

INFORMATION SYSTEMS

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.31

В.В. Епифанов, А.Н. Афанасьев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОДИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА

Епифанов Вячеслав Викторович, доктор технических наук, окончил машиностроительный факультет Ульяновского политехнического института. Профессор кафедры «Автомобили» Ульяновского государственного технического университета. Имеет монографии, статьи, изобретения в области автоматизации технологической подготовки производства. [e-mail: v.epifanov73@mail.ru].

Афанасьев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Первый проректор, проректор по дистанционному и дополнительному образованию УлГТУ. Имеет более 200 статей в области САПР. Область научных интересов: автоматизированные системы обучения, организация вычислительных процессов и структур ЭВМ, проектирование интеллектуальных систем, САПР, управление сложными потоками работ, диаграмматика графических языков. [e-mail: a.afanasev@ulstu.ru].

Аннотация

Повышение эффективности конструкторской и технологической подготовки в условиях многономенклатурного серийного производства может быть обеспечено за счет кодирования и классификации деталей. Поэтому в работе приведено теоретическое обоснование классификационных признаков деталей и их группирования.

Предложена методика кодирования деталей, в соответствии с которой детали присваивается обезличенный код ее конструктивных характеристик по классификатору ЕСКД. Технологические характеристики детали кодируются в истинных значениях с чертежа. На практике методика реализована при создании регионального банка данных о деталях, который содержит информацию о 150 тыс. наименований деталей.

В статье приведена функционально-структурная схема автоматизированной системы кодирования и классификации деталей (АСКК), состоящая из четырех подсистем: кодирования деталей, обобщения характеристик деталей, выбора проектных решений, вывода технической документации.

На промышленных предприятиях АСКК позволяет существенно повысить производительность труда конструкторов и технологов при подготовке производства и качество принимаемых ими проектных решений.

Ключевые слова: деталь, кодирование, классификация, автоматизация, система.

THE AUTOMATED SYSTEM OF CODING AND CLASSIFICATION OF PRODUCTION OBJECTS

Viacheslav Viktorovich Epifanov, Doctor of Engineering; graduated from the Faculty of Machine-Building of Ulyanovsk Polytechnic Institute; Professor at the Department of Motorcars of Ulyanovsk State Technical University; an author of monographs, articles, and inventions in the field of process planning automation. e-mail: v.epifanov73@mail.ru.

Aleksandr Nikolaevich Afanasev, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering at Ulyanovsk Polytechnic Institute; First Vice-Rector for Distance and Extended Education at Ulyanovsk State Technical University; an author of more than 200 articles in the field of CAD, interested in automated training systems, computational process and computer structure organization, intelligent system design, CAD, composite workflow control, graphic language diagrammatics. e-mail: a.afanasev@ulstu.ru.

Abstract

Increasing efficiency of design and technological training in conditions of multi-nomenclature serial production can be ensured by coding and classification of parts. Therefore, the paper provides theoretical substantiation of classification characteristics of parts and their grouping.

A method for coding details is proposed, in accordance with which details are assigned an impersonal code of its design characteristics according to the United Design Documentation System (SUDD) classifier. Technological characteristics of the parts are coded in true values from the drawing. In practice, the technique was implemented when creating a regional data bank about details that contains information on 150 thousand items.

The article shows the functional-structural scheme of the automated system for coding and classification (ASCC) of parts, consisting of four subsystems: coding of parts, generalization of parts characteristics, selection of design solutions, output of technical documentation.

At industrial enterprises, ASCC allows to significantly increase the labor productivity of designers and technologists in the preparation of production and the quality of the design decisions they make.

Key words: part, coding, classification, automation, system.

ВВЕДЕНИЕ

В промышленности актуальной является задача сокращения сроков конструкторской и технологической подготовки производства. Данная проблема решается путем комплексной автоматизации процессов проектирования (CAE/CAD/CAM), а также применением принципов унификации и типизации [1, 2].

В существующих системах CAD/CAM недостаточно эффективно применяются типовые проектные решения, которые позволяют сохранять и передавать знания в производственных подразделениях [3, 4]. Оперативно и обоснованно выполнять заимствование проектных решений можно только с использованием систем классификации, позволяющих описать объекты производства обезличенным кодом (вне зависимости от их функционального назначения).

В конце 80-х годов прошлого столетия был создан уникальный продукт – классификатор ЕСКД (К.ЕСКД) и технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения [5, 6]. Классификатор ЕСКД охватывает широкую номенклатуру деталей машин и приборов, разделенную на шесть классов. Основными задачами К.ЕСКД являются:

- создание баз данных широкой номенклатуры деталей и автоматизированный анализ их конструкторско-технологических признаков;
- группирование деталей по конструкторско-технологическому подобию для разработки типовых и групповых технологических процессов с использованием ЭВМ;
- унификация и стандартизация деталей и технологических процессов их изготовления;

- повышение серийности и концентрации производства деталей;
- организация предметно-специализированных производственных подразделений (участков, цехов, заводов);
- выбор рационального технологического оборудования и оснастки;
- экспертный автоматизированный поиск ранее разработанных типовых и групповых, технологических процессов;
- автоматизация проектирования деталей и технологических процессов их изготовления.

Одной из основных проблем внедрения К.ЕСКД в производство является отсутствие эффективных автоматизированных экспертных систем кодирования и классификации деталей (АСКК).

1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЕТАЛЕЙ

Для описания на информационном языке конструктивно-технологических и организационно-плановых характеристик деталей необходимо разработать информационную модель детали (ИМД), которая является основной структурной единицей базы данных о деталях. Деталь D в базе данных может быть охарактеризована и соответственно описана некоторой совокупностью (множеством) признаков:

$$D = \{ P_1, \dots, P_i, \dots, P_n \},$$

где P_i – i -й признак детали;

n – общее количество признаков.

Каждый из n признаков может быть представлен

двумя частями: наименованием признака X_i и его числовым значением x_i . При кодировании определенного признака какого-либо объекта производства используют соответствующую ему классификационную систему.

В процессе разработки ИМД решается задача обоснования рационального набора классификационных признаков, являющихся наиболее информативными для конструкторского и технологического проектирования. Эта задача относится к классу задач, связанных с оценкой необходимости и достаточности некоторой совокупности признаков, и решена путем наложения множества $Y = (y_1, \dots, y_i)$ конструкторских и технологических параметров объектов производства на множество классификационных признаков $X = (x_1, \dots, x_i)$. Наложение множества Y на множество X математически можно представить с помощью отображения множеств [7].

В этом случае имеем многозначное отображение v множества Y параметров объектов производства во множество X классификационных признаков:

$$v : Y \rightarrow X. \quad (1)$$

Отображение v означает, что каждому элементу y_i множества Y сопоставляется один или несколько элементов x_i множества X , которые в той или иной степени влияют на y_i .

При этом образом $v(y_i)$ каждого параметра объекта производства $y_i \in Y$ по подмножеству X будет подмножество классификационных признаков $x_i \in X$, сопоставляемых при отображении v элементу y_i :

$$v(y_i) = \{x_i\} \in X, \quad (2)$$

где $\{x_i\}$ – подмножество классификационных признаков, являющихся наиболее информативными для y_i .

Следующий шаг отображения множеств v заключается в объединении образов всех параметров объекта производства $(y_1, \dots, y_i) \in Y$, что позволяет получить искомый набор наиболее информативных классификационных признаков:

$$U_{n \in N} v(y_i) = \{x_i / \exists n (n \in N) \wedge x_i \in v(y_i)\}, \quad (3)$$

где N – множество образов элементов $(y_1, \dots, y_i) \in Y$ при отображении v ; n – элементы множества N .

Рациональный состав классификационных признаков X_1 (или область значений отображения v) определим следующим образом:

$$X_1 = \{(U_{n \in N} v(y_i) \in X)\} \subseteq X_{кл}. \quad (4)$$

Задача выявления наиболее информативных классификационных признаков для конструкторской и технологической подготовки производства решена при создании регионального банка данных (БД) о деталях, изготавливаемых на предприятиях Ульяновской области. Группа ведущих конструкторов и технологов предприятий и ученых Ульяновского государственного технического университета разработали ИМД и на ее основе методику кодирования деталей [8]. В методике

конструктивные характеристики деталей кодируются по К.ЕСКД.

Иерархическая структура К.ЕСКД предусматривает дедуктивное логическое деление классифицируемого множества признаков, что обеспечивает последовательно увеличивающуюся конкретизацию признаков деталей на разных уровнях классифицируемого деления. Иерархическую структуру К.ЕСКД можно представить в виде графа-дерева $L_g = (X_k, U)$, где X_k – множество вершин графа (или, в данном случае, множество конструкторских признаков) и U – множество ребер, показывающих взаимосвязь признаков-вершин (рис. 1 а).

В результате кодирования по К.ЕСКД каждой детали присваивается только один классификационный вид, шестизначный цифровой код которого получается путем последовательного кодирования характеристик деталей по классификационным группировкам. По структуре пяти классов К.ЕСКД предусмотрено около 15 тысяч классификационных видов, что при классификации представительного массива деталей соответствует созданию примерно такого же числа мелких групп деталей. Это крайне затрудняет их использование в качестве типовой основы для создания новых проектных решений. Поэтому необходима разработка алгоритма сокращения числа классификационных видов, что соответствует процессу группирования деталей.

Процесс группирования (обобщения) деталей базы данных по К.ЕСКД заключается в преобразовании его иерархической структуры с помощью операции стягивания (свертки) графа L_g , показанного на рисунке 1 а, [9]. В результате операции стягивания вершин граф $L_g = (X_k, U)$ преобразуется в другой граф L_g^* с меньшим числом вершин $n(L)-1$ и ребер (рис. 1 б). Например, стягивание ребра $u_{11}^* (x_{k11}, x_{k12}) \in U$ означает, что само ребро u_{11}^* удаляется, а инцидентные ему вершины x_{k11} и x_{k12} заменяются одной x_{k11}^* . Эта вершина x_{k11}^* объявляется смежной со всеми теми вершинами множества $X_k \setminus \{x_{k11}, x_{k12}\}$, которые в графе L_g были смежные, по крайней мере, с одной из вершин x_{k11} , x_{k12} .

Практическая реализация операции свертки графа L_g заключается в объединении классификационных признаков x_{kij} деталей машин и приборов, для обработки которых требуются одинаковые технологические операции и оборудование. Установлено, что число видов деталей по К.ЕСКД может резко сократиться до 1800.

2 СТРУКТУРА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОДА В АСКК

В ИМД обезличенное кодовое обозначение по ГОСТ 2.201-80 формализует конструктивно-геометрические характеристики деталей. Шестизначный конструкторский код детали определяет геометрию детали

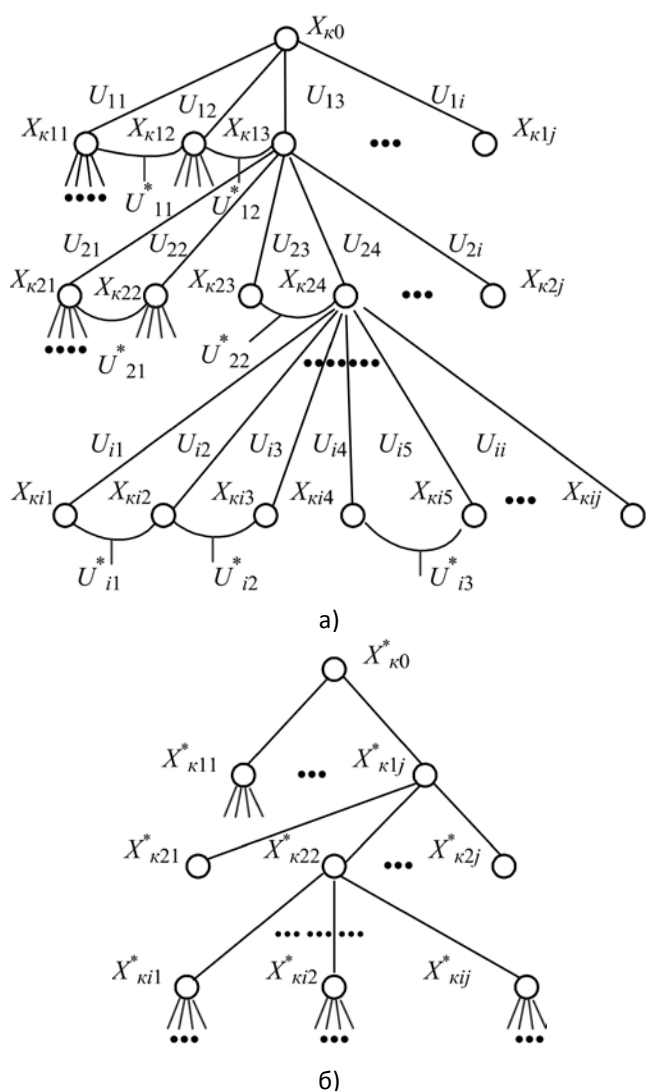


Рис. 1. Граф-дерево признаков деталей классификатора ЕСКД: а, б соответственно до и после стягивания

(тело вращения, корпусные, плоскостные и др.), форму и структуру поверхностей (цилиндрические, конические, гладкие, ступенчатые и др.).

Технологические характеристики (габаритные размеры, точность, материал, заготовка и др.) и организационно-плановые характеристики (трудоемкость обработки, годовая программа выпуска) в ИМД представлены не в кодовом обозначении, а в истинных значениях характеристик с эскиза детали. В результате формируется технологический код детали из четырнадцати знаков. Это позволило уменьшить время кодирования и расширить техническую информативность признака.

Методика кодирования деталей апробирована при создании регионального БД о деталях, изготавливаемых на предприятиях Ульяновской области [10, 11]. В настоящее время БД содержит информацию о 150 тыс. деталей 18-ти промышленных предприятий (табл. 1).

3 СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АСКК

Проектировщик осуществляет кодирование на основе эскиза (проекта) детали. На первом этапе кодируются конструктивно-геометрические характеристики. Кодирование осуществляется путем постановки кодов проектировщиком в последовательно выводимые на экран ЭВМ меню (рис. 2).

На втором этапе кодируются технологические и организационно-плановые характеристики детали в истинных значениях путем ответов на вопросы (например, введите минимальную шероховатость поверхности R_a – ответ: 2.5). Полный двадцатизначный код детали заносится в базу данных о деталях (рис. 3). Код детали дублируется соответствующим эскизом детали из базы данных эскизов.

Таблица 1

Распределение деталей БД по классам Классификатора ЕСКД

Класс деталей	Характеристика деталей	Номенклатура деталей, %	Годовой объем производства, %	Трудоемкость, %
71	Тела вращения типа колец, дисков, шкивов, втулок, стаканов, крышек, валов, осей, шпинделей и др.	22,8	25,2	31,8
72	Тела вращения с элементами зубчатого зацепления и др.	8,2	9,8	8,8
73	Не тела вращения; корпусные, опорные, емкостные и др.	6,8	4,2	6,8
74	Не тела вращения; плоскостные, рычажные, грузовые, тяговые, изогнутые из листов, полос, лент, аэродинамические и др.	43,5	41,3	38,5
75	Тела вращения и (или) не тела вращения; кулачковые, карданные, арматуры, санитарно-технические, пружины, ручки, уплотнительные и др.	18,7	18,5	14,1

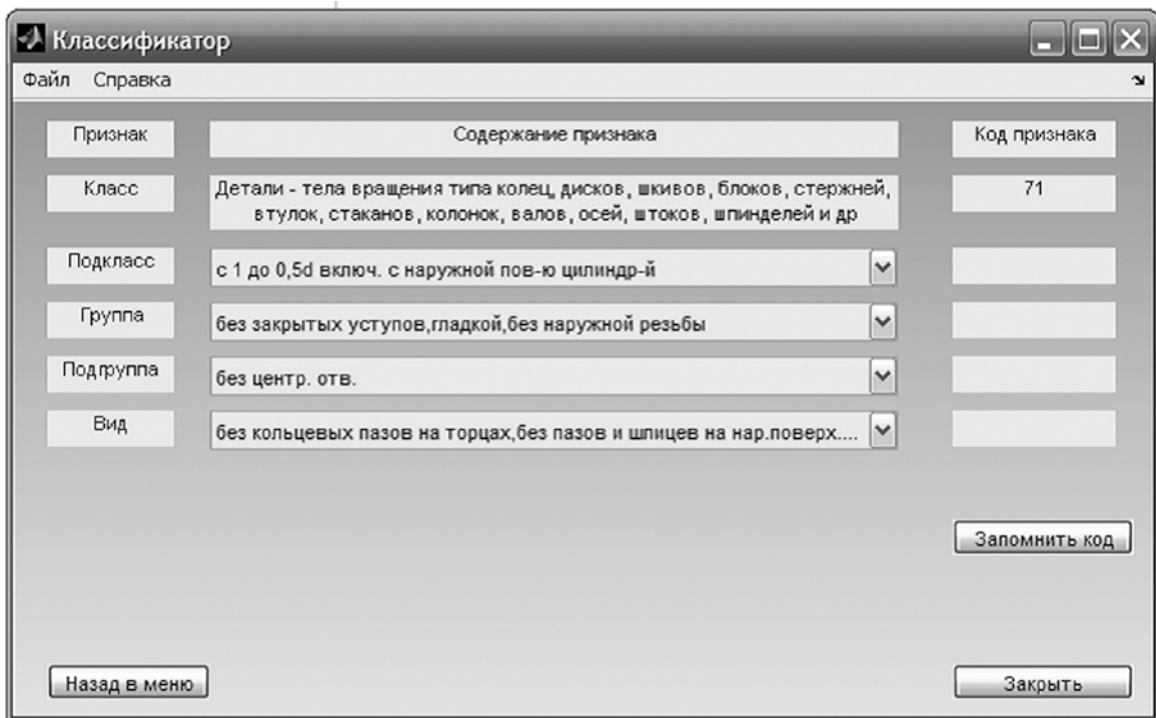


Рис. 2. Пример меню для кодирования деталей типа тел вращения (71 класс по К.ЕСКД)

В подсистеме обобщения характеристик деталей код детали автоматически в соответствии с алгоритмом относится к определенной классификационной группе.

В подсистеме проектирования на основе кодов детали и классификационной группы из БД выбираются аналоги чертежа детали и (или) технологического процесса. Из БД технологического оборудования выбирается рациональная модель станка.

Выбранные аналоги в диалоговом режиме редактируются и выводятся соответствующая конструкторская и (или) технологическая документация на новую деталь.

На промышленных предприятиях АСКК позволяет существенно повысить производительность труда конструкторов и технологов при подготовке производства и качество принимаемых ими проектных решений.

4 ПОДСИСТЕМА ОБОБЩЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ

В АСКК важной является подсистема обобщения характеристик деталей, так как позволяет выполнить анализ базы данных о деталях на предприятии по каждому элементу классификационного кода деталей. Такой анализ позволяет эффективнее решать задачи организации, планирования и управления производством.

Например, в АСКК нами выполнен анализ регионального БД о деталях, изготавливаемых на предприятиях Ульяновской области по различным элементам классификационного кода деталей типа тел вращения (класс 71 по К.ЕСКД).

Основным методом обработки заготовок деталей является механическая обработка резанием (рис. 4). При этом, как правило, с заготовок снимают достаточно большие припуски, что приводит к высоким материальным затратам. По-прежнему слабо внедряются перспек-



Рис. 3 Структурно-функциональная схема АСКК

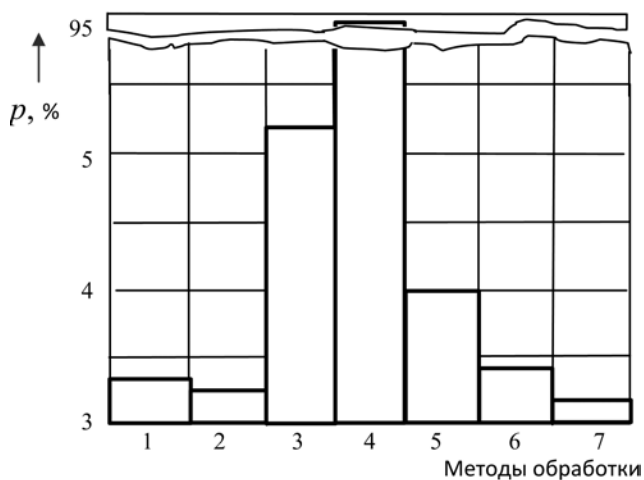


Рис. 4. Частость p распределения номенклатуры деталей типа тел вращения по методам обработки:

1 – литье; 2 – ковка и объемная штамповка; 3 – листовая штамповка; 4 – резание; 5 – формование из полимерных материалов, керамики, резины; 6 – формование из металлических порошков; 7 – прочие методы

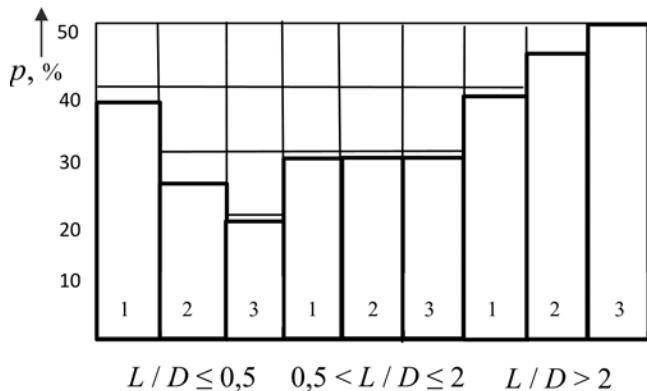


Рис. 5. Частость p распределения номенклатуры деталей (1), годового объема выпуска (2), трудоемкости (3) по отношению длины L и диаметра D

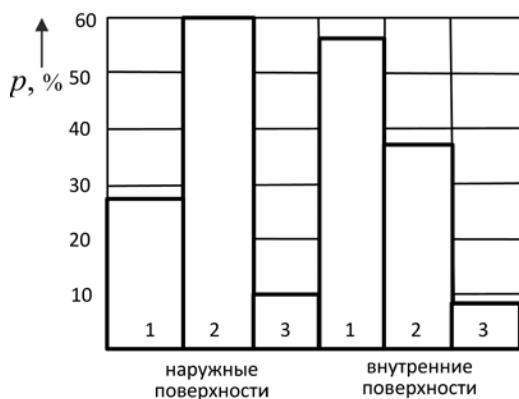


Рис. 6. Частость p распределения номенклатуры деталей в зависимости от формы наружных и внутренних поверхностей: 1 – цилиндрические гладкие; 2 – цилиндрические ступенчатые; 3 – конические, криволинейные, комбинированные

тивные технологические процессы литья, штамповки, электрофизикохимические методы обработки.

Установлено (рис. 5), что детали типа фланцев, дисков, крышек ($L/D \leq 0,5$), втулок, стаканов, оправок ($0,5 < L/D \leq 2$), валов, осей, шпинделей ($L/D > 2$) в равной степени представлены в БД. Нежестких деталей ($L/D > 20$) выявлено незначительное количество (около 2%).

Анализ БД по форме обрабатываемых поверхностей (рис. 6) показал, что наружные поверхности деталей имеют в основном цилиндрическую форму (90%), из них со ступенчатой структурой $p = 60\%$ и гладкие $p = 30\%$. Для внутренних поверхностей деталей наиболее характерны цилиндрические гладкие (58,4%) и цилиндрические ступенчатые (37,1%) поверхности. Значительно меньше деталей с конической, криволинейной и комбинированной формой поверхностей.

Распределение деталей машин по группам обрабатываемости материалов иллюстрирует гистограмма на рисунке 7. Видно, что максимальную частость $p = 50\%$ имеют детали, изготавливаемые из конструкционных углеродистых сталей, сталей, легированных хромом, никелем в сочетании с марганцем, кремнием, вольфрамом, молибденом, ванадием ($p = 14,5\%$). К сожалению, мала доля применения в промышленности цветных металлов, керамики, углепластиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АСКК нами внедрена при технической подготовке механообрабатывающего производства приборостроительного завода. Было закодировано и внесено в базу данных около 8000 деталей. Выполнена классификация и группирование деталей по общности конструктивно-технологических характеристик. Сформировано 42 группы деталей, для которых разработаны комплексные детали-представители и групповые технологические процессы. Для обработки выявленных групп деталей по групповым технологическим процессам предложено сформировать предметно-специализированные производственные участки, что позволит существенно сократить трудоемкость изготовления деталей и улучшить качество. Применение групповых технологических процессов позволило сократить время проектирования технологических процессов на новые детали на 30–40%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 434 с.
- Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства : перс англ.. – М. : Мир, 1987. – 528 с.
- АСКОН дарит новую жизнь старому классификатору / И.В. Лавренов, М.В. Новикова, Д.И. Троицкий, Н.П. Шишкова // САПР и графика. – 2002. – № 6. – URL: <http://sapr.ru/article/7429>.

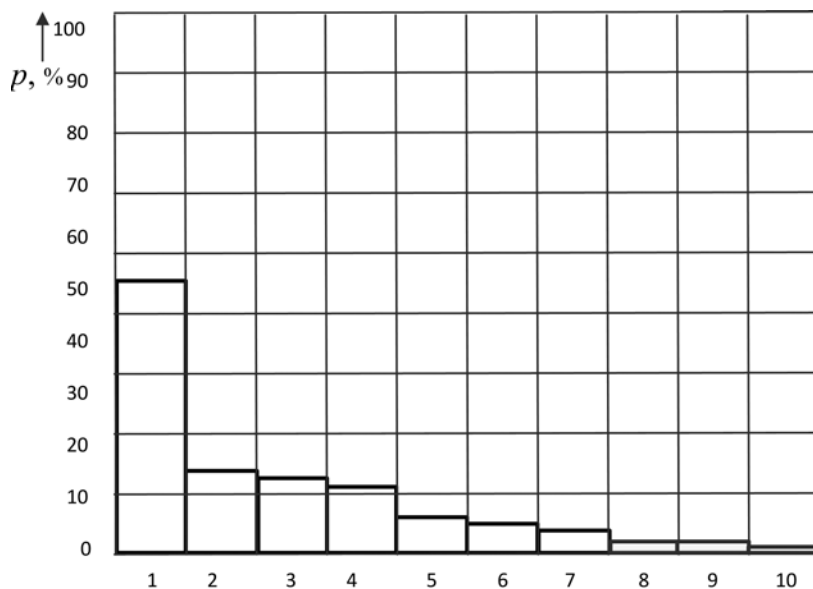


Рис. 7. Частота p распределения номенклатуры деталей по группам обрабатываемости материалов: 1 – стали конструкционные, углеродистые; 2 – стали конструкционные, легированные хромом, никелем в сочетании с марганцем, кремнием, вольфрамом, молибденом, ванадием; 3 – инструментальные углеродистые; 4 – стали коррозионно-стойкие и жаропрочные, никелевые и титановые сплавы; 5 – быстрорежущие сплавы; 6 – магнитные сплавы; 7 – чугун; 8 – латунь; 9 – алюминий и его сплавы; 10 – керамика, стекло

4. Ловыгин А. Впечатления от форума «РазвитТие. Российские технологии для инженеров» // Публикации SAM. – 2015. – № 4. – С. 22–25.

5. Классификатор ЕСКД. Классы 71, 72, 73, 74, 75. Иллюстрированный определитель деталей. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 401 с.

6. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 256 с.

7. Александров П.С. Введение в теорию множеств и общую топологию. – М.: Наука, 1977. – 367 с.

8. Методика кодирования деталей: Метод рекомендации / под общ. ред. В.В. Ефимова. – Ульяновск: УлПИ, 1988. – 36 с.

9. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. – 384 с.

10. Опыт создания регионального банка данных о деталях машиностроения / В.В. Епифанов, В.В. Ефимов, Р.И. Неняева, А.А. Федотов: тез. докл. межотрасл. совещания, 27–28 сентября 1993 г. – М.: ГНИЦВОК, 1993. – С. 13–15.

11. О возможности организации межотраслевого производства на основе регионального банка данных о деталях / В.В. Епифанов, В.В. Ефимов, Р.И. Неняева, А.А. Федотов // Стандарты и качество. – 1996. – № 4. – С. 25–29.

REFERENCES

1. Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniia* [Fundamentals of Computer-Aided Design]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2009. 434 p.
2. Groover M., Zimmers E. *SAPR i avtomatizatsiia proizvodstva. Per. s angl.* [CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing. Transl. from Engl.]. Moscow, Mir Publ., 1987. 528 p.
3. Lavrenov I.V., Novikova M.V., Troitskii D.I., Shishkova N.P. ASKON darit novuiu zhizn staromu klassifikatoru [ASKON Gives a New Life to the Old Classifier]. *SAPR i grafika* [CAD and Graphics], 2002, no. 6. Available at: <http://sapr.ru/article/7429>.
4. Lovygin A. Vpechatleniia ot foruma "RazviTtie. Rossiiskie tekhnologii dlia inzhenerov" [Impressions from RazviTtie. Russian Technologies for Engineers Forum]. *Publikatsii SAM* [SAM Publications], 2015, no. 4, pp. 22–25.
5. *Klassifikator ESKD. Klassy 71, 72, 73, 74, 75. Illiustrirovannyi opredelitel detalei* [SUDD Classifier. 71, 72, 73, 74, 75 Classes. Illustrated Part Catalogue]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1988. 401 p.
6. *Tekhnologicheskii klassifikator detalei mashinostroeniia i priborostroeniia* [Technological Classifier for Parts of Mechanical and Instrument Engineering]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1988. 256 p.
7. Aleksandrov P.S. *Vvedenie v teoriiu mnozhestv i obshchuiu topologiu* [An Introduction to the Set Theory and General Topology]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 367 p.
8. *Metodika kodirovaniia detalei: Metod rekomendatsii*. Pod obshch. red. V.V. Efimova [Methods for Part Classifier. Tips. Edited by V.V. Efimov]. Ulyanovsk, UIPI Publ., 1988. 36 p.
9. Zыkov A.A. *Osnovy teorii grafov* [Graph Theory Fundamentals]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 384 p.
10. Epifanov V.V., Efimov V.V., Neniaeva R.I., Fedotov A.A. Opyt sozdaniia regionalnogo banka dannykh o detaliakh mashinostroeniia [Creating Practices of the Regional Data Base of Mechanical Parts]. *Tez. dokl. mezhotrasl. soveshchaniia 27–28 sentiabria, 1993* [Brief Outline Reports of Intersectional Meeting. September 27–28, 1993]. Moscow, GNITsVOK Publ., 1993, pp. 13–15.
11. Epifanov V.V., Efimov V.V., Neniaeva R.I., Fedotov A.A. O vozmozhnosti organizatsii mezhotraslevogo proizvodstva na osnove regionalnogo banka dannykh o detaliakh [On the Possibility of Organizing the Intersectional Manufacturing on the Base of the Regional Database of Parts]. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality], 1996, no. 4, pp. 25–29.