

УДК 621

DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-82-92

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ В СРЕДНЕСЕРИЙНОМ И МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВАХ

И.О. Кудашева, Д.А. Костин, Я.Д. Хайкова

Аннотация. Обосновывается необходимость совершенствования методик проектирования технологических процессов в среднесерийном и мелкосерийном производствах, основанных на анализе производственной ситуации и технологических возможностей оборудования. Проведен анализ факторов, которые определяют эффективность производственного процесса на предпроектном и проектном этапах за счет обеспечения перенастраиваемости технологического процесса и группирования деталей.

Ключевые слова: машиностроение; технологический процесс; серийное производство; технологическая подготовка производства.

ОРТО ЖАНА ЧАКАН СЕРИЯДАГЫ ӨНДҮРҮШТӨ ТЕХНОЛОГИЯЛЫК ПРОЦЕССТЕРДИ ЖАНА СИСТЕМАЛАРДЫ ТҮЗҮМДҮК УЮШТУРУУ

И.О. Кудашева, Д.А. Костин, Я.Д. Хайкова

Аннотация. Макалада өндүрүштүк кырдаалды жана жабдуулардын технологиялык мүмкүнчүлүктөрүнө талдоо жүргүзүүгө негизделген орто жана чакан өндүрүштө технологиялык процесстерди долбоорлоо методикасын өркүндөтүүнүн зарылчылыгы негизделди. Технологиялык процесстин ыңгайлашуусун жана бөлүктөрүн топтоштурууну камсыз кылуу аркылуу долбоорлоо алдындагы жана долбоорлоо этаптарында өндүрүш процессинин эффективдүүлүгүн аныктоочу факторлорго талдоо жүргүзүлдү.

Түйүндүү сөздөр: машина куруу; технологиялык процесс; массалык өндүрүш; өндүрүштү технологиялык жактан даярдоо.

STRUCTURAL ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS IN MEDIUM- AND SMALL-SCALE PRODUCTION

I.O. Kudasheva, D.A. Kostin, Ya.D. Haikova

Abstract. The article substantiates the need to improve the methods of designing technological processes in medium- and small-scale production based on the analysis of the production situation and technological capabilities of equipment. The authors consider the analysis of factors that determine the efficiency of the production process at the pre-design and design stages, by ensuring the readjustability of the technological process and grouping of parts.

Keywords: mechanical engineering; technological process; serial production; technological preparation of production.

Повышение технического перевооружения всех отраслей экономики страны – важнейшая задача современности. Машиностроение является основой обеспечения достижения данной задачи. Для обеспечения эффективности производства в современных экономических условиях необходимо рациональное использование материальных, интеллектуальных, информационных и временных затрат. Экономические проблемы и спад производства определили необходимость структурной реорганизации отраслей промышленности, поэтому инновационный путь развития должен стать одним из главных

путей повышения их эффективности. Таким путём является новый подход к технологии производства – поиск новых форм организации и управления производственными процессами [1].

Необходимость совершенствования методики проектирования технологических процессов (ТП) в условиях серийного и мелкосерийного производства обусловлена тем, что используемые в настоящее время методики не учитывают большую степень неопределенности ситуации, вызванную изменением входной информации о свойствах деталей поступающих заказов [2–5]. В связи с этим, необходимо провести исследование частных критериев и выявить коэффициент сложности, который учитывает влияние всех частных критериев, обеспечивая при этом заданные показатели качества и эффективности ТП. С этой целью были исследованы частные критерии оценки эффективности, выявлены связи и отношения совокупности свойств деталей (Д), структуры ТП и технологических систем.

В условиях серийного и мелкосерийного производства технологическая система и технологический процесс должны быть перенастраиваемыми. Это обуславливает актуальность совершенствования методов технологической подготовки производства (ТПП), основанных на новых принципах и методологии структурной организации ТП. Эти принципы должны обеспечивать эффективность на всех этапах проектирования.

Это требует проведения исследований и установления специфики взаимосвязи между этими этапами в условиях многономенклатурного машиностроительного производства (МНП).

На рисунке 1 показана принципиальная схема, отражающая принципы ситуационного проектирования, учитывающая взаимосвязь предпроектного, проектного и производственного этапов. Это позволило учитывать изменение как внешних, так и непосредственно производственных ситуаций.

К технологии процесса обработки предъявляются новые требования по показателям гибкости, при условии обеспечения точности, технологической надёжности оборудования и оснастки. Это позволило обеспечить заданные показатели качества, производительности и повысить показатели



Рисунок 1 – Взаимосвязь этапов

эффективности ТП. Взаимодействие большого числа факторов, влияющих на эффективность технологических процессов, определяют сложность технологического проектирования. Это приводит к необходимости разработки методов и критериев в условиях изменяющейся номенклатуры деталей [7].

Важным этапом принятия решения на предпроектном этапе является формирование номенклатуры деталей. За основу формирования номенклатуры на данном этапе принят принцип группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам на основе качественных показателей, приведенных в таблице 1. При этом важным является установление количественных показателей и критериев оценки.

С этой целью решалась задача выявления сходных конструктивных, размерных, точностных характеристик деталей. Анализ выполнен на примере исходных данных технологического проектирования обработки деталей типа вал. Это потребовало разработать информационную модель, которая обеспечивает оценку эффективности включения детали в группу. Принцип представления информационной модели о множестве характеристик деталей представлен в таблицах 1, 2.

Анализ исходных данных позволил выявить технологию общности множеств деталей, установить определенные возможности создания из них групп деталей. Описание множества характеристик деталей типа «вал», приведенных в таблицах 1 и 2, основано на следующем: группа деталей относится к типу «вал» и группе цилиндрических деталей, для которых характерны плоские поверхности больших размеров и основные отверстия, оси которых располагаются параллельно или под углом [2].

Общность габаритных размеров находится в пределах от 885×185 мм до 255×45 мм; масса деталей в пределах от 2 до 60 кг, наибольшая шероховатость Ra 1,6; коэффициент унификации – от 0,36 до 0,58.

На основе анализа номенклатуры деталей, изготовленных на АО «Тяжмаш» в течение двух лет, создана группа деталей с целью повышения коэффициента загрузки оборудования. Анализ позволил в группе деталей типа «вал» выявить общие конструкторские базы – поверхности деталей, по отношению к которым определяются на чертеже геометрические элементы данной детали. И уже на предпроектном этапе по общим конструктивно-технологическим признакам и свойствам определить тип оборудования и маршрут обработки; по показателям точности и качеству поверхностей определить методы их достижения. Общность этих признаков можно представить в виде картежа свойств детали:

$$D = \langle \Gamma, M, m, N_{\text{ЭОП}}, Ra, IT, T \rangle, \quad (1)$$

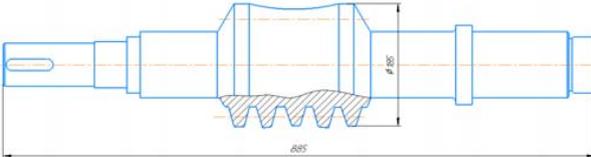
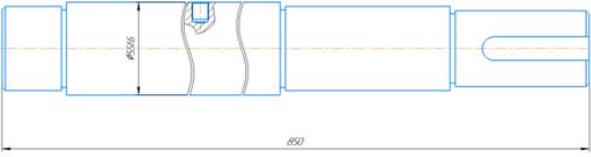
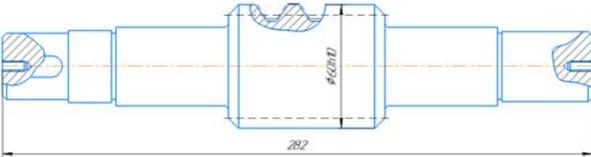
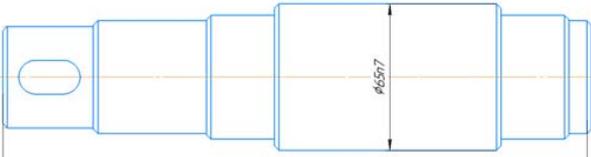
где D – свойства детали; Γ – габариты детали; M – материал; m – масса; $N_{\text{ЭОП}}$ – количество элементарно обрабатываемых поверхностей (ЭОП); Ra – наивысшее качество поверхности; IT – наибольшая точность обрабатываемых поверхностей; T – трудоёмкость изготовления детали.

По однородности материала выбирается способ получения заготовок. По массе, точности и качеству поверхности, общности конструктивных баз можно определить тип оборудования, размеры технологической оснастки и тем самым повысить эффективность в МТП.

Использование метода групповой обработки, предложенного профессором С.П. Митрофановым, не позволяет учитывать взаимосвязь этапов [8]. С целью развития метода групповой обработки исследованы возможности использования принципа единства баз как критерия группирования. Этот принцип заложен в этап анализа технических требований методом размерных связей и свойств деталей.

На основе анализа конструктивно-технологических признаков группы деталей поставлена задача определения общности структуры операции методом анализа размерных связей для группы деталей. Предложенный метод позволяет определить не только общие технологические базы, исходя из одинаковых для всех деталей группы (ось), но и обеспечить рациональный выбор структур технологического процесса. На станках с ЧПУ это позволило выбрать нулевую и исходную точки обработки деталей. Общие базы и структура технологического процесса позволили использовать переналаживаемые приспособления, комплект режущих инструментов.

Таблица 1 – Информационная модель конструктивно-технологических признаков

Эскиз и название детали	Материал	Габариты мм×мм	Масса детали, кг	Наиб. шерох.	Наиб. точн.	Кол-во эл-ых поверх.	Кэф. униф.	Кэф. сложн.
	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	885х185	60	1,6	h6	33	0,58	1
<p>Червяк 5.134 И 2-9</p> 	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	885х185	60	1,6	h6	33	0,58	1
<p>Вал редуктора</p> 	Сталь 45 ГОСТ 1050-74	850х55	22	1,6	k6	22	0,36	0,62
<p>Червяк</p> 	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	282х60	6,2	3,2	h8	27	0,51	0,95
<p>Вал 1</p> 	Ст.5 ГОСТ 7565-81	260х65	7	2,5	n7	20	0,47	0,49

Таким образом, предложенный подход позволяет отображать информацию не только о деталях в технологическом процессе, но и о технологической системе, а также содержит сведения о ее структуре и элементах [3]:

$$S_{ТС} = \langle \text{Пр, И, О, Б, } S_{ТП} \rangle, \quad (2)$$

где $S_{ТС}$ – информация о структуре технологической системы; Пр – о приспособлении; И – об инструменте; О – об оборудовании; Б – о схеме обработки; $S_{ТП}$ – о структуре ТП, который несет функцию связи между множествами $\{Д\}$ и $\{ТС\}$.

В связи с тем, что технология подготовки обработки на станках с ЧПУ в практике использует два способа задания систем координат – от боковой поверхности детали и от оси ее симметрии, в информационную таблицу введен блок принятия решения, для этого приведены схемы базирования. Такой подход позволяет ставить задачу оптимизации разработки расчетно-технологической карты обработки на станках с ЧПУ, выбора нулевой и исходной точек обработки, исходя из обеспечения заданной точности и наименьших затрат вспомогательного времени на холостые ходы инструмента.

На основании анализа группы деталей типа «вал» по конструктивно-технологическим признакам – по критерию точности решение этой задачи стало возможным при совмещении нулевой точки с поверхностью, связанной размерными связями с большинством других поверхностей. Этой поверхностью для всей группы деталей является ось симметрии, а направляющими и опорными точками – торцы.

Анализ номенклатуры деталей, изготовленных на АО «Тяжмаш» в течение двух лет показал, что при формировании групп деталей встречается большое число типов деталей и их характеристик, которые в переналаживаемой технологической системе изменяются в широких пределах. Из всех деталей наибольший интерес представляют детали типа «вал» цилиндрического типа по конфигурации, габаритам и другим признакам.

С целью определения количественных показателей эффективности переналадки выполнен опытно-статистический анализ их признаков. В качестве частных критериев оценки использовался показатель сложности свойств группы деталей, технологического процесса и технологической системы: габариты детали; масса детали; $N_{эоп}$ – количество ЭОП; R_a – наивысшее качество поверхности; ИТ – наибольшая точность обрабатываемых поверхностей; Т – трудоёмкость изготовления детали. Характеристика номенклатуры группы деталей, приведённых в таблице 3 с помощью опытно-статистического анализа, показывает, что распределение характеристик является случайной величиной (рисунок 2).

Также был проведен анализ распределения габаритных размеров деталей.

Установлено, что распределение действительных габаритных размеров деталей, обработанных на станке с ЧПУ, подчиняются закону нормального распределения (рисунок 3).

Методика определения характеристик распределения приведена ниже. Наибольшее значение X_{max} и наименьшее значение X_{min} образуют поле рассеяния W :

$$X_{max} = 885 \quad X_{min} = 255$$

$$W = X_{max} - X_{min} = 885 - 255 = 630. \quad (3)$$

Среднее взвешенное арифметическое значение действительных размеров группы деталей:

$$X_{ср.} = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = \frac{885 + 255}{2} = 570.$$

Математическое ожидание:

$$M(x) = \sum_1^n X_i \cdot \frac{m}{n}. \quad (4)$$

Таблица 2 – База по номенклатуре группы деталей типа «вал»

№	Название детали	Тип детали	Материал заготовки	Масса детали	Габариты детали	Кол-во ЭОП	Наивысшая точность поверхности	Наивысшее качество поверхности
1	Червяк 5.134 И 2-9	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	60	885×185	33	h6	1,6
2	Червяк	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	6,2	282×60	27	p7	1,6
3	Вал редуктора	Вал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	22	850×55	22	k6	1,6
4	Вал 1	Вал	Сталь 50 ГОСТ 1050-2013	7	260×65	20	n7	2,5
5	Вал 2	Вал	Сталь 35ХМ ГОСТ 4543-2016	3,74	300×45	11	h6	6,3
6	Вал 3	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	19,06	700×70	56	h6	6,3
7	Вал 4	Вал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	58,33	875×120	43	h6	6,3
8	Вал первичный	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	5	340×50	29	k7	4,2
9	Вал вторичный	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	9,83	400×67	38	h7	3,2
10	Червяк глобоидный	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	14,73	450×75	24	h6	6,3
11	Коленчатый вал	Вал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	11,22	520×65	35	js8	6,3
12	Гибкий вал	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	2	255×40	9	h7	3,2
13	Входной вал	Вал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016	5,5	315×58	19	h8	6,3
14	Выходной вал	Вал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	23,22	750×76	45	h9	4,2
15	Червяк 1	Вал	Сталь 35ХМ ГОСТ 4543-2016	11,09	520×66	26	h8	3,2
16	Червяк 2	Вал	Сталь 40ХН ГОСТ 4543-2016	3,14	334×41	16	h8	1,6
17	Червяк 3	Вал	Сталь 35ХМ ГОСТ 4543-2016	5,39	315x59	23	h9	6,3
18	Червяк 4	Вал	Сталь 40ХН ГОСТ 4543-2016	14,44	450×77	28	h8	1,6
19	Вал 5	Вал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	39,92	875×100	47	h9	1,6
20	Вал 6	Вал	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	3,23	350×45	25	h8	3,2

Таблица 3 – Распределение габаритных размеров деталей

Интервал, мм	Частота, m	Частость, m/n
255–345	1	0,05
345–435	2	0,1
435–525	3	0,15
525–615	5	0,25
615–705	4	0,20
705–795	3	0,15
795–885	2	0,1

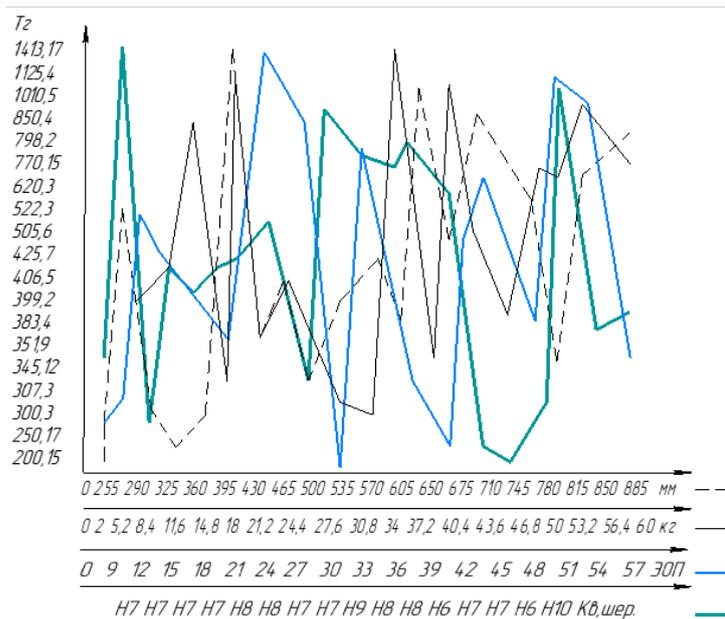


Рисунок 2 – Зависимость критериев, характеризующих свойства группы деталей от трудоёмкости

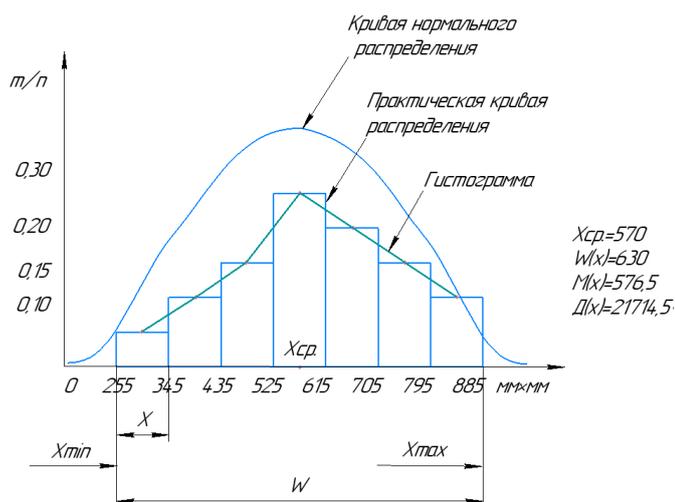


Рисунок 3 – Распределение измеренных габаритных размеров группы деталей

$$M(x) = \sum_1^n Xi \cdot \frac{m}{n} = 255 \cdot 0,05 + 345 \cdot 0,1 + 435 \cdot 0,15 + 525 \cdot 0,25 + 615 \cdot 0,2 + 705 \cdot 0,15 + 795 \cdot 0,1 = 12,75 + 34,5 + 65,25 + 24,75 + 131,25 + 123 + 105,75 + 79,5 = 576,5$$

Дисперсия:

$$D = \sum (Xi - M(x))^2 \cdot P(X) = \sum Xi^2 \cdot \frac{m}{n} - 2 \sum M(X) \cdot \frac{m}{n} + \sum M(x)^2 \cdot \frac{m}{n}. \quad (5)$$

$$D = \left[(255 - 576,5)^2 \cdot 0,05 + (345 - 576,5)^2 \cdot 0,1 + (435 - 576,5)^2 \cdot 0,15 + (525 - 576,5)^2 \cdot 0,25 + (615 - 576,5)^2 \cdot 0,2 + (705 - 576,5)^2 \cdot 0,15 + (795 - 576,5)^2 \cdot 0,1 = 5168,11 + 5359,22 + 3003,33 + 663,06 + 296,45 + 2476,83 + 4774,23 = 21741,5 \right]$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \pm \sqrt{D}, \quad (6)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{21741,5} = \sigma = \pm 147,45.$$

Уравнение кривой нормального распределения имеет следующий вид:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(X - M(x))^2}{2\sigma^2}}, \quad (7)$$

При $M(x) = 0$:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

$$y' = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}} \cdot \left(-\frac{X}{\sigma}\right). \quad (9)$$

При $X = 0$:

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} = \frac{0,4}{\sigma} = \frac{0,4}{147,45} = 0,003,$$

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}} = 0,6 y_{\max} = 0,0018. \quad (10)$$

Анализируемая группа деталей имеет минимальный габаритный размер 255×40 мм и максимальный габаритный размер 885×185 мм, характеризуется законом нормального распределения, показанном на рисунке 3.

Со средним арифметическим $X_{cc} = 570$ действительных размеров деталей данной группы, характеризует центр группирования массы с математическим ожиданием, равным: $M(x) = 576,5$; дисперсией: $D = 21741,5$, средним квадратичном отклонением: $\sigma = \pm 147,45$. Данная методика статической обработки распространяется на остальные критерии, характеризующие группу деталей.

Таблица 4 – Количественные значения частных показателей

Критерий	Габарит. размеры	Масса детали	Кол-во ЭОП	Наив.точ. пов-ти	Наив. кач. пов-ти	Труд-ть
$M(x)$	576,5	26,735	32,15	7,35	2,32	487,82
$D(x)$	21741,5	192,63	148,93	0,67	2,95	109367,35
$\sigma(x)$	$\pm 147,45$	$\pm 13,87$	$\pm 12,2$	$\pm 0,82$	$\pm 1,72$	$\pm 330,71$

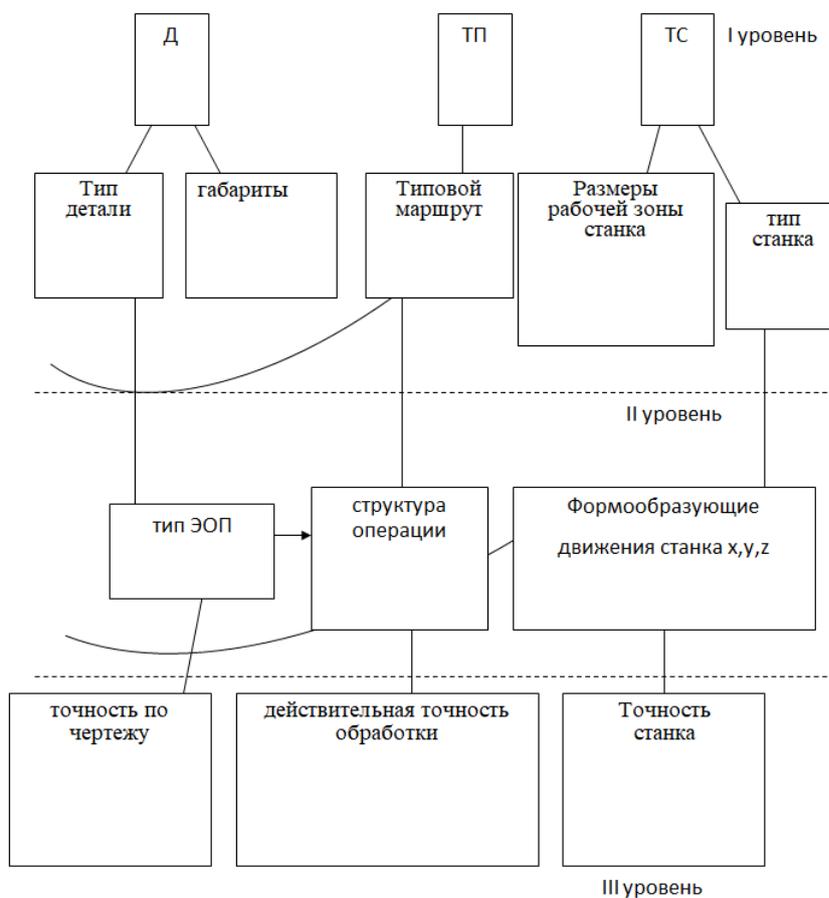


Рисунок 4 – Фрагмент графа связей свойств деталей, ТП и ТС

Предложенный метод опытно-статистического анализа используется для определения всех характеристик деталей.

В связи с тем, что трудоёмкость является количественным показателем оценки сложности детали, которая включает все её частные показатели, необходимо установить весовые значения их влияния на интегральный показатель. Полученные значения математического ожидания, дисперсии, среднего квадратичного отклонения по каждому из критериев приведены в таблице 4.

Достоверность показателей, отражающих влияние на габариты деталей, массу, количество ЭОП, наивысшее качество поверхности, наибольшую точность обрабатываемых поверхностей, трудоёмкость изготовления детали обосновывается соотношением суммарного их влияния. Для этого найдём суммарный критерий сложности:

$$\sum K_{сл.} = \sqrt{M(x)_1^2 + M(x)_2^2 + M(x)_3^2 + M(x)_4^2 + M(x)_5^2}, \quad (11)$$

$$\sum K_{сл.} = \sqrt{572157,4} = 756,41.$$

Выведенный количественный показатель сложности также подчиняется закону нормального распределения.

Значение интегрального критерия сложности деталей и ТС можно установить в соответствии с признаками, представленными кортежами свойств (1), (2). Например, оценка сложности детали выполнена в соответствии с кортежем (1) по формуле:

$$K_{сл} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (12)$$

где $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ – коэффициенты, учитывающие соответственно габариты, массу, число и тип ЭОП, шероховатость, точность, трудоёмкость.

Иерархичное представление свойств деталей, ТП и ТС позволило отразить иерархию связей, структурировать многообразие связей их свойств на три уровня.

Первый уровень отражает связи таких характеристик деталей, как тип и габариты, элементов ТС, схемы обработки и типовых маршрутов обработки. На втором уровне выделены свойства, отражающие число ЭОП, их положение относительно базовых поверхностей, которые обеспечивают установление отношений ЭОП с основными формообразующими и вспомогательными движениями станка и определяют содержание и структуру переходов ТП. На третьем уровне рассматриваются связи точностных характеристик деталей со структурой ТП и параметрами ТС.

В результате анализа получен граф связей, фрагмент которого представлен на рисунке 4.

Для количественной оценки соответствия свойств деталей, ТП и ТС использованы частные и интегральные коэффициенты сложности свойств деталей, ТП и ТС. Частные критерии деталей определены на основе опытно-статистической обработки данных и получены вероятностные характеристики изменения входной информации: вектор математических ожиданий, дисперсия и СКО.

Установление функцией связи позволило определить область возможных состояний технологической системы (ТС) при обработке группы деталей, полученный коэффициент сложности позволил установить численные связи между свойствами деталей, технологического процесса (ТП) и технологической системы (ТС). Полученные количественные показатели соответствия позволяют решить практическую задачу установления пределов переналадки ТС.

В ходе проведенной работы установлено:

1. В условиях серийного и мелкосерийного производства взаимосвязи деталей, ТП и ТС усложняются при переналадке на новые свойства деталей и образуют новое состояние ТС.
2. Зависимость каждого из критериев от трудоёмкости является случайным процессом.
3. Иерархический подход позволил связать показатель трудоёмкости группы деталей со схемой их обработки, структурой операции и установить конечное значение частных и интегральных показателей сложности деталей.

4. Предлагаемая методика позволяет создавать информационную базу, обеспечивающую принятие решений на предпроектном, проектном и производственном этапах.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования методик, позволяющих учитывать проектирование технологических процессов в среднесерийном и мелкосерийном производстве, основанном на производственной ситуации и технологических возможностях оборудования. Разработана методика анализа и получения характеристик множеств деталей на основе опытно-статистического метода. Получены количественные показатели сложности деталей номенклатур, которые используются в качестве критериев в методике ситуационного проектирования технологического процесса в условиях многономенклатурного производства.

Поступила: 04.04.22; рецензирована: 18.04.22; принята: 21.04.22.

Литература

1. *Бржозовский Б.М.* Управление процессом формирования структур операций механической обработки по показателю состояния ТС / Б.М. Бржозовский, Л.Я. Кожуховская // Исследование станков и инструментов для обработки точных и сложных поверхностей: Межвуз. сб. Саратов, 2003. С. 22–27.
2. *Кожуховская Л.Я.* Структурная организация технологических процессов и систем / Л.Я. Кожуховская. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. 160 с.
3. *Кожуховская Л.Я.* Повышение эффективности технологических решений путем ситуационного управления процессом формирования структур в условиях многономенклатурного производства / Л.Я. Кожуховская // Изв. вузов. Машиностроение. 2003. № 7. С. 23–29.
4. *Кудашева И.О.* Преимущество металлообработки деталей на станках с числовым программным управлением / И.О. Кудашева, Я.Д. Хайкова // Сб. тр. III межд. научно-практич. конф.: «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании», 2020. С. 201.
5. *Кудашева И.О.* Модернизация и расширение технических возможностей универсальных фрезерных станков / И.О. Кудашева, Я.Д. Хайкова // Сб. тр. III межд. научно-практич. конф.: «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании», 2020. С. 250–251.
6. *Сидорчик Е.В.* Расширение технологических возможностей обработки деталей на станках с числовым программным управлением в промышленности / Е.В. Сидорчик // Вестник Кузбасского госуд. технич. ун-та, 2013. С. 82–83.
7. *Маталин А.А.* Технология машиностроения: учебник для студентов вузов / А.А. Маталин. Л.: Машиностроение, 1985. С. 17–23.
8. *Митрофанов С.П.* Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. / С.П. Митрофанов. Л.: Машиностроение, 1983. 784 с.