

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. №7 (157). С.43-48.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №7 (157). P. 43-48.

Научная статья  
УДК 621.92  
doi: 10.30987/2223-4608-2024-43-48

### Структура машиностроительного изделия

**Борис Мухтарбекович Базров, д.т.н.**  
ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия  
modul\_lab@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8487-8649>

**Аннотация.** Структура конструкции изделия влияет на эффективность его эксплуатации и трудоемкость изготовления. Структуру конструкции изделия можно представить с помощью плоского и пространственного графов, которые характеризуются числом уровней и числом элементов, расположенных на каждом уровне, где в качестве элемента может выступать как узел, так и деталь. Плоский граф отражает связи между элементами конструкции изделия, их подчиненность, показывая базы каждого элемента, но при этом не отражает их пространственное расположение. Пространственный граф показывает компоновку конструкции изделия в пространстве. Отсюда под структурой конструкции изделия следует понимать относительное расположение элементов конструкции изделия, их видов и количество каждого вида. Между структурой конструкции изделия и уровнем его сложности существует непосредственная связь. Чем сложнее структура конструкции изделия, тем выше уровень сложности конструкции. Наличие этой связи позволяет сформулировать понятие сложности конструкции изделия, под которой следует понимать совокупность уровней и элементов конструкции изделия, расположенных на уровнях. В основу оценки уровня сложности конструкции изделия следует принять уровень сложности структуры конструкции изделия, используя плоский граф с его характеристиками. Структура конструкции изделия влияет на построение маршрута сборочного технологического процесса изделия. В связи с чем предлагается дополнить исходные данные для проектирования сборочного технологического процесса плоским графом с указанием на ребрах модулей соединений. Эта информация при наличии элементной базы средств технологического обеспечения модулей соединений позволит определить ожидаемую трудоемкость сборки изделия.

**Ключевые слова:** изделие, конструкция, структура, граф, уровень, элемент, модуль соединения

**Для цитирования:** Базров Б.М. Структура машиностроительного изделия // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 7 (157). С. 43–48. doi: 10.30987/2223-4608-2023-36-48

### Mechanical product structure

**Boris M. Bazrov, D.Eng.**  
Institute of Machine Science named after A.A. Blagonravov, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia  
modul\_lab@mail.ru

**Abstract.** The structure of the product design affects the efficiency of its operation and the labor-output ratio. The structure of the product design can be represented using flat and spatial graphs, which are characterized by the number of levels and the number of elements located at each level, where both a node and a part can act as an element. Flat graph shows the connections between the elements of the product design, their dependence, indicating the bases of each element, but at the same time it does not reflect their spatial location. The spatial graph illustrates the layout of the product structure in space. Hence, the structure of the product design should be understood as the relative location of the product design

elements, their types and the number of each element. There is a direct connection between the structure of the product design and the level of its complexity. The more complex the product design structure, the higher the level of design complexity. Such connection allows

**Keywords:** product, design, structure, graph, level, element, connection module

**For citation:** Bazrov B.M. Mechanical product structure / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 7 (157). P. 43–48. doi: 10.30987/2223-4608-2024-43-48

Под структурой конструкции изделия будем понимать относительное расположение элементов конструкции изделия, их видов и количество каждого вида.

Рассмотрим возможность описания структуры конструкции изделия с помощью графа, представляющего собой число уровней с указанием числа элементов, располагающихся на каждом уровне. Для такого представления конструкции изделия необходимо определиться с понятием элемента изделия. В качестве элемента выступают как узлы, так и отдельные детали.

Однако неопределённость понятия узла приводит к неоднозначному описанию изделия, когда одно и то же изделие может быть представлено разной совокупностью узлов. В связи с этим предлагается в качестве понятия узла принять модуль, который представляет собой конструктивное решение, предназначенное выполнять соответствующую служебную функцию.

По функциональному назначению предлагается модуль изделия разделить на две группы: модуль функциональный технологический (МФТ) и модуль функциональный обслуживающий (МФО). Под МФТ будем понимать конструктивное решение, с помощью которого изделие выполняет свое служебное назначение. Под МФО будем понимать конструктивное решение, которое обеспечивает функционирование МФТ.

Разница между МФТ и МФО заключается в том, что МФТ принадлежит только конкретному виду изделия соответствующему его служебному назначению. Например, у автомобиля в качестве МФТ выступает кузов для размещения груза и ходовая часть, обеспечивающая перемещение груза. А в качестве МФО выступает двигатель, трансмиссия, рулевое управление, которые могут участвовать в изделиях различного служебного назначения, а кузов и ходовая часть принадлежат только транспортному изделию.

В качестве другого примера рассмотрим токарно-винторезный станок, у которого в качестве МФТ выступают патрон для установки заготовки и резцедержатель для установки инструмента. А в качестве МФО выступают коробка скоростей, коробка подач, электродвигатель.

Рассмотрим представление структуры конструкции изделия с помощью графа [1]. Граф конструкции изделия строится следующим образом (рис. 1). Вершиной графа является базовая деталь. На первом уровне располагаются элементы, базирующиеся непосредственно на базовой детали. На втором уровне располагаются элементы, базами которых являются элементы первого уровня и т. д.

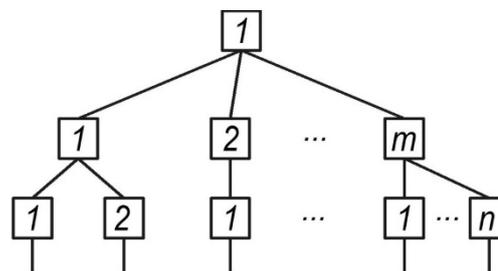


Рис. 1. Плоский граф конструкции изделия

Fig. 1. Flat graph of the product design

Представление структуры в виде такого графа отражает связи между элементами конструкции изделия, их подчиненность, показывая базы каждого элемента, но при этом не отражает их пространственное расположение. В результате расположенные на одном уровне графы элементов в пространстве могут располагаться на разной высоте. Поэтому данный граф является плоским.

Поскольку изделие является пространственной фигурой, то и структура является пространственной и представляет собой элементы, расположенные не на плоскости, а в пространстве. Это можно отразить в виде пространственного графа, где на каждом уровне

располагаются один или несколько элементов (рис. 2).

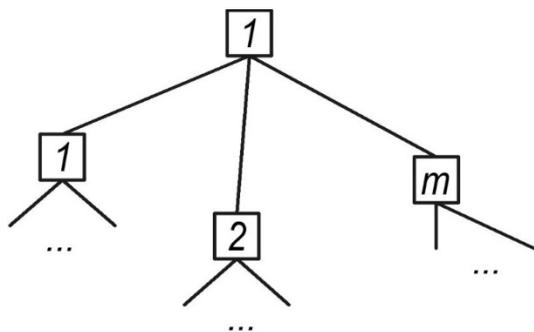


Рис. 2. Пространственный граф конструкции изделия

Fig. 2. Spatial graph of the product design

Отсюда следует, что структура конструкции изделия должна описываться числом уровней и количеством элементов на каждом уровне. В общем случае структуру изделия можно рассматривать на нескольких уровнях. На первом уровне располагаются узлы и детали непосредственно связанные с базовой деталью изделия, на втором уровне должны располагаться узлы и детали, входящие в элементы предыдущего уровня и т. д. В отличие от плоского графа пространственный граф отражает пространственную компоновку конструкции изделия, но при этом расположенные на одном уровне элементы конструкции изделия могут иметь базы, расположенные на разных уровнях. Построение графа должно заканчиваться уровнем, на котором располагаются только детали.

В свою очередь, как было показано в работах [2 – 4] любая деталь может быть представлена совокупностью модулей поверхностей (МП). Под МП понимается сочетание поверхностей детали, предназначенное для выполнения соответствующей служебной функции детали. В соответствии с классификацией модулей поверхностей детали [3] все МП делятся на три класса – базирующие (МПБ), рабочие (МНР) и связующие (МПС) МП.

Важными характеристиками конструкции изделия являются виды соединения, их разнообразие и количество в изделии, где под видом соединения деталей будем понимать модуль соединения (МС) [4]. Под МС понимается совмещение комплекта вспомогательных баз с комплектом основных баз деталей, где под комплектом вспомогательных баз понимается комплект баз присоединяемой детали, а под комплектом основных баз понимается комплект баз, принадлежащий базовой детали.

Базирующий модуль поверхностей представляет собой комплект баз, номенклатура которых ограничена 14-ю вариантами. При этом базирующим модулям Б11, Б211, Б221, Б311, Б321, Б41, Б51 соответствуют ответные им по конструктивному оформлению и характеристикам базирующие модули Б12, Б212, Б222, Б312, Б322, Б42, Б52.

Совмещение этих модулей создаёт соединение деталей, являющееся МС.

Как следует из парности базирующих модулей поверхностей номенклатура МС ограничена семью видами:

$$МС1 = \frac{Б11}{Б12}; МС2 = \frac{Б211}{Б212}; МС3 = \frac{Б221}{Б222}; МС4 = \frac{Б311}{Б312}; МС5 = \frac{Б321}{Б322}; МС6 = \frac{Б41}{Б42}; МС7 = \frac{Б51}{Б52}.$$

В тех случаях, когда базирующий модуль, расположенный в числителе МС переходит из категории комплекта вспомогательных

баз в категорию комплекта основных баз, тогда модули соединения имеют следующие виды:

$$МС1' = \frac{Б12}{Б11}; МС2' = \frac{Б212}{Б211}; МС3' = \frac{Б222}{Б221}; МС4' = \frac{Б312}{Б311}; МС5' = \frac{Б322}{Б321}; МС6' = \frac{Б42}{Б41}; МС7' = \frac{Б52}{Б51}.$$

Таким образом, все разнообразие соединений деталей в любых изделиях ограничено 14 вариантами модулей соединений (МС, МС').

В конечном итоге структуру любой конструкции изделия можно представить с помощью пространственного графа, представляющего собой многоуровневую схему, с расположенными на уровнях элементами, на нижнем уровне, которого располагаются множество МП

и множество МС с указанием вида МП и МС и количество каждого вида.

Таким образом, структура конструкции изделия характеризуется числом уровней и числом элементов, располагающихся на каждом уровне.

Надо отметить, что между структурой конструкции изделия и уровнем его сложности существует непосредственная связь. Чем сложнее структура конструкции изделия, тем выше

уровень сложности конструкции. Наличие этой связи позволяет сформулировать понятие сложности конструкции изделия и ее уровня.

В работах [5, 6] под сложностью конструкции изделия понимается: «с одной стороны, есть мера затрат производственных ресурсов на изготовление машиностроительного изделия, с другой стороны, она является неотъемлемым атрибутом самого изделия, комплексно учитывающим его структурные и субстантные характеристики в соответствии со сложившимся уровнем средств производства».

В этой формулировке показано влияние конструкции изделия на эффективность его производства, но при этом не нашло отражение понятие меры сложности конструкции изделия. Это препятствует количественной оценке уровня сложности конструкции изделия с одной стороны, а с другой стороны не показывает какие характеристики конструкции изделия надо улучшать, чтобы снизить уровень ее сложности. Это препятствует выбору лучшего варианта конструкции на этапе его проектирования, обеспечивающего наибольшую эффективность его эксплуатации и наименьшую трудоемкость его изготовления.

В другой работе [7] под сложностью конструкции изделия понимается: «относительная характеристика их состава и структурного исполнения. Она определяет конструктивные дополнительные признаки и соответствующие требования к обеспечению технологической рациональности конструкции изделия». И в этой формулировке понятия сложности конструкции изделия тоже отсутствует количественная оценка уровня сложности конструкции изделия, что не позволяет определить влияние сложности конструкции изделия на эффективность его эксплуатации и трудоёмкость изготовления. В связи с этим, предлагается под сложностью конструкции изделия понимать совокупность уровней и элементов конструкции изделия, расположенных на уровнях.

В работах [8, 9] предлагается оценивать уровень сложности изделия с помощью коэффициента  $K = M/MA$ , где  $M$  – число составных частей (элементов) в исполнении соответственно разрабатываемого образца;  $MA$  – число составных частей (элементов) в исполнении аналога.

Такая оценка сложности конструкции изделия сводится к сопоставлению количеств элементов проектируемого изделия и аналога. Недостатками такой оценки уровня сложности конструкции изделия являются, во-первых, при

одинаковом числе элементов, при котором считается одинаковая сложность сопоставляемых изделий, их трудоемкость может быть разной из-за различия сложности элементов у сравниваемых изделий. Иными словами, при одинаковом числе элементов у обоих изделий трудоемкость окажется разной. Во-вторых, оценка уровня сложности является относительной, т. к. ее значение зависит от выбранного аналога, т. е. при сопоставлении с другим аналогом уровень сложности конструкции изделия может быть другим. Кроме того, возможен случай, когда аналог отсутствует или он значительно отличается по своему служебному назначению от сопоставляемого изделия.

В связи с этим необходимо разработать оценку абсолютной сложности конструкции изделия.

Если оценивать уровень сложности конструкции изделия суммой уровней и элементов на каждом уровне одним числом, то при одном и том же числе двух разных конструкций изделий они могут существенно отличаться друг от друга числом уровней и числом расположения элементов на каждом уровне. В итоге это будут изделия разных конструкций, которые могут существенно отличаться эффективностью эксплуатации и трудоемкостью их изготовления. Поэтому оценивать уровень сложности изделия следует числом уровней и количеством элементов на каждом уровне.

В основу предлагаемой оценки уровня сложности конструкции изделия предлагается принять уровень сложности структуры конструкции изделия. Как следует из описания структуры конструкции изделия с помощью плоского и пространственного графов для оценки уровня сложности следует принять плоский граф.

Как отмечалось выше, структура конструкции изделия характеризуется числом уровней и числом элементов, расположенных на уровнях. Структура конструкции изделия влияет на построение маршрута сборочного технологического процесса изделия.

Уровни графа конструкции изделия показывают последовательность присоединяемых групп элементов изделия, расположенных на уровнях графа, при разработке маршрутного сборочного технологического процесса:

группа 1 – группа 2 – ... – группа  $N$ .

Отсюда следует, что исходные данные на проектирование сборочного технологического процесса целесообразно дополнить графом

конструкции изделия. На ребрах графа целесообразно указывать вид соединения в виде соответствующего МС.

Таким образом, структура конструкции изделия представляется графом, показывающим число уровней, число элементов на уровнях, их разнообразие и МС. Эта информация при наличии элементной базы средств технологического обеспечения (ЭБТО) МС позволит определить ожидаемую трудоемкость сборки изделия.

Построение ЭБТО МС должно начинаться с построения классификации МС, где в качестве первой отличительной характеристики должен выступать вид МС. Учитывая, что число видов МС ограничено семью наименованиями ЭБТО окажется громоздкой. Поэтому рекомендуется строить ЭБТО для каждого вида МС. В основе построения ЭБТО вида МС должна

быть положена классификация МС, где в качестве отличительных характеристик следует принять размерные характеристики и уровень точности.

Например, МС, представляющий собой конструкцию, содержащую три поверхности – отверстие, торец и шпоночный паз (рис. 3) имеют свою классификацию, где в качестве отличительных признаков выступают диаметр отверстия  $d$ , его длина  $l$ , диаметр торца  $D$ , ширина и высота шпоночного паза  $b, h$ . На первом уровне классификации принимается отношение  $l/d$ . На втором уровне принимается размер  $d$ , а учитывая связь характеристик высоты и ширины шпоночного паза с диаметром отверстия на третьем уровне принимается ширина паза  $b$ , а на четвертом – уровень точности.

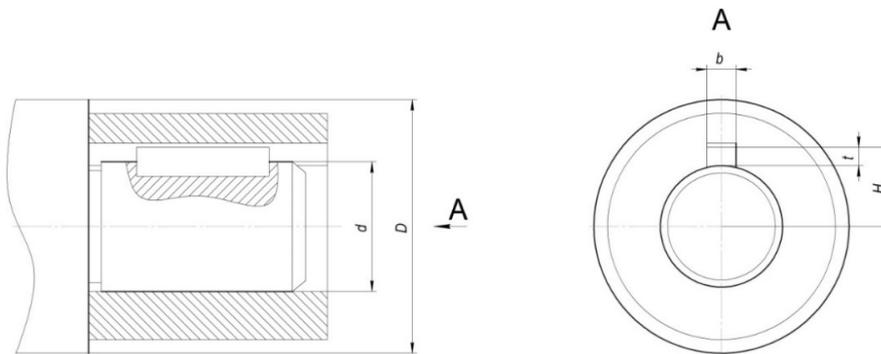


Рис. 3. Пример модуля соединения

Fig. 3. Example of a connection module

Диаметр  $d$  делится на диапазоны согласно системе допусков и посадок. Для каждого диапазона размерных характеристик МС в ЭБТО должна быть указана трудоемкость соединения.

Наличие ЭБТО позволит оценивать варианты структуры конструкции изделия по уровню трудоёмкости.

### Выводы

1. Структура конструкции изделия – это пространственное расположение элементов конструкции изделия с указанием их видов и количества каждого вида.
2. Структура конструкции изделия – это многоуровневая схема расположения элементов конструкции изделия.

3. Структура конструкции изделия может быть представлена плоским и пространственным графами.

4. Плоский граф конструкции изделия отражает связи между элементами конструкции и их базы, но не показывает их относительное расположение в пространстве.

5. Пространственный граф конструкции изделия отражает пространственное расположение элементов конструкции изделия и характеризует компоновку изделия.

6. Структура конструкции изделия позволяет оценить уровень сложности конструкции изделия, чем сложнее структура, тем выше уровень сложности конструкции.

7. Предлагается уровень сложности конструкции изделия оценивать с помощью количества уровней структуры изделия и числом элементов, располагающихся на каждом уровне.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Базров Б.М.** Метод описания конструкции изделия характеристиками графа // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. № 3. С. 89–91.
2. **Базров Б.М.** Модульная технология // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2011. № 4. С. 3–10.
3. **Базров Б.М.** Организация мелкосерийного производства деталей на принципах модульной технологии // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №11(149). С. 24–29.
4. **Базров Б.М.** Базис технологической подготовки машиностроительного производства. М.: КУРС, 2023. 324 с.
5. **Коршунов А.И.** Исследование конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия // Фундаментальные исследования. 2006. № 11. С. 36–37.
6. **Коршунов А.И.** Введение в теорию конструктивно-технологической сложности изделий машиностроения // Современные научноёмкие технологии. 2004. № 2. С. 66.
7. **Ерёмин А.А., Ямникова О.А.** Конструктивная сложность как мера технологичности изделий в машиностроении В сборнике: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2015. С. 40–42.
8. **Машиностроение.** Энциклопедия / Ред. совет К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. 2001. 640 с.
9. **Ямникова О.А., Троицкий Д.И., Ерёмин А.А.** Оценка конструктивно-технологической сложности деталей на этапе проектирования // Механика XXI века. 2016. № 15. С. 75–80.

REFERENCES

1. Bazrov B.M. Method of product design description using graph properties // Journal of machinery manufacture and reliability. 2016, no. 3, pp. 89–91.
2. Bazrov B.M. Modular technology in mechanical engineering // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2011, no. 4, pp. 3–10.
3. Bazrov B.M. Organization of small-scale production of parts based on module technology patterns // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023, no.11(149), pp. 24–29.
4. Bazrov B.M. Basis of manufacturing preparation of machine-building production. Moscow: Kurs, 2023, 324 p.
5. Korshunov A.I. Investigation of the constructive and technological complexity of a machine-building item // Fundamental research. 2006, no. 11, pp. 36–37.
6. Korshunov A.I. Introduction to the theory of structural and technological complexity of engineering products// Modern science-intensive technologies. 2004, no. 2, p. 66.
7. Yeryomin A.A., Yamnikova O.A. Constructive complexity as a measure of the manufacturability of products in machine building. Proceedings: CURRENT ISSUES OF SCIENCE AND TECHNOLOGY // Collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference. 2015, pp. 40–42.
8. Mechanical engineering. Encyclopedia / Ed. Council K.V. Frolov (chief) et al. Moscow: Mashinostroenie. Assembly technology in mechanical engineering. Vol.III-5 / A.A. Gusev, V.V. Pavlov, A.G. Andreev, et al.; under the general editorship of Y.M. Solomentsev. 2001, 640 p.
9. Yamnikova O.A., Troitsky D.I., Eremin A.A. Assessment of the structural and technological complexity of parts at the design stage // Mechanics of the XXI century. 2016. No. 15. pp. 75–80.

Статья поступила в редакцию 07.02.2024; одобрена после рецензирования 26.02.2024; принята к публикации 27.02.2024.

The article was submitted 07.02.2024; approved after reviewing 26.02.2024; accepted for publication 27.02.2024.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Верстка Н.А. Лукашов. Редактор Е.В. Лукашова. Технический редактор Н.А. Лукашов.

Сдано в набор 17.07.2024. Выход в свет 30.07.2024.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» 241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

12+