

УДК 621.91.01

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*БАЗРОВ Борис Мухтарбекович.<sup>1</sup>, доктор техн. наук, профессор  
ХЕЙФЕЦ Михаил Львович.<sup>2</sup>, доктор техн. наук, профессор,  
e-mail: mlk-z@mail.ru*

*ГУРЕВИЧ Валерий Львович.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доцент  
СОЛОМАХО В.Л.<sup>4</sup>, доктор техн. наук, профессор*

*ПОПОК Николай Николаевич.<sup>5</sup>, доктор техн. наук, профессор*

<sup>1</sup>ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва, РФ,

<sup>2</sup>ГНУ Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, РБ,

<sup>3</sup>РУП Белорусский государственный институт метрологии, г. Минск, РБ

<sup>4</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, РБ

<sup>5</sup>УО Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, РБ

### 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.

### 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 этой связи, *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 её 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:

- 1) метод классификации,
- 2) глубина классификации
- 3) структура классификации.

В трудах И.И. Артоболевского [12] приведена общая системология машин на основе иерархического метода классификации (рис. 1, *a*), которая содержит 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 (табл. 1): 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.

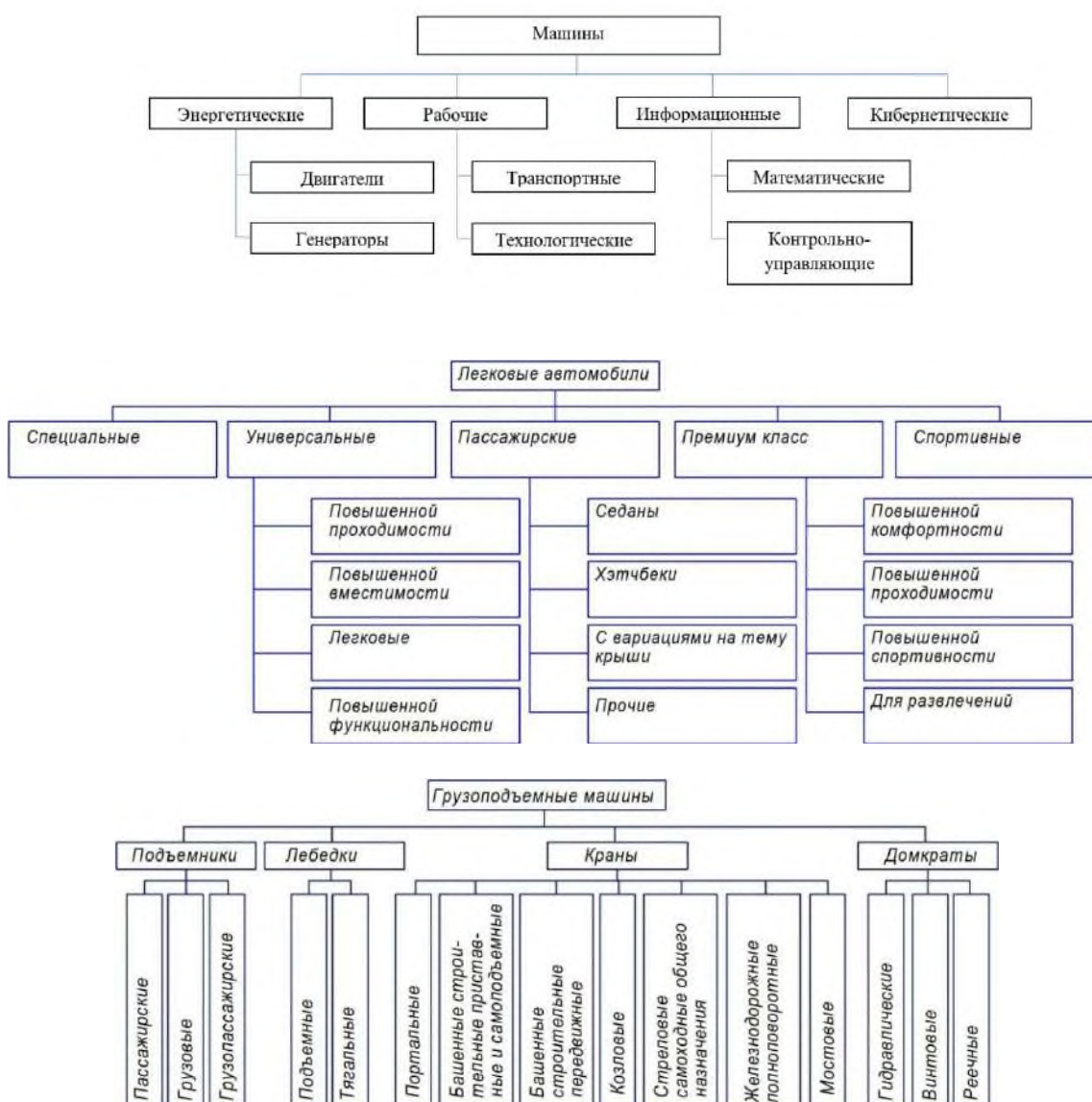


Рисунок 1 – Общая системология машин по И.И. Артоболевскому (а) и классификации легковых автомобилей (б) и грузоподъемных машин (в)

Таблица 1 – Системология и методы многоуровневой классификации машин

№	Наименование машины	Метод классификации	Количество уровней
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

В процессе анализа классификаций (табл. 1) перечисленных машин (рис. 1, б, в и др.), также определялись метод классификации, число уровней в классификации, и ее структура в виде графов (рис. 2, а, б, в и др.).

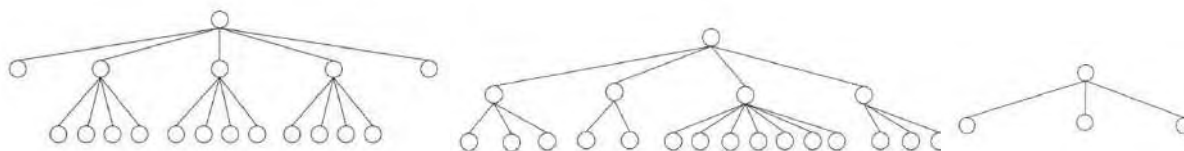


Рисунок 2 – Графы классификаций машин: легковых автомобилей (а), грузоподъемных (б) и подъемно-транспортных машин (в)

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, б 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 слу-

чаях разные признаки характеризуют машины как объект эксплуатации, то в других случаях одни признаки характеризуют объект эксплуатации, а другие – как конструкцию машин.

Также, в классификации грузоподъемных машин (рис. 1, в) 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 (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 этой связи 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.

### Выводы

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.

### Список литературы

1. Дружинин, В. В. Проблемы системологии / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Совет. радио, 1976. – 296с.
2. Базров, Б.М. Модульная технология в машиностроении / Б.М. Базров. - М.: Машиностроение, 2001. - 368с.
3. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А.Клименко и др. – Москва: Машиностроение, 2003. – 256 с.
4. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А.М.Русецкого. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 239 с.
5. Конструирование и оснащение технологических комплексов/ А.М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М.Русецкого. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 316 с.
6. Автоматизация и управление в технологических комплексах/ А.М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М.Русецкого. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 375 с.
7. Кусакин, Н.А. Менеджмент качества автотракторного ремонтного предприятия / Н.А. Кусакин, М.Л.Хейфец, В.С. Точило.- Новополоцк: ПГУ, 2009.- 180 с.
8. Попок, Н.Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства/ Н.Н. Попок. – Минск: Технопринт, 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.

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. 424–434. DOI: <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-4-424-434>.

11. Bazrov, V.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 / V.M. Bazrov, M.L. Kheifets, N.N. Popok // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2019, V. 22, No.3. – P.221-232. DOI: <https://doi.org/10.33581/1561-4085-2019-22-3-221-232>.

12. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.

13. Александров М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.



---

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

**Bazrov B.M.**<sup>1</sup>, D.Sc. (Engineering), Professor

**Kheifetz M.L.**<sup>2</sup>, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: mlk-z@mail.ru

**Gurevich V.L.**<sup>3</sup>, Ph.D. (Engineering), Ass. Professor.

**Solomakho V.L.**<sup>4</sup>, D.Sc. (Engineering), Professor

**Popok N.N.**<sup>5</sup>, D.Sc. (Engineering), Professor

<sup>1</sup>Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences., Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Applied Physics of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic Belarus

<sup>3</sup>Belarussian State Institute of Metrology, Minsk, Republic Belarus

<sup>4</sup>Belarussian State Technical University, Minsk, Republic Belarus

<sup>5</sup>Polotsk State University, Novopolotsk, Republic Belarus

### Abstract

The main methods of classification and coding in mechanical engineering are studied from a systemic point of view, their main characteristics are considered. When analyzing the systemology of classifications of machines of various functional purposes, the absence of a unified methodological approach in the construction of the classification and in the coding of products is shown. In 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 edges of tools, a sequence of numbers, taking into account signs; a description of the surfaces formed by the movement of the tool, in numbers, indicating the directions of the 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 the use of structural and technological elements and surfaces, as well as the tools that form them.

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