

УДК 658.5.012.6

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-6-30-35

В.В. Епифанов

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ НА ОСНОВЕ РЕГИОНАЛЬНОГО БАНКА ДАННЫХ О ДЕТАЛЯХ МАШИН И ПРИБОРОВ

Предложен новый подход к обоснованию параметров токарных станков с числовым программным управлением на основе их взаимосвязи с характеристиками деталей машин. Создан информационный региональный банк данных о деталях.

Для обработки восьми групп деталей тел вращения обоснованы параметры токарных станков с числовым программным управлением: число и

состав формообразующих координат, размеры рабочего пространства, материал заготовки, точность и шероховатость поверхностей, структура технологических операций, класс точности по ГОСТ 8-82.

**Ключевые слова:** станок, ЧПУ, деталь, формообразующая координата, пространство станка.

V.V. Epifanov

## TECHNOLOGICAL DESIGNING NC LATHES BASED ON REGIONAL MACHINERY AND DEVICE DATA BANK

The manufacturers of NC machine-tools pay little attention to the analysis of consumer requests that is to production and technological conditions typical to the majority of equipment customers.

The work purpose consists in the optimization of NC lathe (NCL) technological potentialities based on the analysis of machinery and device characteristics. The scientific novelty of the work consists in a new approach to the substantiation of NC lathes parameters based on their interconnection with machinery characteristics, formation of original data bank on parts of the Uliyanovsk region companies (200,000 of items) presenting different branches of industry: aircraft manufacturing, shipbuilding, machine tool construction, automotive industry, instrument making et al. stage-by-stage parts grouping on the basis of ESKD classifier and the application of a cluster analysis.

As a result of investigations there are revealed eight parts groups of revolution solids, design-technological characteristics which should be used as a technological basis for designing and choice of NC

lathes (NCL). For all groups of parts there are developed complex parts (CP) generalizing all design-technological characteristics of group parts and group technological operations (GTO) for their production. The substantiation of GTO formation scheme was carried out according to shown costs  $C_{\text{manuf}}$  for machining a complex part. The design-technological characteristics and schemes of GTO formation are initial data for the definition of basic technological parameters of a new range of NCLs or the choice of the most suitable existing NCL.

As a result, there are substantiated NCL basic parameters for machining eight groups of parts. The design and production of all eight NCLs should be organized according to block-modular principle that is on a single common element base. To realize this principle there is substantiated a unified structure of functional units of the machine for the creation of all NCLs with different technological potentialities.

**Key words:** machine, NC, part, shaping coordinate, machine space.

### Введение

Основным технологическим оборудованием на машиностроительных предприятиях являются металлорежущие станки с числовым программным управлением (МС с ЧПУ). Современные МС с ЧПУ отличаются максимальной концентрацией технологических операций и различных методов обработки заготовок (точение, фрезерование, сверление и др.), а, следовательно, высокой стоимостью [1, 2].

Исследование эффективности эксплуатации двадцати тысяч МС с ЧПУ в Англии, США, Франции показало, что только 40 % из них были выбраны правильно и использовались рационально [3]. Производители МС с ЧПУ уделяют мало внимания анализу требований потребителей, т. е. производственно-технологическим условиям, характерным большинству заказчиков оборудования [4, 5].

Отличительной особенностью мелко-серийного и серийного производства является широкая номенклатура изготавливаемых деталей. Поэтому проектирование новых станков или выбора рационального оборудования из существующей гаммы является сложной задачей [6].

Технологическое проектирование станков с ЧПУ – это взаимосвязь следующих элементов: характеристики деталей – группирование деталей – технологические операции – функционально-структурная модель станка – параметры, блоки и агрегаты станка.

Цель работы – оптимизация технологических возможностей токарных станков с ЧПУ (ТС с ЧПУ) на основе анализа характеристик деталей машин и приборов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи [7]:

- формирование информационного банка данных о деталях машин и приборов;
- группирование деталей по общности конструктивно-технологических характеристик;
- выбор групп деталей, которые целесообразно принять в качестве информационно-технологической основы для проектирования ТС с ЧПУ;
- обоснование схем построения технологических операций для изготовления групп деталей;
- обоснование технических параметров ТС с ЧПУ;
- разработка функционально-структурных моделей ТС с ЧПУ;
- обоснование состава унифицированных функциональных блоков для построения ТС с ЧПУ по блочно-модульному принципу.

### Создание регионального банка данных о деталях

Важнейшей задачей для определения технических параметров МС с ЧПУ является создание банка данных о деталях машин, позволяющего обобщить характеристики объектов производства большинства потребителей оборудования. Создание такого банка на республиканском уровне в настоящее время нереально. Поэтому для исследований нами создан региональный банк данных (РБД) о деталях Ульяновского региона, в котором действуют 15 крупных промышленных предприятий, представляющих различные отрасли промышленности: авиастроение, судостроение, станкостроение, автомобилестроение, приборостроение и др. Статистические отчеты показали, что номенклатура выпускаемых в области изделий во многом схожа с но-

менклатурой других промышленно развитых областей Поволжья (в частности Республики Татарстан, Нижегородской и Самарской областей).

По разработанной методике на предприятиях заполнялась информационная карта для каждой детали, в которой конструктивные признаки кодировали по Классификатору ЕСКД (К.ЕСКД), а технологические характеристики в истинных значениях с чертежа детали [8-11].

Региональный банк данных содержит информацию о 200 тыс. наименований деталей. Анализ РБД показал, что наибольшие номенклатуру, объем выпуска, трудоемкость имеют детали 71 класса (тела вращения) и 74 класса (плоскостные детали) (табл. 1).

Таблица 1

Распределение деталей РБД по классам К. ЕСКД

Класс детали по К.ЕСКД	Конструктивная характеристика деталей	Номенклатура деталей, %	Годовой объем выпуска, %	Трудоёмкость, %
71	Тела вращения	28,6	30	32,8
72	Тела вращения с элементами зубчатого зацепления.	8,2	7,3	8,8
73	Не тела вращения: корпусные	6,8	4,2	6,2
74	Не тела вращения: плоскостные; профильные	37,7	41,9	38,1
75	Карданные, кулачковые, арматуры и др.	18,7	17,6	14,1

Подобные информационные банки данных о деталях созданы в г. Аахен (ФРГ), экспериментальном научно-исследовательском институте металлоре-

жущих станков (ЭНИМС) и на предприятиях. В частности, установлено, что распределения деталей по классам РБД и банка ЭНИМС совпадают более, чем на 90 %.

### Группирование деталей регионального банка данных

Очевидно, что в условиях многономенклатурного серийного производства технологической основой проектирования МС с ЧПУ могут быть обобщенные конструктивно – технологические характеристики правильно подобранных групп деталей.

Для дальнейших исследований нами принят класс 71 К.ЕСКД – детали тела вращения, характеристики которых являются технологической основой токарных станков с ЧПУ (ТС с ЧПУ).

Нами разработана методика группирования деталей в два этапа [12-14]:

– укрупненное группирование деталей путем объединения классификационных признаков по иерархичной структуре К.ЕСКД на основе теории стягивания графа. На первом этапе группирование ведется по общности конструктивных признаков К.КСКД.

– группирование деталей с применением кластерного анализа. На втором этапе группирования классификационные конструктивные признаки деталей заменены соответствующими формообразующими координатами  $\Phi_k$ , которые необходимо реализовать ТС с ЧПУ для обработки определенного классификационного признака. В качестве второго признака группирования на данном этапе принимаем отношение  $L_d$  длины  $L$  к диаметру  $D$  детали, которое во многом определяет технологию ее обработки.

Отбор рациональных групп, которые экономически целесообразно изготавли-

вать на ТС с ЧПУ, осуществляется по следующим критериям [15]:

– полная загрузка в течение года одного или нескольких ТС с ЧПУ деталями определенной группы;

– выбор рациональных групп деталей средней и высокой сложности, оцениваемой по числу требуемых формообразующих координат станка  $\Phi_k = 3-6$ , для изготовления на ТС с ЧПУ;

– достаточно широкая распространенность групп деталей на предприятиях (не менее, чем на 50 % участвующих в данном исследовании предприятий).

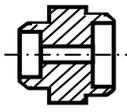
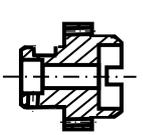
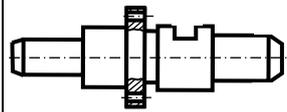
Конструктивно – технологические характеристики групп деталей, отвечающих вышеуказанным условиям, применяются в качестве информационной основы для разработки технологических структур ТС с ЧПУ. Технологическая структура ТС с ЧПУ – это комплекс функций, которые он реализует и функциональных блоков (агрегатов) для построения станков по блочно-модульному принципу.

В результате исследований выявлено, что трем критериям отвечают 8 групп деталей (табл. 2).

Для всех групп деталей разработаны комплексные детали (КД), обобщающие все конструктивно-технологические характеристики деталей группы и групповые технологические операции (ГТО) для их изготовления. Обоснованы схемы построения ГТО по минимальным приведенным затратам  $Z_{пр}$  на обработку комплексной детали.

Таблица 2

## Примеры наиболее распространенных групп деталей типа тел вращения

Характеристики деталей в группах	Распространенность групп деталей на предприятиях, %	Сложность деталей по числу формообразующих координат ТС с ЧПУ, $\Phi_k$	Эскиз комплексной детали
Группа 713321 Фланцы, крышки, стаканы с цилиндрическими ступенчатыми наружными и внутренними поверхностями	100	4 (X; Z; U; W)	
Группа 713324 Фланцы, крышки, стаканы с цилиндрическими ступенчатыми одно- и двухсторонними наружными и внутренними поверхностями; с внецентровыми отверстиями; пазами, лысками, скосами		6 (X; Z; U; W; Y; E)	
Группа 715314 Валы с наружной поверхностью ступенчатой, цилиндрической; с внецентровыми отверстиями; пазами, лысками, скосами	90	4 (X; Z; Y; E)	

## Обоснование параметров токарных станков с ЧПУ

Расчеты показали, что обработку поверхностей КД экономически целесообразно изготавливать на ТС с ЧПУ при параллельно-последовательной схеме построения ГТО [16].

Исходными данными для определения основных технологических параметров нового типажа ТС с ЧПУ или выбора наиболее подходящего существующего ТС с ЧПУ являются конструктивно-

технологические характеристики КД и схемы построения ГТО (табл. 3). Приведем основные параметры ТС с ЧПУ для обработки деталей группы 713321, которые определяют его служебное назначение и составляют основу технического задания на проектирование станка (табл. 3). Подобным образом определены основные параметры ТС с ЧПУ для обработки всех групп деталей.

Таблица 3

## Пример взаимосвязи характеристик деталей машин и параметров ТС с ЧПУ

Характеристики КД 713321	Параметры нового ТС с ЧПУ для обработки заготовок деталей группы 713321
Код КД по Классификатору ЕСКД: 713321	Токарный прутковый патронный с ЧПУ
Структура основных поверхностей КД: цилиндрические наружные и внутренние, ступенчатые, одно- и двухсторонние	Операции: Токарно-расточные; Последовательно-параллельная сема обработки
Дополнительные поверхности КД: пазы, отверстия и др.	Операции: Фрезерные; сверлильные
Конструктивная сложность обрабатываемых КД по $\Phi_k$ : 4	Число и состав формообразующих координат: X, Z, U, W
Габаритные размеры КД: диаметром до 40 мм и 125 мм	1 типоразмер: $D \leq 40$ мм 2 типоразмер: $D \leq 125$ мм
Точность (максимальная): 10 квалитет	Повышенный (П)
Минимальная шероховатость поверхностей деталей Ra, мкм: 1,6	Обеспечиваемая шероховатость: 1,6–2,5
Вид заготовки КД: пруток, труба	Заготовки: Пруток, труба
Материал КД: Конструкционные стали, цветные металлы, коррозионно-стойкие и жаропрочные стали и сплавы	Инструменты для обработки конструкционных сталей, цветных металлов, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов

## Заключение

В результате обоснованы основные параметры ТС с ЧПУ для обработки восьми групп деталей. Проектирование и производство всех восьми ТС с ЧПУ целесообразно организовать по блочно-модульному принципу [17 – 20], т.е. на единой унифицированной элементной базе. Для реализации данного принципа обоснован унифицированный состав

функциональных блоков (агрегатов станка) для создания всех ТС с ЧПУ с разными технологическими возможностями [21].

Таким образом, технологическое проектирование нового типажа ТС с ЧПУ позволило определить требования к станкам, во многом их эффективность на всех стадиях жизненного цикла (проектирование, производство, эксплуатация).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пуш, А. В.** Моделирование и мониторинг станков и станочных систем / А. В. Пуш // Станки и инструмент. – 2000– №9. – С. 12 – 15.
2. **Вайс, С. Д.** Оценка конкурентоспособности металлорежущих станков / С. Д. Вайс, А. А. Корниенко // Станки и инструмент. – 2002– №1. – С. 8 – 12.
3. **Экономическое обоснование области применения металлорежущих станков с программным управлением** / В. Л. Кубланов, И. А. Маковецкая, А. П. Назаренко и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
4. **Корниенко, А. А.** Моделирование рынка металлорежущих станков / А. А. Корниенко // Вестник машиностроения. – 2005. – №3. – С. 81 – 85.
5. **Лехмус, М. Ю.** Структурный синтез компоновок металлорежущих станков / М. Ю. Лехмус, С. И. Фецак, Р. Ф. Амиров // Станки и инструмент. – 2016. – №10. – С. 2 – 4.
6. **Епифанов, В. В.** Функционально-структурное проектирование металлорежущих станков с ЧПУ / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2019. - №3. – С. 96 – 101.
7. **Епифанов, В. В.** Обоснование технологических параметров токарных станков с программным управлением для групповой обработки деталей / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2018. - №1. – С. 213 – 217.
8. **Методика кодирования деталей.** – Ульяновск: УлГТУ, 1997. – 45 с.
9. **Классификатор ЕСКД. Классы 71, 72, 73, 74, 75.** – М.: Изд – во стандартов, 1986. – 401 с.
10. **Епифанов, В. В.** Кодирование и классификация деталей машин и приборов в технологической подготовке производства / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. - №2. – С. 75 – 79.
11. **Епифанов, В. В.** Автоматизированная система выбора эффективного технологического оборудования в условиях серийного производства / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2018. - №4. – С. 20 – 26.
12. **Епифанов, В. В.** Исследование и синтез технологических структур металлорежущих станков с ЧПУ / В. В. Епифанов, В. В. Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 141 с.
13. **Епифанов, В. В.** Алгоритм формирования групп деталей для проектирования технологических структур металлорежущих станков с ЧПУ / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. – 2016– №6. – С. 73 – 78.
14. **Епифанов, В. В.** Тенденции изменения конструктивно - технологических характеристик деталей машин в промышленности / В. В. Епифанов // Вестник машиностроения. – 2018– №5. – С.14 – 17.
15. **Епифанов, В. В.** Обоснование структур технологических операций обработки групп деталей на токарных станках с ЧПУ / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2020. – №2. – С. 44 – 47.
16. **Базров, Б. М.** Модульная технология в машиностроении / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2001. – 368 с.
17. **Митрофанов, С. П.** Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т / С. П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, 1983. – 404 с.
18. **Епифанов, В. В.** Алгоритм формирования групп деталей для проектирования технологических структур металлорежущих станков с ЧПУ / В. В. Епифанов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. - 2015. - Т. 71. - № 6. - С. 73-77.
19. **Врагов, Ю. Д.** Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонетики) / Ю. Д. Врагов. – М. : Машиностроение, 1978. – 208 с.
20. **Аверьянов, О. И.** Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О. И. Аверьянов. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.
21. **Епифанов, В. В.** Исследование структуры токарных станков с ЧПУ с применением функционально-стоимостного анализа / В. В. Епифанов, В. В. Ефимов // Станки и инструмент. – 2004. – №8. – С. 13 – 17.

1. **Push, A.V.** Modeling and monitoring of machines and machine systems / A.V. Push // *Machines and Tool*. 2000 – No.9. – pp. 12-15.
2. **Weiss, S.D.** Estimate of competitive ability of machine-tools / S.D. Weiss, A.A. Kornienko // *Machines and Tool*. – 2002 – No.1. – pp. 8-12.
3. **Economic substantiation of field of NC machine-tool use** / V.L. Kublanov, I.A. Makovetskaya, A.P. Nazarenko et al. – M.: *Mechanical Engineering*, 1987. – pp. 152.
4. **Kornienko, A.A.** Modeling of machine-tool market / A.A. Kornienko // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2005. – No.3. – pp. 81-85.
5. **Lekhmus, M.Yu.** Structural synthesis of machine-tool arrangements / M.Yu. Lekhmus, S.I. Fetsak, R.F. Amirov // *Machines and Tool*. – 2016. – No.10. – pp. 2-4.
6. **Epifanov, V.V.** Functional-structural design of NC machine-tools / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University of Kazan*. – 2019. – No.3. – pp. 96-101.
7. **Epifanov, V.V.** Substantiation of NC lathe technological parameters for parts group machining / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University of Kazan*. – 2018. – No.1. – pp. 213-217.
8. **Procedure for Parts Coding**. – Ulyanovsk: UISTU, 1997. – pp. 45.
9. **ESKD Classifier. Classes 71, 72, 73, 74, 75**. – M.: Standards Publishers, 1986. – pp. 401.
10. **Epifanov, V.V.** Coding and classification of machinery and devices in technological pre-production / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University of Kazan*. – 2017. – No.2. – pp. 75-79.
11. **Epifanov, V.V.** Automated system for choice of effective technological equipment under conditions of serial manufacture / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University of Kazan*. – 2018. – No.4. – pp. 20-26.
12. **Epifanov, V.V.** *Investigation and Synthesis of NC Machine-tool Technological Structures* / V.V. Epifanov, V.V. Efimov. – Ulyanovsk: UISTU, 2006. – pp. 141.
13. **Epifanov, V.V.** Algorithm of parts group formation for design of technological structures of NC machine-tools / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University of Kazan*. – 2016 – No.6. – pp. 73-78.
14. **Epifanov, V.V.** Trends in changes of design-technological characteristics of machinery in industry / V.V. Epifanov // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2018 – No.5. – pp. 14-17.
15. **Epifanov, V.V.** Substantiation of technological operation structures for parts group machining on NC lathes / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University of Kazan*. – 2020. – No.2. – pp. 44-47.
16. **Bazrov, B.M.** *Modular Technology in Mechanical Engineering* / B.M. Bazrov. – M.: Mechanical Engineering, 2001. – pp. 368.
17. **Mitrofanov, S.P.** *Group Technology in Machine-Building Production*. In 2 Vol. / S.P. Mitrofanov. – L.: Mechanical Engineering, 1983. – pp. 404.
18. **Epifanov, V.V.** Algorithm of parts group formation for designing technological structures of NC machine-tool / V.V. Epifanov // *Bulletin of Tupolev State Technical University*. – 2015. – Vol.71. – No.6. – pp. 73-77.
19. **Vragov, Yu.D.** *Analysis of Machine-Tool Arrangements (Arrangement Fundamentals)* / Yu.D. Vragov. – M.: Mechanical Engineering, 1978. – pp. 208.
20. **Averiyarov, O.I.** *Modular Principle of NC Machine Formation* / O.I. Averiyarov. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – pp. 232.
21. **Epifanov, V.V.** Investigation of NC lathe structure using functional-cost analysis / V.V. Epifanov, V.V. Efimov // *Machines and Tool*. – 2004. – No.8. – pp. 13-17.

Ссылка для цитирования:

Епифанов, В.В. Технологическое проектирование токарных станков с ЧПУ на основе регионального банка данных о деталях машин и приборов / В.В. Епифанов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 6. – С. 30 - 35. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-6-30-35.

Статья поступила в редакцию 19.02.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Тульского государственного университета,

Анцев В.Ю.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 25.05.21.

#### Сведения об авторах:

**Епифанов Вячеслав Викторович**, д.т.н., профессор кафедры «Автомобили», Ульяновский государственный технический университет, e-mail: v.epifanov73@mail.ru.

**Epifanov Vyacheslav Victorovich**, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Motor Cars”, Ulyanovsk State Technical University, e-mail: v.epifanov73@mail.ru.