

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

УДК 621.91.01
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-4-503-512>

Поступило в редакцию 15.06.2021
Received 15.06.2021

Б. М. Базров¹, М. Л. Хейфец², В. Л. Гуревич³, Н. Н. Попок⁴

¹*Институт машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Российская Федерация*

²*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

³*Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь*

⁴*Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Республика Беларусь*

**СИСТЕМОЛОГИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(Представлено академиком А. П. Ласковневым)

Аннотация. С системных позиций изучены основные методы классификации и кодирования в машиностроении, рассмотрены их основные характеристики. При анализе системологии классификаций машин различного функционального назначения показано отсутствие единого методического подхода в построении классификации и при кодировании изделий. В существующих классификациях изделия рассматриваются конструктивно, только как объекты эксплуатации, а остальные этапы их жизненного цикла не затрагиваются. В результате системного анализа предлагается единый методический подход для построения классификаций, кодирования и унификации изделий различного функционального назначения, отражающий особенности всех этапов их жизненного цикла. Для производственных этапов жизненного цикла рассмотрена система классификаций, использующих различные способы кодирования: описание конструктивно-технологических элементов, формируемых кромками инструментов, последовательностью цифр с учетом знаков; описание поверхностей, формируемых движением инструмента, цифрами с указанием направлений движений подачи; а для описания сложнопрофильных поверхностей и сочетания элементов большой протяженности применяется их комбинация. Целесообразность использования каждой из классификаций в условиях реального производства определяется по статистике применения конструктивно-технологических элементов и поверхностей, а также инструментов их формирующих.

Ключевые слова: системология, методический подход, жизненный цикл изделия, унификация, классификация, кодирование, модульная технология, конструктивно-технологический элемент

Для цитирования. Системология объектов и процессов при цифровизации жизненного цикла изделий машиностроения / Б. М. Базров [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 503–512. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-4-503-512>

Boris M. Bazrov¹, Mikhail L. Kheifetz², Valery L. Hurevich³, Nikolay N. Popok⁴

¹*Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic Belarus*

³*Belarussian State Institute of Metrology, Minsk, Republic Belarus*

⁴*Polotsk State University, Novopolotsk, Republic Belarus*

**SYSTEMOLOGY OF OBJECTS AND PROCESSES IN DIGITALIZATION
OF THE LIFE CYCLE OF ENGINEERING PRODUCTS**

(Communicated by Academician Alexander P. Laskovnev)

Abstract. The main methods of classification and coding in mechanical engineering are studied from the systemic point of view, their main characteristics are considered. When analyzing the systemology of classification of machines of various functional purposes, the absence of a unified methodological approach in constructing the classification and in coding the

products is shown. In the existing classifications, products are considered constructively only as objects of operation, and the other stages of their life cycle are not affected. As a result of the system analysis, a unified methodological approach is proposed for constructing classifications, coding and unification of products for various functional purposes, reflecting the features of all stages of their life cycle. For the production stages of the life cycle, a system of classifications using various coding methods is considered: a description of structural and technological elements formed by the tool edges, a sequence of numbers, taking into account signs; a description of the surfaces formed by tool movements, in numbers, indicating the directions of feed movements; and to describe complex-profile surfaces and a combination of long-range elements, their combination is used. The expediency of using each of the classifications in real production conditions is determined by the statistics of use of structural and technological elements and surfaces, as well as of tools that form them.

Keywords: systemology, methodological approach, product life cycle, unification, classification, coding, modular technology, constructive and technological element

For citation. Bazrov B. M., Kheifetz M. L., Hurevich V. L., Popok N. N. Systemology of objects and processes in digitalization of the life cycle of engineering products. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2021, vol. 65, no. 4, pp. 503–512 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-4-503-512>

Введение. Системология играет важную роль в отраслях машиностроения, способствует определению перспектив развития изделий, технологий их изготовления, определения задач и путей их решения в научных исследованиях и т. д. [1–3].

Особую актуальность для отраслей машиностроения в условиях цифровизированного производства приобретает системология в части классификации и кодирования, последующих стандартизации и унификации объектов и процессов производства [4–6].

Решать эти задачи надо начинать с построения единой классификации изделий, а чтобы охватить классификацией все изделия, следует разработать системологию – многоступенчатую систему связанных классификаций [7–9].

В связи с этим целью работы является формирование с единых системных позиций научно-методического подхода к классификации и кодированию, стандартизации и унификации объектов и процессов при цифровизации всей последовательности этапов жизненного цикла изделий машиностроения [9–11].

Системный анализ классификаций на этапах жизненного цикла изделий. При системном анализе состояния классификаций в отраслях машиностроения и уровня охвата ими изделий видно, что широкое применение нашли два метода классификации объектов и процессов: иерархический и фасетный [2; 3; 5; 9].

Основными преимуществами иерархического метода является большая информационная емкость, традиционность и привычность применения, возможность создания для объектов и процессов классификации мнемонических кодов, несущих смысловую нагрузку.

При применении иерархического метода важную роль играет глубина классификации, она отражает число уровней классификатора. Чем больше глубина классификации, тем больше информации о множестве объектов и процессов, и тем эффективнее применение классификации.

Значительным недостатком иерархического метода является слабая гибкость структуры, обусловленная фиксированным основанием деления и заранее установленным порядком следования признаков, не допускающим включение новых классификационных группировок объектов и процессов. Поэтому при изменении состава объектов классификации и процессов, их характеристик с помощью системы классификационных задач, требуется коренная переработка всего классификатора.

Основным преимуществом фасетного метода является гибкость структуры ее построения. Изменения в любом из фасетов не оказывают существенного влияния на все остальные. Большая гибкость обуславливает хорошую приспособляемость классификации к меняющемуся характеру решаемых задач, для которых она создается. При фасетной классификации появляется возможность агрегации объектов и процессов и осуществления информационного поиска по любому сочетанию фасетов.

Недостатками фасетного метода классификации являются неполное использование его большой емкости, нетрадиционность подхода и иногда значительная сложность применения.

Надо отметить, что одно и то же множество объектов и процессов, в зависимости от поставленной задачи, может быть представлено разными классификациями.

Изделие на протяжении своего жизненного цикла проходит производственные этапы: изготовления и эксплуатации, обслуживания и утилизации. Каждый из этапов, с позиций системологии, требует своей классификации, поскольку на этих этапах решаются разные задачи.

Применительно к этапу эксплуатации изделие создается под осуществление соответствующего процесса эксплуатации и условий его протекания. Поэтому в системологии классификация изделий должна содержать в качестве отличительных признаков характеристики изделия, непосредственно связанные с процессом эксплуатации и его условиями. С помощью такой классификации потребитель выбирает соответствующее изделие.

Например, машины для транспортировки груза должны делиться в соответствии с условиями, в которых осуществляется процесс транспортировки (наземный, воздушный, водный) и характеристиками процесса транспортировки (дальность, скорость) и др.

На этапах изготовления и обслуживания изделия классификация используется для выбора методов изготовления и ремонта изделия, технологического оборудования и средств оснащения и т. п. В этих случаях нужна классификация изделия, где в качестве отличительных признаков должны выступать характеристики конструкции изделия, непосредственно связанные с технологией его изготовления и обслуживания, такие как габаритные размеры, структура конструкции, качественные характеристики и др.

На этапе утилизации изделий нужна классификация, где в качестве отличительных признаков должны выступать характеристики конструкции изделия, непосредственно связанные с технологией утилизации.

Анализ изделий как объектов эксплуатации. Рассмотрим состояние системологии изделий как объектов эксплуатации на примере классификации машин. Проведем анализ как общей классификации машин, так и классификации группы машин различного назначения.

В процессе анализа устанавливались лежащие в основе системологии: метод классификации, глубина классификации и структура классификации.

В [12] приведена общая системология машин на основе иерархического метода классификации (рис. 1, *a*), содержащей два уровня, на которых машины делятся по функциональному признаку: энергетические (двигатели, генераторы); рабочие (транспортные, технологические); информационные (контрольно-управляющие, математические); кибернетические.

Проанализируем системологию классификаций разнообразных групп машин различного назначения (таблица): легковые автомобили; грузоподъемные; подъемно-транспортные машины; трикотажные машины; холодильные машины; подметально-уборочные; машины для уплотнения и стабилизации балласта; машины мойки тары; компрессорные; подвижный состав; насосы; машины для приготовления цементобетонных смесей; электрические машины; гидравлические машины; краны.

В процессе анализа классификаций (таблица) перечисленных машин (рис. 1, *b, c* и др.) также определялись метод классификации, число уровней в классификации и ее структура в виде графов (рис. 2).

По результатам системного анализа классификаций машин можно отметить следующее.

В некоторых классификациях применяются оба метода – иерархический и фасетный, когда машины делятся на уровни, применяется иерархический метод, а на одном уровне машины делятся по разным признакам, как при фасетном методе.

Например, на рис. 1, *b* показана классификация легковых автомобилей, где наблюдается смешение иерархического и фасетного методов классификации. Так, на первом уровне расположены автомобили специальные, универсальные и одновременно пассажирские, спортивные и премиум класса. На втором уровне универсальные автомобили делятся на автомобили повышенной проходимости, повышенной вместительности и далее делятся на седаны и легковые [12; 13].

В результате оказалось нарушено основное правило иерархического метода – распределение объектов на одном уровне только по одному признаку. При этом если в одних случаях разные признаки характеризуют машины как объект эксплуатации, то в других случаях одни признаки характеризуют объект эксплуатации, а другие – конструкцию машин.

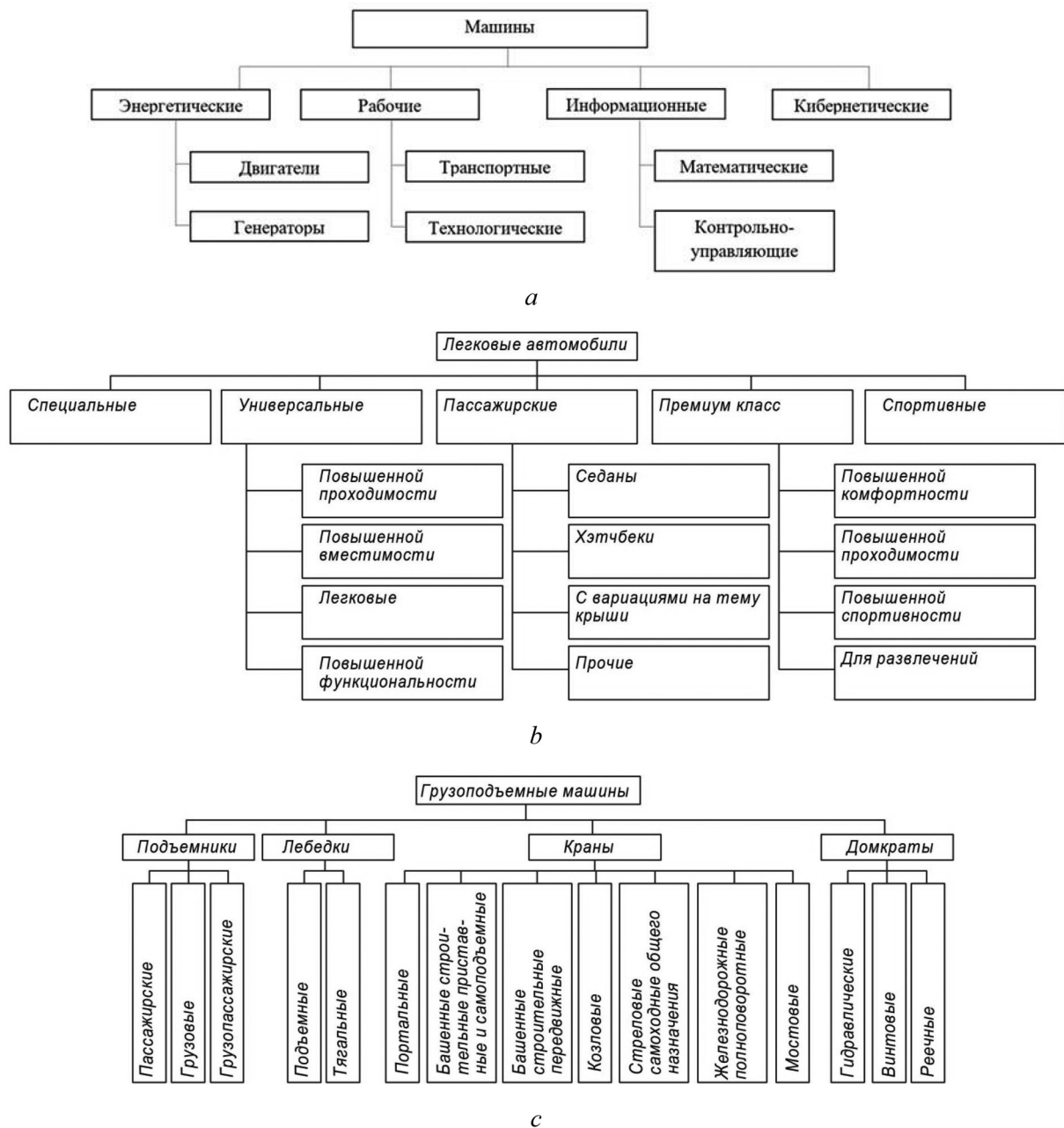


Рис. 1. Общая системология машин по И. И. Артоболовскому (а) и классификации легковых автомобилей (b) и грузоподъемных машин (c)

Fig. 1. General systemology of machines to I. I. Artobolevsky (a) and classification of cars (b) and hoisting machines (c)

Также в классификации грузоподъемных машин (рис. 1, c) на втором уровне подъемники делятся на грузовые и грузопассажирские, а домкраты делятся на гидравлические, винтовые, реечные [12; 13].

Анализ показывает, что в большинстве случаев в классификациях машин применяется, как правило, иерархический метод. Общим недостатком рассмотренных классификаций машин является небольшая глубина классификации, содержащая 2–3 уровня.

В целом системология изделий в отраслях машиностроения, включающая классификации машин, показывает отсутствие единой классификации изделий и системного подхода в построении классификаций (когда в разных подотраслях разрабатываются классификации изделий независимо друг от друга); единого методического подхода в построении классификации изделий

Системология и методы многоуровневой классификации машин
Systemology and methods of multilevel classification of machines

Наименование машины Machine name	Метод классификации Classification method	Количество уровней Number of levels
1. Легковые автомобили	Смешанный	2
2. Грузоподъемные	Смешанный	2
3. Подъемно-транспортные	Фасетный	1
4. Трикотажные	Иерархический	4
5. Холодильные	Иерархический	2
6. Подметально-уборочные	Иерархический	4
7. Машины для уплотнения и стабилизации балласта	Смешанный	3
8. Машины мойки тары	Смешанный	4
9. Компрессорные	Иерархический	4
10. Подвижный состав	Смешанный	4
11. Насосы	Смешанный	3
12. Машины для приготовления цементобетонных смесей	Смешанный	2
13. Электрические машины	Смешанный	3
14. Гидравлические машины	Иерархический	3
15. Краны	Смешанный	4

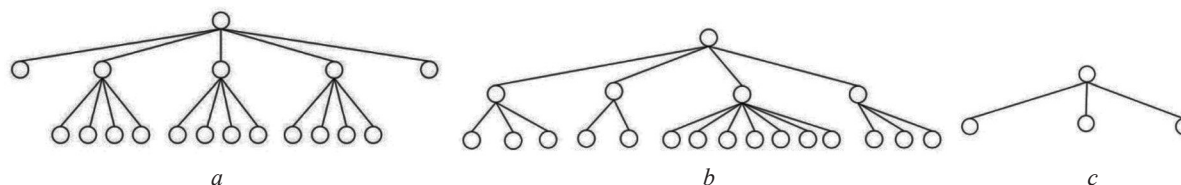


Рис. 2. Графы классификаций машин: легковых автомобилей (а), грузоподъемных (б) и подъемно-транспортных машин (в)

Fig. 2. Graphs of classifications of machines: cars (a), hoisting (b) and hoisting-and-transport vehicles (c)

(практически во всех классификациях изделия рассматриваются только как объекты эксплуатации).

Устранение отмеченных недостатков в классификациях изделий позволит существенно повысить эффективность решения задач машиностроения в цифровизованном производстве.

Системный научно-методический подход к конструированию изделий. Проблема создания единой классификации изделий машиностроения заключается, в первую очередь, в их огромном, непрерывно растущем разнообразии [2–5].

При этом одна система классификации должна быть построена для изделий как объектов эксплуатации, вторая – для изделий как предметов производства и обслуживания, а третья для изделий как объектов утилизации.

В связи с этим предлагается следующий научно-методический подход для построения системы классификаций изделий на примере изделий как объектов эксплуатации.

1. Сначала должна строиться классификация рабочих процессов, для осуществления которых создается изделие. В качестве отличительных признаков должны выступать характеристики как рабочих процессов, так и условий, в которых они протекают.

2. Затем должны строиться классификации видов изделий в осуществлении соответствующих рабочих процессов. В качестве отличительных признаков должны выступать характеристики изделий, напрямую связанные с рабочим процессом.

3. В завершение должна строиться классификация конструкций видов изделий. В качестве отличительных признаков должны выступать характеристики конструкций изделий как объектов эксплуатации.

Предложенный научно-методический подход в построении системы классификации изделий как объектов эксплуатации рассмотрим на примере классификаций транспортных средств.

Система классификаций начинается с классификации рабочих процессов. В данном случае в качестве рабочего процесса выступает процесс транспортировки груза.

В качестве первой группы отличительных признаков должны выступать условия, в которых осуществляется рабочий процесс – транспортировка груза, далее разновидности рабочего процесса и их характеристики.

К ним относится вид среды: земная поверхность; вода; воздух; безвоздушное пространство.

Каждый вид среды описывается своими характеристиками. Например, земная поверхность характеризуется дорожным покрытием – грунт, асфальт, снежный покров и др.

Далее учитываются характеристики процесса транспортировки – дальность, скорость, характеристики груза, масса груза.

Ко второй группе отличительных признаков должны относиться вид транспортного средства, например, автомобиль, самолет, корабль и т. д. и их эксплуатационные характеристики, например, расход горючего, прочность, долговечность и др.

Третья группа отличительных признаков должна отражать характеристики конструкции транспортного средства. Например, пространство для размещения груза: салон, кузов автомобиля и т. д., а также их характеристики.

Аналогично должны строиться классификации изделий, участвующих в других рабочих процессах.

Дальнейшим развитием работ по классификации объектов и процессов в машиностроении должна быть разработка системы классификаций деталей не только как объектов эксплуатации, но и предметов и процессов производства и обслуживания, а также объектов утилизации.

Системный научно-методический подход к производству и обслуживанию изделий. Основной цифровизации подготовки производства являются унификация и регламентация объектов и процессов, в результате которых формируются ограничительные перечни конструктивно-технологических элементов деталей, инструментов и средств оснащения для их получения и контроля, а также инструкции, описывающие использование инструментов и оборудования. Унификация и регламентация проводятся посредством статического анализа информации о вероятностных характеристиках рассматриваемых объектов и процессов в условиях изменяющихся подсистем и их элементов.

Согласно делению методов подготовки производства на метод типовых деталей и техпроцессов, метод аппликаций и структурно-параметрический метод, способы описания объектов унификации можно классифицировать по кодированию формы, кодированию перемещений образующих и направляющих линий, кодированию формы образующих и перемещений направляющих линий [5; 7; 8; 14; 15].

1. Способ кодирования типовых форм деталей, конструктивно-технологических элементов, поверхностей используется при типизации технологических процессов и при создании модульных технологий.

2. Способ описания перемещений направляющих и образующих линий, контуров, инструментов включает в себя системологию формообразования поверхностей и используется при обработке на станках с ЧПУ.

3. Способ комбинирования как кодирования формы образующих контуров инструментов, так и описания движения направляющих линий, включающий в себя элементы рассмотренных способов, может использоваться во всех типах производства.

При классификации в случае формирования конструктивно-технологических элементов специальным инструментом только за счет формы профиля режущей части и подачи инструмента, главное движение и движение подачи не требуют описания (рис. 3).

Код конструктивно-технологического элемента состоит из двух цифр (в левом верхнем углу ячеек на рис. 3). Он определяется видом режущих инструментов (первая цифра – нумерация по вертикали) и подачей инструментов (на проход, в упор, вдоль оси, перпендикулярно торцу и т. п.) при обработке детали (вторая цифра – нумерация по горизонтали).

При обработке простейших поверхностей и контуров, наоборот, форма режущей части универсального инструмента заранее оговаривается и не требует кодирования, а его движения необходимо описать (рис. 4).

Типы конструктивных элементов и инструментов	Виды конструктивных элементов					Виды режущих инструментов
	Внутренние			Наружные		
	Сквозные (проходные)	Глухие (в упор)	Комбинир. (ступенчат.)	Выступы (цилиндр.)	Комбинир. (ториовые)	
Резьбы, резьбовой $Md \times h$, IT, Ra, HRC	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	Метчики, плашки, резцы
Отверстия, осевой, d , IT, Ra, HRC	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Сверла, зенкера, развертки
Зубчатые венцы, зубофрезерный, долбежный, строгальный m, Z, IT, Ra, HRC	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	Фрезы: концевые, дисковые, червячные. Долбяки, резцы, шеверы
Шлицы, шлицефрезерный, долбежный, строгальный $b \times h, d, IT, Ra, HRC$	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	Фрезы: концевые, дисковые, червячные. Долбяки, резцы
Пазы, фрезерный $b \times h, d, IT, Ra, HRC$	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	Фрезы: концевые, дисковые
Проточки, токарный $b \times h, d, IT, Ra, HRC$	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	Резцы: специал., фасонные

Рис. 3. Кодирование конструктивно-технологических элементов деталей и инструментов, их формирующих

Fig. 3. Coding of structural and technological elements of parts and tools that form them

Типы поверхностей, контуров и инструментов	Виды поверхностей, контуров и движений					Виды режущих инструментов
	1	2	3	4	5	
1. Открытые плоские поверхности, фрезерный b, h, l , IT, Ra, HRC	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	Фрезы: концевые, дисковые, цилиндрич.еск
2. Закрытые и открытые контурные поверхности, фрезерный b, h, l , IT, Ra, HRC	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Фрезы: концевые, дисковые, цилиндрич.еск

Рис. 4. Кодирование движений инструментов и формируемых ими поверхностей и контуров деталей

Fig. 4. Coding of tool movements and the surfaces and contours of parts formed by them

Код движения универсального инструмента, состоящий из двух цифр (в левом верхнем углу ячеек на рис. 4), определяется видом движений (главного, подачи, подвода, отвода) инструментов (дискового, концевой и т. п.) для открытых поверхностей и закрытых контуров (первая цифра – нумерация по вертикали). Далее он уточняется (вторая цифра – нумерация по горизонтали) согласно типу (открытые, закрытые) и форме поверхностей и контуров.

Для выполнения конструктивно-технологических элементов и поверхностей деталей как за счет формы профиля режущей части, так и за счет движений инструмента целесообразно использовать один из комбинированных способов описания (рис. 5).

Например, при классификации фрезерных пазов и токарных проточек (указанных внизу на рис. 3) по контурам поверхностей (указанных для фрезерной обработки внизу на рис. 4) сначала перед кодированием выбираются сочетания букв для обозначения основных размеров поверхности или конструктивно-технологического элемента (ширины, высоты, угла, радиуса). При кодировании форме обрабатываемой поверхности (торцевой, цилиндрической, конической) присваивается номер (0, 1, 2, 3, ...), а для направлений поступательного и вращательного движений инструмента вводится знак или используется стрелка.

В результате при комбинированной классификации можно использовать различные способы кодирования:

- 1) для описания элемента, формируемого кромкой инструмента, – последовательность цифр с учетом знаков (показаны в скобках на рис. 3);
- 2) для описания поверхности, формируемой движением инструмента, – цифру с указанием направлений подачи (показаны стрелками на рис. 4);
- 3) для описания сложнопрофильной поверхности и сочетания элементов большой протяженности используется как первое, так и второе кодирование (примеры для токарной и фрезерной обработки показаны на рис. 5).

При цифровизации подготовки производства необходимо рациональным образом сочетать перечисленные способы. Целесообразность степени использования каждой из классификаций по конкретным позициям в условиях реального производства можно определить, только изучив статистику применения конструктивно-технологических элементов и поверхностей, специальных

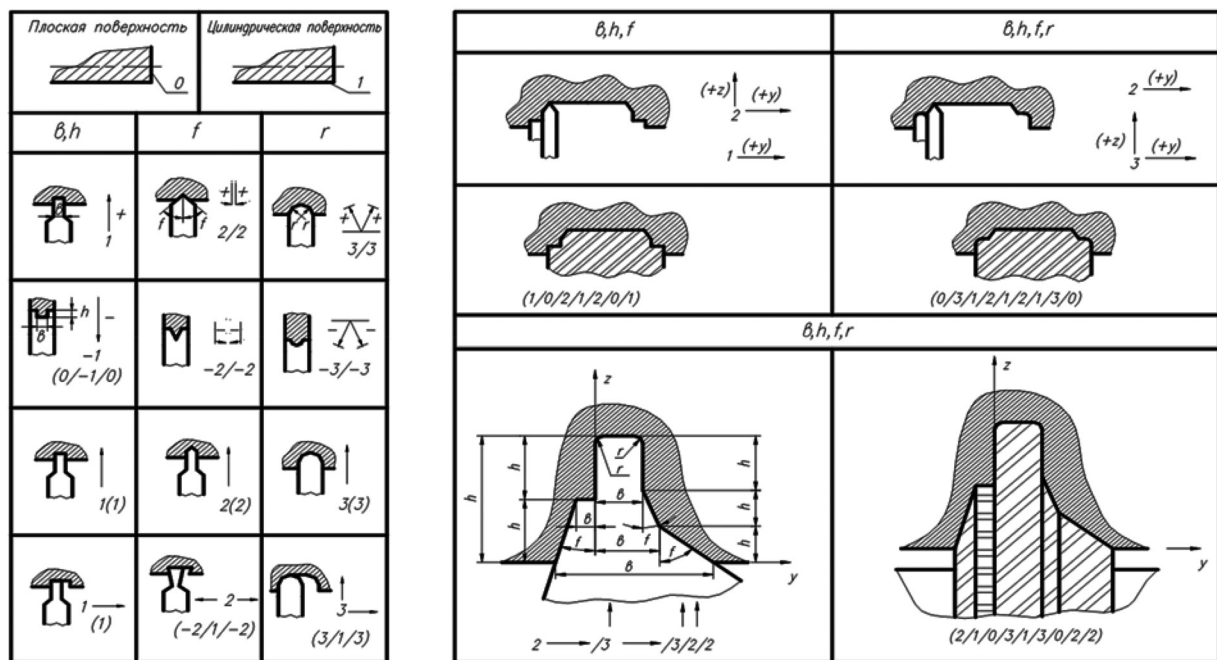


Рис. 5. Кодирование проточек и пазов в деталях с использованием формы кромок и перемещений (\rightarrow) инструментов, их формирующих

Fig. 5. Coding grooves and grooves in parts using the shape of the edges and displacements (\rightarrow) of the tools that form them

и универсальных инструментов. При этом выделяются наиболее используемые позиции и устойчивые связи для всех способов кодирования, а затем они ограничиваются до определенного числа в дальнейшем применении [5; 7; 8].

Ограничения можно задавать или изучив инструменты и определив их количество, или рассмотрев конструктивные элементы детали с точки зрения размеров, точности и качества поверхностей с последующим определением размеров и класса точности инструментов, их количества в наборе и на смежных операциях.

Таким образом, различные способы классификации объектов унификации позволяют, используя предложенное кодирование, провести статистическую обработку по рациональным для данного производства параметрам с учетом заложенных ограничений. Это позволяет выявить объекты и их свойства, чаще всего используемые на предприятии, и сформировать ограничительные перечни, наиболее эффективные для конкретного производства [9–11].

Заключение. Таким образом, с позиций системологии – многоступенчатой системы связанных классификаций, предложен научно-методический подход к кодированию, унификации и стандартизации объектов и процессов при цифровизации этапов жизненного цикла изделий машиностроения.

Системология изделий как объектов эксплуатации включает классификации:

рабочих процессов, для осуществления которых создается изделие, в качестве отличительных признаков классификации должны выступать характеристики как рабочих процессов, так и условий, в которых они протекают;

видов изделий в осуществлении соответствующих рабочих процессов, в качестве отличительных признаков классификации должны выступать характеристики изделий, напрямую связанные с рабочим процессом;

конструкций видов изделий, в качестве отличительных признаков классификации должны выступать характеристики конструкций изделий как объектов эксплуатации.

Способы классификации, кодирования и унификации изделий, их конструктивно-технологических элементов как объектов производства и обслуживания включают описания:

конструктивно-технологических элементов, формируемых кромкой инструмента, – последовательностью цифр с учетом знаков;

поверхностей, формируемых движением инструмента, – цифрами с указанием направлений движений подачи;

сложнопрофильных поверхностей и сочетания элементов большой протяженности используются как первое, так и второе кодирование.

Список использованных источников

1. Дружинин, В. В. Проблемы системологии / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. – М., 1976. – 296 с.
2. Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении / Б. М. Базров. – М., 2001. – 368 с.
3. Технологические основы управления качеством машин / А. С. Васильев [и др.]. – М., 2003. – 256 с.
4. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск, 2012. – 239 с.
5. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск, 2014. – 316 с.
6. Автоматизация и управление в технологических комплексах / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск, 2014. – 375 с.
7. Кусакин, Н. А. Менеджмент качества автотракторного ремонтного предприятия / Н. А. Кусакин, М. Л. Хейфец, В. С. Точило. – Новополоцк, 2009. – 180 с.
8. Попок, Н. Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н. Н. Попок. – Минск, 2001. – 396 с.
9. Базров, Б. М. Метод представления изделия как объекта цифровизации производства структурированным множеством модулей / Б. М. Базров, М. Л. Хейфец // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 377–384. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-3-377-384>
10. Оценка производственной технологичности конструкции в жизненном цикле изделия / Б. М. Базров [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 422–432. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-422-432>.

11. Bazrov, B. M. Unification of Design Decisions on the Basis of Average Distribution of Probabilities and Introduction of Isolated Areas for Elements of Products Described by Structured Multiple Modules / B. M. Bazrov, M. L. Kheifets, N. N. Popok // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. – 2019. – Vol. 22, N 3. – P. 221–232.
12. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М., 1988. – 640 с.
13. Александров, М. П. Грузоподъемные машины / М. П. Александров. – М., 2000. – 552 с.
14. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ. ред. М. Л. Хейфеца и Б. П. Чемисова. – Новополоцк, 2002. – 268 с.
15. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин / М. Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк, 2001. – 112 с.

References

1. Druzhinin V. V., Kontorov D. S. *Systemology problems*. Moscow, 1976. 296 p. (in Russian).
2. Bazrov B. M. *Modular technology in mechanical engineering*. Moscow, 2001. 368 p. (in Russian).
3. Vasiliev A. S., Dal'sky A. M., Klimentenko S. A. et al. *Technological bases of machine quality management*. Moscow, 2003. 256 p. (in Russian).
4. Rusetsky A. M., ed. *Theoretical bases of technological systems designing*. Minsk, 2012. 239 p. (in Russian).
5. Rusetsky A. M., ed. *Design and equipment of technological systems*. Minsk, 2014. 316 p. (in Russian).
6. Rusetsky A. M., ed. *Automation and control of technological systems*. Minsk, 2014. 375 p. (in Russian).
7. Kusakin N. A., Kheifetz M. L., Tochilo V. S. *Quality management of automotive repair*. Novopolotsk, 2009. 180 p. (in Russian).
8. Popok N. N. *Mobile Reorganization of Engineering Production*. Minsk, 2001. 396 p. (in Russian).
9. Bazrov B. M., Kheifetz M. L. Method of presenting a product as an object of digitalization of manufacturing by a structured set of modules. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 3, pp. 377–384 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-3-377-384>
10. Bazrov B. M., Kheifetz M. L., Gurevich V. L., Popok N. N. Assessment of production manufacturability of the design in the product life cycle. *Vestsi Natsyonal'най akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 422–432 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-422-432>
11. Bazrov B. M., Kheifets M. L., Popok N. N. Unification of Design Decisions on the Basis of Average Distribution of Probabilities and Introduction of Isolated Areas for Elements of Products Described by Structured Multiple Modules. *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 221–232.
12. Artobolevsky I. I. *Theory of mechanisms and machines*. Moscow, 1988. 640 p. (in Russian).
13. Aleksandrov M. P. *Hoisting machines*. Moscow, 2000. 552 p. (in Russian).
14. Kheifetz M. L., Chemisov B. P., eds. *Intellectual production: state and prospects*. Novopolotsk, 2002. 268 p. (in Russian).
15. Kheifetz M. L., Tochilo V. S., Semenov V. I. et al. *Statistical analysis of structural elements and technological parameters of machine parts*. Novopolotsk, 2001. 112 p. (in Russian).

Информация об авторах

Базров Борис Мухтарбекович – д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией. Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (Малый Хари-тоньевский пер., 4, 101990, Москва, Российская Федерация). E-mail: modul_lab@mail.ru.

Хейфец Михаил Львович – д-р техн. наук, профессор, директор. Институт прикладной физики НАН Беларуси (ул. Академическая, 16, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: mlk-z@mail.ru.

Гуревич Валерий Львович – канд. техн. наук, доцент, директор. Белорусский государственный институт метрологии (Старовиленский тракт, 16, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: hurevich@belgim.by.

Попок Николай Николаевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой. Полоцкий государственный университет (ул. Блохина, 29, 211440, Новополоцк, Витебская обл., Республика Беларусь). E-mail: n.popok@psu.by.

Information about the authors

Bazrov Boris M. – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory. Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences (4, M. Kharitonievsky Lane, 101990, Moscow, Russian Federation). E-mail: modul_lab@mail.ru.

Kheifetz Mikhail L. – D. Sc. (Engineering), Professor, Director. Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus (16, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic Belarus). E-mail: mlk-z@mail.ru.

Hurevich Valery L. – Ph. D. (Engineering), Associate professor, Director. Belarussian State Institute of Metrology (16, Starovilenskiy Tract, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hurevich@belgim.by.

Popok Nikolay N. – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department. Polotsk State University (29, Blokhin Str., 211440, Novopolotsk, Vitebsk Region, Republic of Belarus). E-mail: n.popok@psu.by.