей в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем / П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2017. – № 1 (40). – С. 250–254.