

УДК 658.512.88

DOI:10.30987/2223-4608-2021-3-19-25

Е.П. Решетникова, начальник сектора

(АО «Научно-производственное предприятие «Алмаз», 410033, г. Саратов, ул. им. Панфилова И.В., 1)

П.Ю. Бочкарев, д.т.н.

(Волгоградский государственный технический университет,
400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, 28)

E-mail: purpose22@mail.ru

Концепция группирования деталей механообрабатывающих производств при формировании рационального маршрута технологического процесса их изготовления

Предложен инновационный подход к разработке рациональных технологических процессов изготовления изделий базирующийся на решении задач планирования производственного процесса. Суть подхода состоит в формировании эффективной структуры технологических операций разрабатываемого технологического процесса на основе учета взаимосвязи конструкторско-технологических признаков поверхностей деталей заданной номенклатуры и функциональных особенностей средств технологического обеспечения в действующих производственных условиях.

Ключевые слова: планирование производственного процесса; конструкторско-технологические признаки деталей; высокоточные изделия; технологические процессы механообработки.

E.P. Reshetnikova, Head of the Sector

(PC "Scientific-Production Enterprise "Diamond", 1, Panfilov Str., Saratov, 410033)

P.Yu. Bochkaev, Dr. Sc. Tech.

(Volgograd State Technical University, 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005)

Parts grouping concept of machining production at efficient route formation of engineering process of their manufacturing

An innovation approach to the development of efficient engineering processes of product manufacturing based on the problem solution of industrial process planning is offered. The essence of the approach consists in the formation of the efficient structure of manufacturing operations of the engineering process under development on the basis of taking into consideration the interconnection of design-technological signs of parts surfaces from the specified range and functional peculiarities of technological support facilities under acting production conditions.

Keywords: industrial process planning; design-technological signs of parts; precision products; engineering processes of machining.

Развивающиеся технологии в области механообрабатывающей промышленности и появление на рынке перспективного технологического оборудования с увеличенным техническим потенциалом и функциональными возможностями способствуют пересмотру подходов к разработке производственных процессов механообрабатывающих предприятий. Основное направление при планирова-

нии производственного процесса видится в обеспечении его эффективности посредством сокращения материальной составляющей и временных ресурсов. На это направлен предложенный в работе научный подход к совершенствованию технологического процесса (ТП) изготовления изделия.

Суть подхода состоит во введении проектного этапа при планировании производствен-

ного процесса – этапа группирования деталей номенклатуры производственной системы с учетом взаимосвязи конструкторско-технологических признаков поверхностей деталей и возможностей технологического оборудования для формирования рационального комплекта контрольно-мерительного инструмента и технологической оснастки с учетом действующей производственной ситуации.

Грамотная разработка технологического процесса изготовления изделий, особенно высокоточных, отличающихся особой трудоемкостью и сложностью изготовления, обеспечивает повышение эффективности всего производственного процесса механообрабатывающих производств за счет сокращения временных и материальных ресурсов производст-

ва и поддерживает актуальный курс современных механообрабатывающих производств, направленный на их интеллектуализацию.

Реализация предложенного подхода обеспечивается системой автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов (САПлТП), базирующаяся на проектировании множества альтернативных вариантов ТП изготовления изделий с последующим назначением из них рационального ТП, наиболее соответствующего действующей производственной ситуации [1, 2].

Принципиальная схема рассматриваемого подхода и описание основных этапов его реализации представлено на рис. 1.

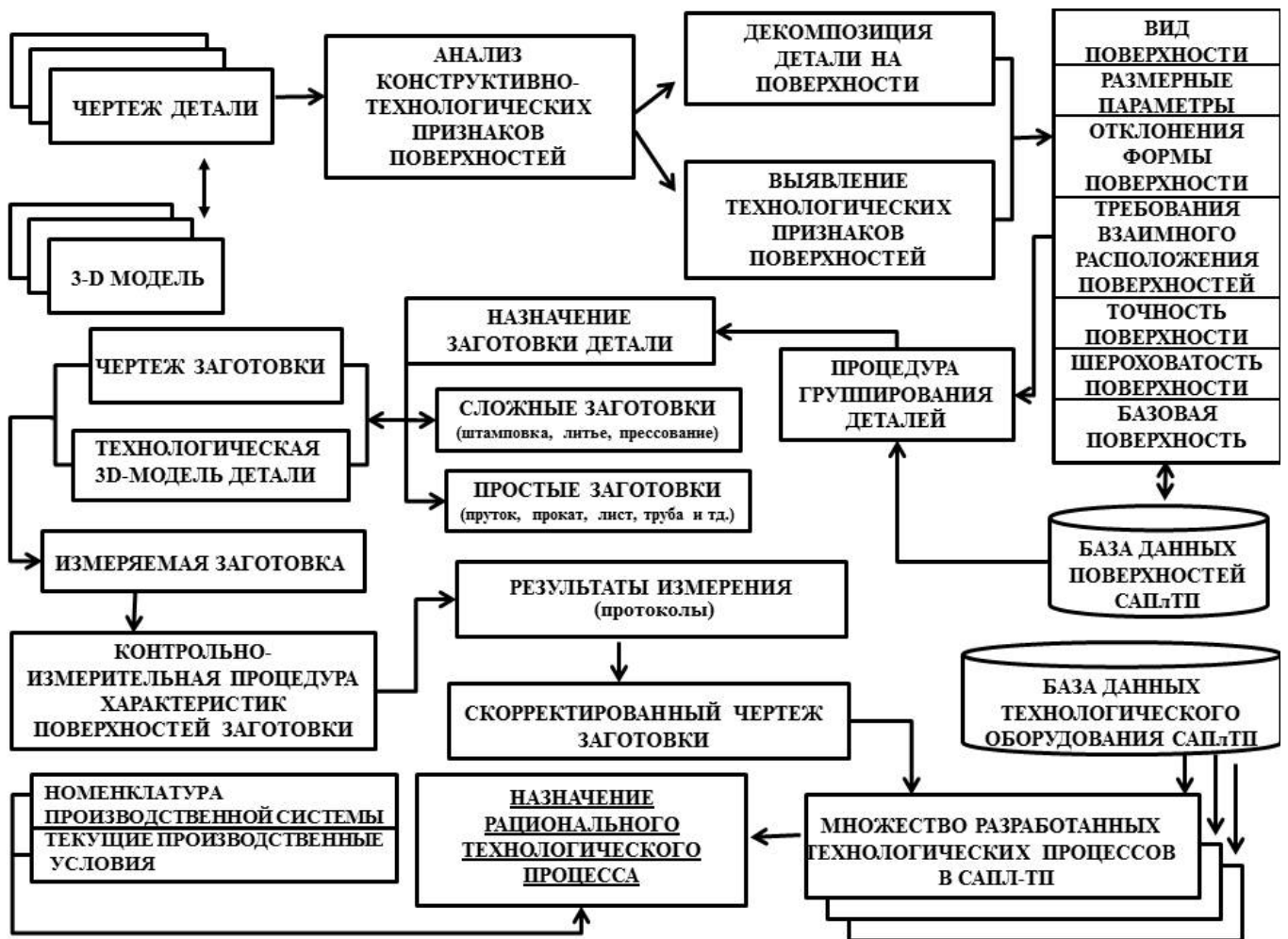


Рис. 1. Схема разработки рационального технологического процесса изготовления изделий в рамках производственной системы механообрабатывающего производства

Реализация предлагаемого подхода по разработке рационального ТП изготовления изделия состоит в решении следующих задач:

1) группирование деталей производственной системы с позиции конструкторско-технологической сложности, что необходимо

при формировании структуры технологических операций при разработке ТП изготовления изделия, а именно грамотное назначение технологического и контрольно-измерительного оборудования.

2) анализ взаимосвязи технологических

возможностей обрабатывающего оборудования и контрольно-измерительных средств для назначения целесообразного их комплекта.

В работе показано решение первой задачи.

Проектное решение группирования изделий производственной системы с позиции их конструктивно-технологических параметров и сложности измерения важно для структурирования разрабатываемых маршрутов ТП изготовления деталей и определения последовательности их технологических переходов и операций с учетом текущих производственных условий. В качестве иллюстрации процесса группирования систематизирован некоторый набор поверхностей, представленных в табл. 1, которая учитывает конструктивную сложность поверхностей деталей.

Практическая реализация процедуры группирования на примере конкретной сборочной единицы показана ниже. Учет взаимосвязи технологической сложности изготовления изделия и процесса анализа размерных параметров его поверхностей в результате изготовления подразумевается как решение отдельной задачи и развитие данной работы.

Количественным инструментом группирования поверхностей анализируемых деталей является аппарат кластерного анализа. Кластерный анализ – многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы [3].

Основная идея группирования деталей производственной системы состоит в описании поверхностей анализируемых деталей с по-

мощью классификационных признаков, характеризующих поверхности с позиций их конструктивной сложности и возможности измерения различными типами средств измерения (СИ), это такие признаки как: вид поверхности; нахождение поверхности на детали (наружная, внутренняя); наличие периодических элементов или их возможное сочетание; общее число поверхностей; число измеряемых поверхностей; размерные характеристики; отклонения формы и расположения поверхностей; требования по точности; габаритные размеры и т.д.

Процедура кластеризации проведена методом Варда [2, 3]:

$$D_{IJ} = \frac{n_i n_{i+1}}{n_i + n_{i+1}} \cdot d_{n_i n_{i+1}} \rightarrow \max \quad (1)$$

где I и J – группы поверхностей, полученные при кластерном анализе; n_i – элементы группирования, $i = 1, 2, \dots, u$, u – общее количество анализируемых поверхностей; $d_{n_i n_{i+1}}$ – Евклидово расстояние (используется при кластерном анализе в качестве меры близости), дает представление о близости вариантов в пространстве признаков.

$$d_{n_i n_j} = \sqrt{\frac{1}{Z} \cdot \sum_{k=1}^Z (z_{k, n_i} - z_{k, n_j})^2} \quad (2)$$

где Z – общее число анализируемых признаков поверхностей; z_{k, n_i} , z_{k, n_j} – значения k признака для n_i и n_j элемента, $k = 1 \dots Z$.

По итогам процедуры кластерного анализа сформирована дендрограмма (рис. 2) при помощи программного пакета StatisticaV10.

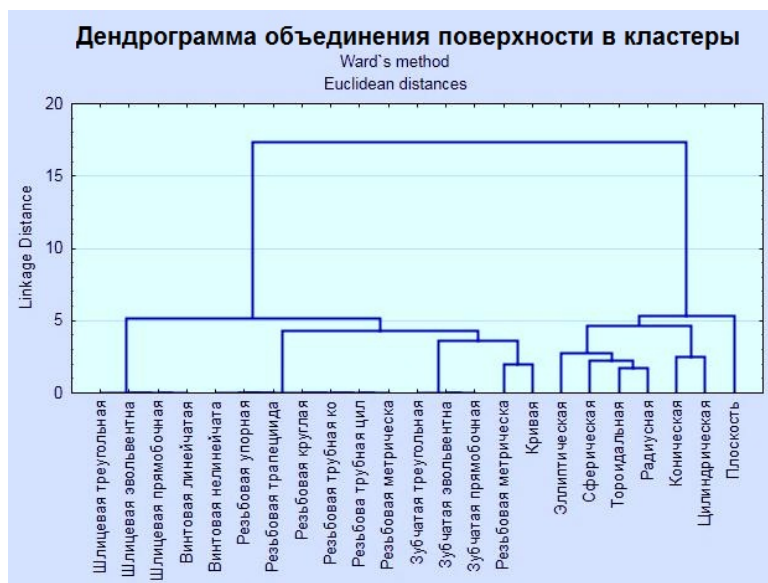


Рис. 2. Дендрограмма группирования поверхностей деталей, сформированная при помощи программного пакета StatisticaV10

1. Описание поверхностей деталей классификационными признаками

Наименование поверхности	Вид поверх. охватываемая (вал)	Вид поверх. охватывающая (отв)	наружная	внутренняя	Наличие повторяющ. элементов	диаметр		диам. ср./дел.		шаг	длина		ширина		высота		угол		квалитет	Ra	Rmax	S	откл. от прямолинейности		откл. от плоскостности		откл. от круглости		откл. от цилиндрич.		откл. профиля прод. сечения	
						max	min	max	min		max	min	max	min	max	min	max	min					max	min	max	min	max	min	max	min		
						max	min	max	min		max	min	max	min	max	min	max	min					max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
Плоскость	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Цилиндрическая	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Радиусная	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Эллиптическая	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Коническая	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
Сферическая	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Тороидальная	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Кривая	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая метрическая коническая	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая метрическая цилиндрическая	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая трубная цилиндрическая	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая трубная	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая круглая	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая трапецидальная	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Резьбовая упорная	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Винтовая линейчатая	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Винтовая нелинейчатая	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Зубчатая прямобочная	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Зубчатая эвольвентная	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Зубчатая треугольная	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Шлицевая прямобочная	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Шлицевая эвольвентная	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Шлицевая треугольная	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Фасонная простая	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
Фасонная сложная	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
Поверхности, описываемые сложной функцией (аэродинамические)	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	

Анализ рис. 2 позволил сделать заключение, что наиболее рациональным разбиением на кластеры объектов (поверхностей), представленных в табл. 1, является классификация на уровне $\nu = 6$, где формируются две группы поверхностей с позиции конструктивной сложности: простые и сложные.

На стадии процесса группирования деталей производственной системы с позиции сложности измерения, изготовленных поверхностей деталей, критерием является показатель степени сложности самой контрольно-измерительной процедуры, количественная оценка сложности которой сводится к нахождению численного выражения ее коэффициента. Классификационными признаками являлись: кластер поверхности (выявленный на предыдущей стадии), расположение поверх-

ности на детали и коэффициент сложности измерения, рассчитанный по формуле (3).

Количественная оценка коэффициента сложности измерения поверхностей произведена на основе зависимости [2]:

$$K_c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k K_i}{\sum_{q=1}^Q \nu_q} \quad (3)$$

где K_i – суммарное значение показателя процесса измерения анализируемых поверхностей детали, $i = 1 \dots k$; k – общее количество коэффициентов (рассчитывается по табл. 2); ν_q – возможное средство измерения, которое можно использовать для анализа каждого параметра поверхностей q -й детали, $q = 1 \dots Q$; Q – количество деталей в партии.

2. Расчет показателей контрольно-измерительной процедуры

№ п/п	Наименование показателя	Расчётная формула	Примечание
1	Коэффициент трудоемкости контрольно-измерительной процедуры	$K_{тр} = \frac{T_{ким}}{T_y}$	где $T_{ким}$ и T_y – соответственно трудоемкость измерения достигнутая с помощью координатно-измерительной машины (КИМ) и с помощью универсальных средств измерения
2	Коэффициент себестоимости контрольно-измерительной процедуры	$K_{кс} = \frac{C_{ким}}{C_y}$	где $C_{ким}$ и C_y – соответственно себестоимость измерения с помощью КИМ и с помощью универсальных средств
3	Коэффициент унификации элементов	$K_{у.э.} = \frac{Q_{у.э.}}{Q_3}$	где $Q_{у.э.}$ – число унифицированных поверхностей конструктивных элементов – резьбы, отверстия, галтели, фаски; Q_3 – общее число поверхностей конструктивных элементов в изделии.
4	Коэффициент точности контрольно-измерительной процедуры	$K_T = 1 - \frac{1}{A_{ср}}$	где $A_{ср}$ – средний квалитет поверхности контроля; A – квалитет точности обработки; n_i – число размеров соответствующего квалитета. $A_{ср} = \frac{\sum A \times n_i}{\sum n_i} = \frac{1 \times n_1 + 2 \times n_2 + \dots + 19 \times n_{19}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{19}}$
5	Коэффициент применения автоматизированных СИ	$K_{аси} = \frac{Q_{аси}}{Q_{си}}$	где $Q_{аси}$ – число применяемых автоматизированных СИ; $Q_{си}$ – общее количество применяемых СИ

Расчет и анализ коэффициента сложности детали с позиции измерения позволяет решать задачи группирования деталей производственной системы в целях повышения эффективности контрольно-измерительных процедур деталей в рамках разработанного рационального ТП в текущих условиях производственной ситуации.

Вышеизложенное можно представить на примере анализа сборочной единицы «Литьевая форма» (рис. 3). Детали литьевой формы являются высокоточными изделиями, трудо-

емкими в изготовлении с повышенной технологической сложностью.

Проектное решение группирования деталей изделия «Литьевая форма» для разработки рациональных процессов изготовления каждой из ее деталей по представленному в работе подходу осуществлено по следующим этапам:

1) Каждая деталь изделия проанализирована с позиции конструкторско-технологических характеристик по табл. 1: выявлены поверхности (вид и размерные параметры) и определены их технологические

особенности (точность поверхностей, чистота обработки и базовые поверхности);

2) Детали описаны классификационными признаками для применения аппарата кластерного анализа для их группирования (табл. 3);

3) Рассчитан коэффициент сложности контрольно-измерительных процедур деталей-представителей по табл. 2;

Сформирована дендрограмма группирования деталей (рис. 4).

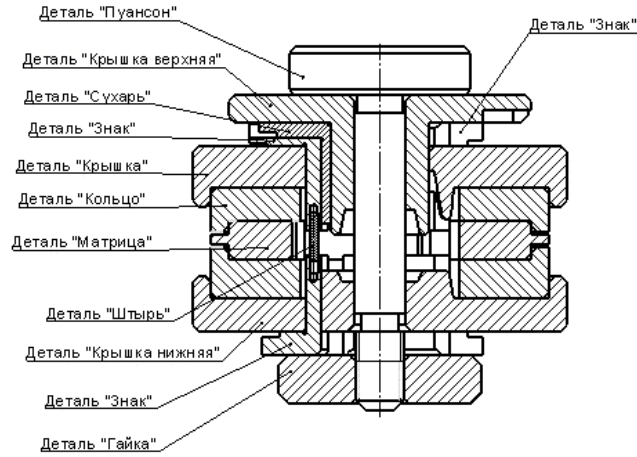


Рис. 3. Сборочная единица «Литьевая форма»

3. Таблица классификационных признаков анализируемых деталей сборочной единицы

Наименование детали	Поверхности кластер 1 (элементарные)	Поверхности кластер 2 (сложные)	Наружная поверхность	Внутренняя поверхность	Уникальность поверхностей	Коэффициент сложности контрольно-измерительных процедур
Пуансон	1	0	1	0	0	0
Крышка верхняя	1	0	1	1	1	1
Сухарь	1	1	1	0	1	1
Знак	1	1	1	1	1	1
Крышка	1	1	1	1	0	0
Кольцо	1	0	1	1	0	0
Матрица	1	1	1	1	1	1
Штырь	1	0	1	0	0	0
Крышка нижняя	1	1	1	1	1	1
Знак	1	1	1	0	1	1
Гайка	1	0	1	1	0	0

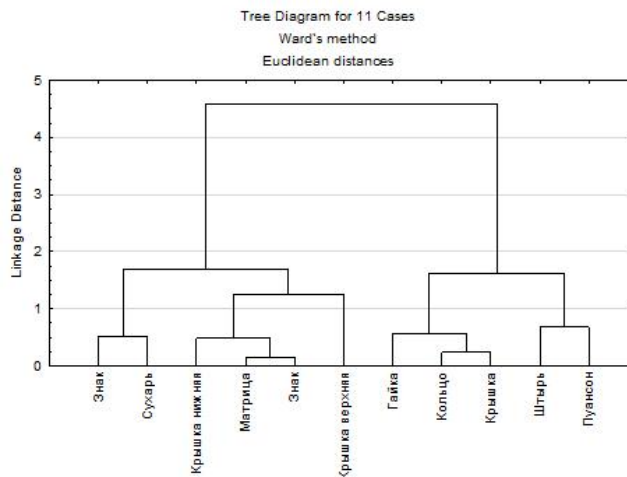


Рис. 4. Дендрограмма группирования деталей сборочной единицы

Анализ рис. 4 показал, что детали анализируемой сборочной единицы целесообразно объединить в 2 группы: 1 группа (знак, сахарь, крышка, матрица, крышка верхняя) и 2 группа (гайка, кольцо, крышка, штырь, пуансон), 1 группа наиболее трудоемка в изготовлении.

Заключение

Проектное решение группирования деталей производственной системы с помощью математического аппарата кластерного анализа в текущих производственных условиях оказывает управляющее воздействие на разработку ТП их изготовления, направленного на принятие эффективных технологических решений, а именно разработку рационального маршрута технологических операций, выбор эффективного метода обработки поверхностей, определение оптимальной схемы базирования, и формирование комплекта технологической оснастки и режущего инструмента для осуществления сформированной структуры технологических операций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетникова, Е. П., Бочкарев, П.Ю. Автоматизация технологической подготовки производства деталей со сложнопрофильными поверхностями. // Системы проектирования технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM-2018: сб. тр. XVIII междунар. молодеж. конф. – Москва. – 2018. – С. 237 – 239.
2. Решетникова, Е. П., Бочкарев, П.Ю. Автоматизированный способ группирования деталей производствен-

ной системы механообрабатывающих производств с позиции сложности измерения. // Журнал «Механики XXI века». – 2019. – № 18. – С. 191 – 196.

3. Дюран, Б., Оделл, П. Кластерный анализ; пер. с англ. Е. З. Демиденко; науч. ред. и предисл. А. Я. Боярского – Cluster Analysis: a Survey – М.: Статистика, 1977. – 128 с.

4. Решетникова, Е. П., Бочкарев, П.Ю. Разработка технологического процесса обработки сложнопрофильных деталей в условиях механообрабатывающих предприятий аэрокосмической техники // Вестник Рыбинского государственного авиационного технологического университета имени П. А. Соловьева. – 2017. – № 1(40). – С. 222 – 227.

REFERENCES

1. Reshetnikova, E.P., Bochkaryov, P.Yu. Automation of engineering pre-production for parts with complex surface. // Systems for designing engineering pre-production and control of industrial product life stages – CAD/CAM/PDM-2018: Proceedings of the XVIII-th Inter. Youth Conf. – Moscow. – 2018. – pp. 237-239.
2. Reshetnikova, E.P., Bochkaryov, P.Yu. Automated method for parts grouping of machining industrial system from viewpoint of measuring complexity. // Journal “Mechanics for the XXI-st Century”. – 2019. – No.18. – pp. 191–196.
3. Dyuran, B., Odell, P. Cluster Analysis; transl. from Engl. by E.Z. Demidenko; scientific editorship and introduction by A.Ya. Boarsky – Cluster Analysis: a survey – М.: Statistics, 1977. – pp. 128.
4. Reshetnikova, E.P., Bochkaryov, P.Yu. Development of engineering process of complex parts machining under conditions of aerospace engineering enterprises // Soloviyov State Aircraft Technological University of Rybinsk. – 2017. – No.1(40). – pp. 222-227.

Рецензент д.т.н.
Борис Максевич Бржозовский

