

ISSN 1561-8358 (Print)
ISSN 2524-244X (Online)

МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА
MECHANICAL ENGINEERING, MECHANICS

<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2024-69-4-279-285>
УДК 621.92.941.95.005



Оригинальная статья

Б. М. Базров¹, М. Л. Хейфец^{2*}, В. Л. Гуревич³

¹*Институт машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук,
Малый Харитоньевский переулок, 4, 101000, Москва, Российская Федерация*

²*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси,
ул. Академическая, 16, 220072, Минск, Республика Беларусь*

³*Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220072, Минск, Республика Беларусь*

**СТРУКТУРА КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ И ОЦЕНКА УРОВНЯ ЕГО СЛОЖНОСТИ
С ПОЗИЦИЙ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Аннотация. Базируясь на том, что сложность конструкции изделия влияет на трудоемкость его изготовления и эффективность эксплуатации, сформулировано понятие сложности изделия по определению количества уровней структуры конструкции. Предлагается представить структуру конструкции изделия с помощью графа, отражающего связи между элементами конструкции изделия, а их подчиненность показывать посредством конструкторских баз каждого элемента и описывать количеством уровней и числом элементов на каждом уровне графа. Показано, что структура конструкции влияет на построение маршрута сборочного технологического процесса изделия. В связи с этим предложено дополнить исходные данные для проектирования сборочного технологического процесса графом с указанием на его ребрах модулей соединений. Это позволяет при наличии элементной базы средств технологического обеспечения модулей соединений определять ожидаемую трудоемкость сборки изделия.

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

Конфликт интересов: в составе авторского коллектива – член редакционной коллегии доктор технических наук, профессор М. Л. Хейфец.

Информация об авторах: *Базров Борис Мухтарбекович* – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Теория модульной технологии» Института машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук. E-mail: modul_lab@mail.ru; *Хейфец Михаил Львович* – доктор технических наук, профессор, директор Института прикладной физики Национальной академии наук Беларуси. <https://orcid.org/0000-0002-6942-3605>. E-mail: mlk-z@mail.ru; *Гуревич Валерий Львович* – кандидат технических наук, доцент, Белорусский национальный технический университет. <https://orcid.org/0000-0001-9071-2746>. E-mail: valery.hurevich@gmail.com

Вклад авторов: *Базров Борис Мухтарбекович* – разработка метода оценки уровня сложности конструкции изделия с позиций трудоемкости его изготовления и эффективности эксплуатации; *Хейфец Михаил Львович* – анализ уровня сложности конструкции изделия с позиций теории организации сложных систем, написание текста статьи; *Гуревич Валерий Львович* – анализ уровня сложности конструкции изделия с позиций унификации и стандартизации.

Для цитирования: Базров, Б. М. Структура конструкции изделия и оценка уровня его сложности с позиций трудоемкости изготовления и эффективности эксплуатации / Б. М. Базров, М. Л. Хейфец, В. Л. Гуревич // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2024. – Т. 69, № 4. – С. 279–285. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2024-69-4-279-285>

Поступила в редакцию: 15.08.2024

Утверждена к публикации: 16.12.2024

Подписана в печать: 23.12.2024

© Базров Б. М., Хейфец М. Л., Гуревич В. Л., 2024

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.

*Original article***Boris M. Bazrov¹, Mikhail L. Kheifetz^{2*}, Valery L. Hurevich³**¹*A. A. Blagonravov Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences,
4, Maly Kharitonyevsky Lane, 101000, Moscow, Russian Federation*²*Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus,
16, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus*³*Belarusian National Technical University,
65, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus***STRUCTURE OF THE PRODUCT DESIGN AND ASSESSMENT
OF ITS COMPLEXITY LEVEL FROM THE POINT OF LABOR INTENSITY
OF MANUFACTURING AND OPERATIONAL EFFICIENCY**

Abstract. Based on the fact that the complexity of the product design affects the labor intensity of its manufacture and the efficiency of operation, the concept of product complexity is formulated by determining the number of levels of the design structure. It is proposed to describe the structure of the product design using a graph reflecting the connections between the elements of the product design, and to show their subordination using the design bases of each element and describe the number of levels and the number of elements at each level of the graph. It is shown that the structure of the design affects the construction of the route of the assembly technological process of the product. In this regard, it is proposed to supplement the initial data for designing the assembly technological process with a graph indicating the connection modules on its edges. This allows, in the presence of an element base of the means of technological support for the connection modules, determination of the expected labor intensity of the product assembly.

Keywords: product, element, structure, construction, level, graph, connection module

Conflict of interest: the author's team includes the member of the Editorial Board Dr. Sci. (Engineering), Professor Mikhail L. Kheifetz.

Information about the authors: *Boris M. Bazrov* – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory “Theory of Modular Technology” at A. A. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences. E-mail: modul_lab@mail.ru; *Mikhail L. Kheifetz* – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Director at Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus. <https://orcid.org/0000-0002-6942-3605>. E-mail: mlk-z@mail.ru; *Valery L. Hurevich* – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor at Belarusian National Technical University. <https://orcid.org/0000-0001-9071-2746>. E-mail: valery.hurevich@gmail.com

Contribution of the authors: *Boris M. Bazrov* – development and testing of a method for improving the manufacturability of a product design at the stage of creating its working documentation, editing the manuscript; *Mikhail L. Kheifetz* – development of recommendations for improving the manufacturability of a product design depending on the scale of its production, writing the text of the article; *Valery L. Gurevich* – analysis of the level of complexity of the product design from the standpoint of unification and standardization.

For citation: Bazrov B. M., Kheifetz M. L., Hurevich V. L. Structure of the product design and assessment of its complexity level from the point of labor intensity of manufacturing and operational efficiency. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2024, vol. 69, no. 4, pp. 279–285 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2024-69-4-279-285>

Received: 15.08.2024

Approved for publication: 16.12.2024

Signed to the press: 23.12.2024

Введение. Понятие «сложность» относится к предметной области информации или энтропии, и, согласно взглядам основоположников теории организации сложных систем [1–3], к нему применимы законы термодинамики. Так, по мнению Дж. фон Неймана [3], со сложностью связана эффективность – способность делать нечто существенное. В этом смысле объект или конструкция производимого изделия обладает очень высокой сложностью, если он способен решать весьма сложные задачи.

Как показано ранее [2, 3], когда количество элементарных частей изделия ниже некоторого минимального числа, сложность изделия носит вырождающийся характер: если один объект создает другой, то последний менее сложен, чем первый. Если же число элементарных частей превышает минимум, то объект-автомат конструирует объекты равной или более высокой сложности. Величина этого минимума зависит от того, как определены элементарные части.

По мнению Дж. фон Неймана, все это останется на уровне нечетких утверждений, если не дано корректное определение понятия сложности для детального рассмотрения конструкций, иллюстрирующих свойства сложности [3]. При этом под термином «сложность» в последнее

время некоторые исследователи понимают способность выделить и сохранить отдельные элементы в системе [4–6], независимо от того это биты в компьютере или нейроны в мозге [7].

Исходя из этого, применительно к машиностроительному производству сложность конструкции изделия является, с одной стороны, свойством конструкции, а с другой – характеристикой качества конструкции изделия и влияет на трудоемкость его изготовления и эффективность эксплуатации.

Оценка уровня сложности важна на этапе проектирования изделия, когда требуется выбрать решение из нескольких вариантов. В связи с этим необходимо оценивать уровень сложности конструкции изделия, а для этого требуется сформулировать понятие сложности конструкции изделия машиностроения.

Сложность конструкции изделия определена в [8, 9] следующим образом: с одной стороны, она 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.

Под сложностью конструкции изделий в [10] понимается относительная характеристика их состава и структурного исполнения. Она определяет конструктивные дополнительные признаки и соответствующие требования к обеспечению технологической рациональности конструкции изделия.

В результате связи между сложностью изделия и технико-экономическими показателями технологии его изготовления и условий эксплуатации уже отражаются при анализе конструкций в машиностроении. Однако в этих формулировках не отражено понятие меры сложности конструкции изделия, что на этапе его проектирования вызывает затруднение в выборе наилучшего варианта решения.

Для оценки уровня сложности конструкции изделия в [11, 12] был предложен коэффициент, равный отношению числа элементов конструкции к числу элементов аналога. Однако существуют, во-первых, зависимость уровня сложности конструкции изделия от выбранного аналога, во-вторых, даже при одинаковом числе элементов в двух аналогах при наличии разницы в конструкциях их элементов уровень сложности конструкции изделия будет разным.

Поэтому *цель исследования* – разработка понятия сложности изделия и определение ее меры, в качестве которой предложен уровень сложности конструкции.

Уровень сложности конструкции изделия. Понятие уровня сложности конструкции не должно зависеть от конкретной конструкции изделия, у которого нет аналога, чтобы можно было оценить ее уровень сложности.

В связи с этим возникает проблема, как оценить этот уровень, следовательно, необходимо разработать метод определения уровня сложности конструкции изделия без учета аналога.

Если принять в качестве уровня сложности конструкции изделия одинаковое количество элементов в двух изделиях, то при одинаковом количестве элементов в их составе трудоемкость изготовления и эксплуатации может отличаться из-за разной сложности элементов, входящих в эти изделия.

Чтобы сформулировать понятие сложности конструкции изделия, воспользуемся наличием связи между сложностью конструкции изделия и ее структурой: чем сложнее конструкция изделия, тем сложнее ее структура. Структура конструкции изделия включает в себя относительное расположение элементов его конструкции, их видов и количество элементов каждого вида.

Рассмотрим возможность изучения структуры конструкции изделия с помощью графа, который описывается числом 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 неопределенность понятия узла приводит к неоднозначному описанию изделия, когда одно и то же изделие может быть представлено разной совокупностью узлов. В связи с этим рекомендуется

в качестве узла принять модуль [13], который представляет собой конструктивное решение, предназначенное выполнять соответствующую служебную функцию.

По функциональному назначению предлагается [13–15] модули изделия разделить на две группы: модули функциональные технологические (МФТ) и модули функциональные обслуживающие (МФО). Под МФТ будем понимать конструктивное решение, с помощью которого изделие выполняет свое служебное назначение, под МФО – конструктивное решение, которое обеспечивает функционирование МФТ.

Разница между модулями заключается в том, что МФТ принадлежит только к изделиям одного служебного назначения. Например, у грузового автомобиля в качестве МФТ выступают кузов для размещения груза и ходовая часть, обеспечивающая перемещение груза; в качестве МФО – двигатель, трансмиссия, рулевое управление, которые могут участвовать в изделиях различного служебного назначения, в то время как кузов и ходовая часть принадлежат только транспортному изделию. Рассмотрим и другой пример: в токарно-винторезном станке в качестве МФТ выступают патрон для установки заготовки и резцедержатель для установки инструмента, а в качестве МФО – коробка скоростей, коробка подач, электродвигатель и др.

Для описания структуры конструкции изделия воспользуемся графом конструкции изделия, который строится следующим образом (рис. 1): вершиной графа является базовая деталь; на первом уровне располагаются элементы, базирующиеся непосредственно на базовой детали; на втором уровне – элементы, базами которых являются элементы первого уровня, и т. д. Такой граф отражает наличие связи между элементами конструкции изделия, их подчиненность, показывая базы каждого элемента, но при этом, в отличие от чертежа, он не отражает их относительное расположение в конструкции изделия.

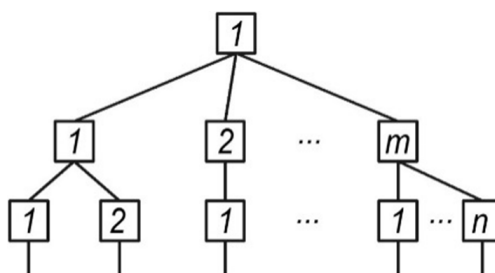


Рис. 1. Граф конструкции изделия

Fig. 1. Graph of the product design

Построение графа должно заканчиваться уровнем, на котором располагаются последние элементы. Для повышения информативности о конструкции изделия целесообразно на ребрах графа указывать модули соединений.

Сложность конструкции изделия должна описываться двумя характеристиками: числом уровней и количеством элементов на каждом уровне. В общем случае структура изделия содержит группу уровней с расположенными на них элементами.

Таким образом, в основе предлагаемой оценки уровня сложности конструкции изделия лежит уровень сложности структуры конструкции изделия, для определения которого следует воспользоваться графом.

Построение маршрута сборочного процесса. Оценка сложности конструкции изделия имеет практическое значение как с технологической точки зрения, так и с позиций надежности при эксплуатации изделия, включающей в себя понятие ремонтпригодности. Структура конструкции изделия влияет на построение маршрута его сборочного процесса, который может быть использован или доработан при техническом обслуживании и ремонте изделия и отражать его ремонтпригодность при эксплуатации.

Уровни графа конструкции изделия показывают последовательность присоединяемых групп элементов изделия в сборочном процессе. По этой причине исходные данные на проектирование сборочного процесса следует дополнить графом конструкции изделия. Наличие графа определяет последовательность сборки изделия на уровне групп элементов. Различие числа уровней гра-

фа и их последовательность указывают на группы элементов и их очередность в процессе сборки изделия. На ребрах графа целесообразно указывать вид соединения в виде соответствующего модуля соединения (МС). Под МС понимается совмещение комплекта вспомогательных баз (комплект баз присоединяемой детали) с комплектом основных баз деталей (комплект баз, принадлежащий базовой детали).

Любая деталь может быть представлена совокупностью модулей поверхностей (МП) [13, 14]. Под МП понимается сочетание поверхностей детали, предназначенное для выполнения соответствующей служебной функции детали. Согласно классификации модулей поверхностей детали [10] все модули поверхности делятся на три класса – базирующие (МПБ), рабочие (МПР) и связующие (МПС).

Первый тип (МПБ) представляет собой комплект баз, номенклатура которых ограничена 14 вариантами [13, 14]. 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 [15].

Совмещение этих модулей создает соединение деталей, или 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 МПБ, расположенный в числителе МС, переходит из категории комплекта вспомогательных баз в категорию комплекта основных баз, модули соединения можно представить следующим образом: $МС1' = \frac{Б12}{Б11}$; $МС2' = \frac{Б212}{Б211}$; $МС3' = \frac{Б222}{Б221}$; $МС4' = \frac{Б312}{Б311}$; $МС5' = \frac{Б322}{Б321}$; $МС6' = \frac{Б42}{Б41}$; $МС7' = \frac{Б52}{Б51}$.

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

В итоге структуру любой конструкции изделия можно описать с помощью графа – многоуровневой схемы с элементами, расположенными на разных уровнях. После того как на графе все узлы будут представлены соответствующими группами деталей, располагающимися на разных уровнях, получим множество деталей, составляющих конструкцию изделия. Если представить каждую деталь совокупностью соответствующих МП, то описание конструкции изделия на нижнем уровне будет состоять из множества МП и множества МС соответствующих видов. В итоге конструкцию изделия можно описать множеством МП и МС с указанием их видов и количества каждого вида.

Наличие элементной базы средств технологического обеспечения (ЭБТО) на уровне предмета производства МП, МС позволит определить ожидаемую трудоемкость сборки изделия и изготовления деталей. Построение ЭБТО модулей соединений следует начинать с построения классификации модулей соединения, где в качестве первой отличительной характеристики должен выступать их вид. Так как число видов данных модулей ограничено семью наименованиями, ЭБТО окажется громоздкой, поэтому рекомендуется строить элементную базу для каждого вида МС. В основе построения такой базы должна быть положена классификация МС, где в качестве отличительных характеристик следует принять размерные характеристики и уровень точности.

Например, модуль соединения содержит три поверхности – отверстие, торец и шпоночный паз (рис. 2). В качестве отличительных признаков выступают диаметр отверстия (d), его длина (l), диаметр торца (D), ширина и высота шпоночного паза (соответственно b и h).

На *первом* уровне классификации принимается отношение l/d , на *втором* уровне – размер d , на *третьем* уровне с учетом связи характеристик высоты и ширины шпоночного паза с диаметром отверстия – ширина паза b , а на *четвертом* – уровень точности. Диаметр d делится на диапазоны номинальных размеров согласно системе допусков и посадок¹. Для каждого диапазона размерных характеристик МС в ЭБТО указывают трудоемкость соединения.

¹ ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. М.: Стандартинформ, 2019. 35 с. ; ISO 286-1:2010. Geometrical product specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits.

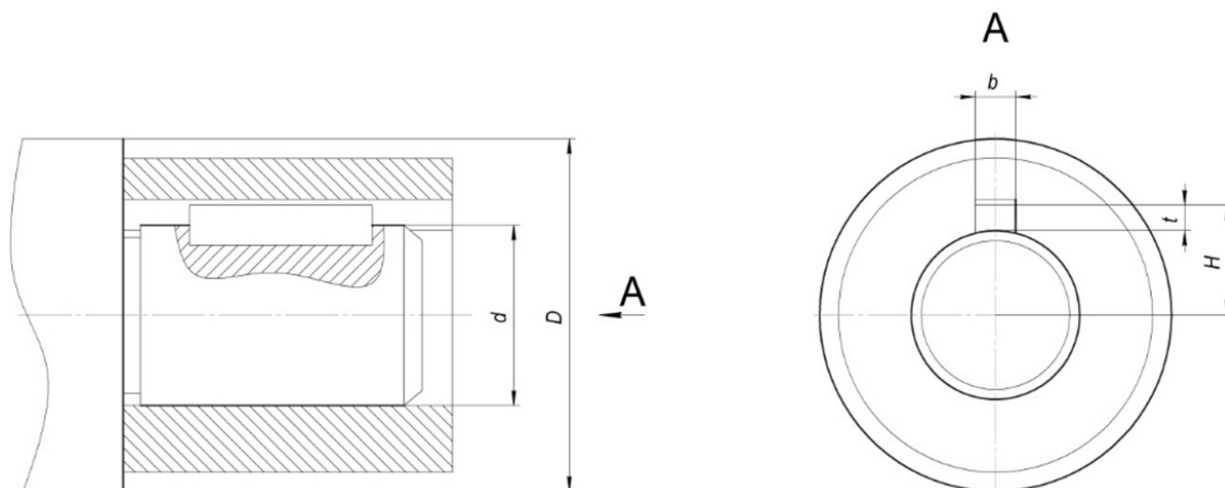


Рис. 2. Пример модуля соединения

Fig. 2. Example of a connection module

Таким образом, наличие ЭБТО позволяет оценивать варианты структуры конструкции изделия по их трудоемкости.

Заключение. Предложено оценивать сложность конструкции изделия машиностроения характеристиками ее структуры, включающей в себя пространственное расположение элементов конструкции с указанием их видов и количества каждого вида.

Показано, что структура конструкции изделия может быть представлена графом конструкции изделия, который показывает связи между элементами конструкции, а их базы отражают пространственное расположение элементов конструкции изделия и характеризуют компоновку изделия.

Установлено, что определять уровень сложности конструкции изделия целесообразно числом уровней графа и количеством его элементов, располагающихся на каждом уровне, а изделие представлять множеством модулей поверхностей и модулей соединений с указанием их видов и количеством каждого вида.

Рекомендовано включать в исходные данные для проектирования маршрута сборочного процесса граф конструкции изделия, который определяет последовательность операций сборки изделия.

Список использованных источников

1. Бриллюэн, Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн. – М.: Физматгиз, 1960. – 342 с.
2. Бёркс, А. Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства / А. Бёркс, Х. Голдстейн, Дж. фон Нейман // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1964. – Т. 9. – С. 7–67.
3. Нейман, Дж. фон. Теория самовоспроизводящих автоматов / Дж. фон Нейман. – М.: Мир, 1971. – 342 с.
4. Lewin, R. Complexity: Life at the Edge of Chaos / R. Lewin. – New York: Macmillan, 1992. – 208 p.
5. Waldrop, M. Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos / M. Waldrop. – New York: Simon & Schuster, 1992. – 380 p.
6. Emmeche, C. The Garden in the Machine: The Emerging Science of Artificial Life / C. Emmeche. – Princeton: Princeton University Press, 1994. – 214 p. <https://doi.org/10.1515/9780691225159>
7. Coveney, P. Frontiers of Complexity. The Search for order in a Chaotic World / P. Coveney, R. Highfield. – London: Faber, 1995. – xviii, 462 p.
8. Коршунов, А. И. Исследование конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия / А. И. Коршунов // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 11. – С. 36–37.
9. Коршунов, А. И. Введение в теорию конструктивно-технологической сложности изделий машиностроения / А. И. Коршунов // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 66–67.
10. Ерёмин, А. А. Конструктивная сложность как мера технологичности изделий в машиностроении / А. А. Ерёмин, О. А. Ямникова // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. (7 апр. 2015 г.). – Самара, 2015. – Вып. 2. – С. 40–42.

11. Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение [и др.], 2003–2016. – Т. III-5: Технология сборки в машиностроении / А. А. Гусев [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – 2006. – 640 с.
12. Ямникова, О. А. Оценка конструктивно-технологической сложности деталей на этапе проектирования / О. А. Ямникова, Д. И. Троицкий, А. А. Ерёмин // Механика XXI веку. – 2016. – № 5. – С. 75–80.
13. Базров, Б. М. Модульная технология / Б. М. Базров // Научно-технологические технологии в машиностроении. – 2011. – № 4. – С. 3–10.
14. Базров, Б. М. Базис технологической подготовки машиностроительного производства / Б. М. Базров. – М.: КУРС, 2023. – 324 с.
15. 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>

References

1. Brillouin L. *Science and Theory of Information*. New York, Academic Press, 1956. 320 p.
2. Burks A., Goldstein H., Neumann J. von. Preliminary consideration of the logical design of an electronic computing device. *Kiberneticheskii sbornik* [Cybernetic Collection]. Moscow, Mir Publ., 1964, vol. 9, pp. 7–67 (in Russian).
3. Neumann J. von. *Theory of Self-Reproducing Automata*. Urbana; London, University of Illinois Press, 1966. XIX, 388 p.
4. Lewin R. *Complexity: Life at the Edge of Chaos*. New York, Macmillan, 1992. 208 p.
5. Waldrop M. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York, Simon & Schuster, 1992. 380 p.
6. Emmeche C. *The Garden in the Machine: The Emerging Science of Artificial Life*. Princeton, Princeton University Press, 1994. 214 p. <https://doi.org/10.1515/9780691225159>
7. Coveney P., Highfield R. *Frontiers of Complexity. The Search for order in a Chaotic World*. London, Faber, 1995. xviii, 462 p.
8. Korshunov A. I. Study of the structural and technological complexity of a mechanical engineering product. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, 2006, no. 11, pp. 36–37 (in Russian).
9. Korshunov A. I. Introduction to the theory of structural and technological complexity of mechanical engineering products. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*, 2004, no. 2, pp. 66–67 (in Russian).
10. Eremin A. A., Yamnikova O. A. Structural complexity as a measure of manufacturability of products in mechanical engineering. *Aktual'nye voprosy nauki i tekhniki: sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (7 aprelya 2015 g.)*. [Topical Issues of Science and Technology: a Collection of Scientific Papers on the Results of the International Scientific and Practical Conference (April 7, 2015)]. Samara, 2015, iss. 2, pp. 40–42 (in Russian).
11. Gusev A. A., Pavlov V. V., Andreev A. G. [et al.]. *Mechanical Engineering: Encyclopedia. Vol. III-5 Mechanical Engineering. Assembly Technology in Mechanical*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 640 p. (in Russian).
12. Yamnikova O. A., Troitsky D. I., Eremin A. A. Evaluation of the design and technological complexity of parts at the design stage. *Mekhanika XXI veku* [Mechanics of the XXI century], 2016, no. 5, pp. 75–80 (in Russian).
13. Bazrov B. M. Modular technology. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2011, no. 4, pp. 3–10 (in Russian).
14. Bazrov B. M. *Basis of Technological Preparation of Mechanical Engineering Production*. Moscow, KURS Publ., 2023. 324 p. (in Russian).
15. Bazrov B. M., Kheifetz M. I. 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>