

## КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ПРОЦЕССА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ДИСКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ

**О.В. Малина**

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,  
г. Ижевск, Россия*

Автоматизация проектирования – актуальнейшая задача, от решения которой во многом зависит качество создаваемого объекта, а также эффективность деятельности предприятия, направленная на создание такого объекта. Возможность автоматизации этапов проектирования определяется наличием алгоритмов решения возникающих при этом задач, то есть уровнем формализации.

Одним из этапов проектирования объектов является выбор их структуры – структурный синтез, будь то конструкция изделия машиностроения, технологический процесс изготовления изделия, образовательный процесс в вузе по подготовке специалиста или деятельность вуза или промышленного предприятия в целом. Автоматизация этапа структурного синтеза – трудоемкая и сложная задача, поскольку для большинства объектов отсутствует формализованное описание процесса, а значит, немаловажную роль играет уровень квалификации и интуиция проектировщика.

На сегодняшний день отсутствует единый универсальный подход к разработке автоматизированной системы, реализующей структурный синтез объектов. Это объясняется, во-первых, различной природой объектов, структурный синтез которых надо автоматизировать, во-вторых, разным объемом знаний, накопленных в каждой конкретной предметной области, и уровнем их формализации, в-третьих, уровнем сложности самого объекта проектирования.

Существуют различные подходы к разработке автоматизированных систем структурного синтеза. Как правило, они определяются алгоритмами предметной области и реализуются интуитивно исходя из представления о процессе формирования структуры объекта синтеза у специалиста-предметника.

Анализ особенностей объектов проектирования позволил не только предложить классификацию этих объектов, но и сформулировать классификационные факторы процесса структурного синтеза, позволяющие в зависимости от существующей ситуации в предметной области выбрать идеологию автоматизации процесса структурного синтеза.

*Ключевые слова: структурный синтез, объект синтеза, классификация процессов структурного синтеза, алгоритм синтеза, запрещённые фигуры.*

### **Введение**

На современном этапе развития, когда конкурентоспособность современного предприятия определяется качеством и способностью быстрого реагирования на изменяющиеся условия рынка, информатизация становится базовым условием его жизнеспособности. Именно поэтому международное общество инженеров производства и Совет по оценке конкурентоспособности изделий США, включающие в себя крупных ученых и предпринимателей, три из пяти критических технологий XXI века охарактеризовали как собственно информационные технологии. Более того, одна из них – это системы автоматизации проектирования. Развитие систем автоматизированного проектирования опирается на прочную научно-техническую базу, включающую:

- новые способы получения информации, базирующиеся на принципах искусственного интеллекта;
- новые методы решения задач;
- современные средства вычислительной техники.

Системы автоматизированного проектирования дают возможность на базе новейших достижений фундаментальных наук, в том числе информационной математики, отрабатывать и совершенствовать методологию проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования объектов различной физической природы.

### Классификация объектов структурного синтеза

Прежде чем осуществить попытку автоматизации проектирования объекта, следует остановиться на том, что понимать под объектом и какие задачи необходимо решить в процессе его синтеза. Объектом синтеза здесь и далее будем называть то, на генерацию чего нацелено функционирование создаваемой системы структурного синтеза. Все множество объектов, структурный синтез которых является предметом рассмотрения в данной работе, характеризуется, с одной стороны, недостаточностью предметных алгоритмов, позволяющих в автоматизированном режиме осуществлять проектирование, с другой стороны, дискретностью структур, что позволяет использовать в качестве аппарата синтеза переборные (комбинаторные) алгоритмы. Однако множество таких объектов неоднородно по своей структуре, и на первом этапе из него может быть выделено два непересекающихся подмножества: «конечные» объекты и процессы. Термин «конечный» объект (или просто «объект») будет использоваться для обозначения объектов проектирования, чья структура может быть представлена в трехмерном пространстве. Иначе говоря, дискретные единицы, составляющие структуру, упорядочены в пространстве, но не во времени, то есть время не является структурообразующим фактором. Примерами таких объектов являются: конструкция изделия, план местности, структура системы здравоохранения и т. д.

Отличительной особенностью процесса является упорядоченность структурных единиц во времени. Таким образом, объекты типа «процесс» существуют в четырехмерном пространстве, где четвертым измерением является время. Структурный анализ множества различных процессов позволил сделать вывод о неоднородности анализируемого множества, причем следствием этой неоднородности является выбор различных подходов как в представлении структур таких объектов, так и в методологии их синтеза. Разбить все множество процессов на подмножества, а также определить принадлежность того или иного процесса к одному из подмножеств позволяет его классификация посредством ответов на следующие вопросы:

- известна и является ли конечной процессообразуемая структура;
- известна и является ли конечной процессообразующая структура;
- является ли конечным множество элементарных шагов, составляющих данный вид процессов.

Процессообразуемой структурой здесь и далее будет называться «конечный» объект, на создание которого направлен анализируемый процесс. Если процессообразуемая структура известна и конечна, то процесс называется «конечным», иначе – «бесконечным». Итак, конечным процессом называется объект структурного синтеза, дискретные шаги которого упорядочены во времени, их множество известно и конечно, а сам процесс осуществляется известной и конечной процессообразующей структурой и направлен на создание известной и конечной процессообразуемой структуры. Примером конечного процесса является технологический процесс изготовления изделия, осуществляемый производственным предприятием, состоящий из определенного набора технологических операций, направленный на создание определенного изделия конечной структуры. Подготовка специалиста, осуществляемая высшим учебным заведением, представляющая собой упорядоченное изучение конечного набора дисциплин, гарантирующее получение определенного объема знаний, также является конечным процессом. Прежде чем охарактеризовать бесконечный процесс, дадим определение свойства бесконечности с точки зрения процесса структурного синтеза. Очевидно, что любая САПР, ориентированная даже на самые современные вычислительные средства, не в состоянии обеспечить синтез действительно бесконечной структуры в обычно употребляемом смысле этого понятия. Однако в противоположность конечным процессам, конечность которых определяется внутренним по отношению к процессу фактором (конечной процессообразуемой структурой), конечность структуры бесконечного процесса, полученного в результате функционирования САПР, определяется внешними по отношению к процессу факторами. Однако и само множество бесконечных процессов неоднородно по своей структуре. В рамках данной работы была проанализирована лишь одна разновидность бесконечного процесса, которая была определена как деятельность. Итак, деятельность (которую в дальнейшем будем также называть бесконечным процессом) – это такой объект структурного синтеза, дискретные шаги которого упорядочены во времени, их множество известно и конечно, а сам процесс осуществляется известной и конечной процессообразующей структурой, однако процессообразуемая структура либо неизвестна, либо бесконечна (неопределима). Примером такого бесконечного

процесса является производственно-коммерческая деятельность, определяющая порядок взаимодействия предприятия со сторонними организациями и предприятиями. Естественно предположить, что процессообразуемой структурой является прибыль, при этом целевая функция для поиска наилучшего варианта деятельности оговаривает ее максимальное значение, что в идеале устремляет ее величину в бесконечность. Конечность конкретного варианта синтеза определяется отрезком времени, на который выясняется прогноз, то есть искусственно накладываемым ограничением.

Итак, анализ множества объектов, построенных на дискретных структурах, позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на общий методологический подход к решению задачи автоматизации процессов их синтеза, реальные модели должны и будут иметь существенные особенности, описанные в следующих работах [1–6].

### **Классификационные факторы процесса конструирования**

Анализ подходов к реализации автоматизации конструирования различных объектов [7–14], а также существующих и реально действующих систем автоматизации структурного синтеза позволил сформулировать идеологию выбора подхода к решению задачи структурного синтеза с учетом предлагаемых классификационных факторов, возникших в результате классификации различных аспектов решения задач структурного синтеза. Рассмотрим указанные классификации.

Первая классификация  $K_1$  касается формулировки задачи проектирования:

а) получение наилучшего варианта конструкции, удовлетворяющего требованиям технического задания;

б) получение варианта конструкции, удовлетворяющей требованиям технического задания.

Первый вариант в отличие от второго требует постановки оптимизационной задачи: что следует считать наилучшим вариантом и как поступить, если указанные требования противоречат друг другу.

Вторая классификация  $K_2$  рассматривает базовый подход к получению заданной конструкции, отвечающей требованиям технического задания.

Согласно ей все процессы структурного синтеза можно разделить:

а) на процессы прямого синтеза;

б) процессы выбора из множества.

Процесс прямого синтеза предполагает наличие алгоритма, позволяющего получить структуру объекта, отвечающую требованиям технического задания.

Для сложных объектов реализация указанного подхода может столкнуться с проблемой противоречивости исходных данных или проблемой отсутствия сквозного алгоритма структурного синтеза.

Процесс выбора требует построения множества возможных вариантов с последующим выбором искомого.

Основная проблема – построение множества возможных вариантов.

Третья классификация  $K_3$  касается определения базовой функции системы и роли технического задания в процессе автоматизированного проектирования.

Классический подход к процессу конструирования предполагает, что техническое задание – это набор критериев, которому должно соответствовать новое проектное решение, а базовая функция системы проектирования – определение набора параметров, описывающих структуру.

Реализация автоматизации такого подхода сталкивается с тремя существенными проблемами:

1) отсутствие алгоритма, преобразующего заданный набор критериев в искомый набор параметров;

2) многообразие постановок задачи, когда потребитель в качестве исходных данных задает разные наборы критериев и, как следствие, устанавливает значение не всех критериев;

3) отсутствие четкого определения множества критериев и множества параметров (габариты изделия могут стать как критерием, так и параметром в зависимости от постановки задачи).

Предлагаемый автором альтернативный классическому подход предполагает отсутствие деления на критерии и параметры множества характеристик, описывающих объект. В данном подходе формируется полное множество характеристик объекта (его признаков). Потребитель в ка-

честве технического задания определяет значения подмножества характеристик, а базовая функция системы – доопределить множество, то есть найти возможные значения всех остальных признаков.

Четвертая классификация  $K_4$  определяется базовым алгоритмом процесса синтеза.

В первом случае аппарат синтеза – это алгоритмы предметной области, оформленные в виде расчетных зависимостей, эмпирических кривых, таблиц и т. д.

Во втором – это переборные алгоритмы на множестве возможных значений всех характеристик (параметров и критериев) с исключением невозможных сочетаний. В данном случае предметные алгоритмы становятся аппаратом анализа уже сформированных конструкций.

Приведенные выше классификации на первый взгляд кажутся достаточно тривиальными, однако их совместное рассмотрение позволят получить множество методологических моделей процесса структурного синтеза.

Множество методологических моделей может быть описано формулой

$$M = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где  $K_i$  – это  $i$ -я классификация, заданная множеством своих значений  $K_i = \{k_{i1}, k_{i2}\}$ .

Мощность такого множества равна 16, поскольку каждая классификация имеет два значения.

Таким образом, в результате приведенного анализа мы получили 16 методологических моделей процесса синтеза. Очевидно, что они имеют разную степень реализуемости, которая в свою очередь зависит:

- от сложности объекта синтеза;
- уровня формализации процесса конструирования;
- уровня покрытия формализацией процесса конструирования.

Очевидно, что для простых объектов, с однозначно определенным набором значений критериев и параметров, все этапы создания которых формализованы, легко можно разработать систему автоматизированного синтеза, позволяющую найти наилучший вариант конструкции посредством реализации классического подхода прямым синтезом, используя в качестве алгоритмов синтеза расчетные зависимости предметной области.

Для сложных объектов при создании САПР конструирования также может использоваться модель, позволяющая найти наилучший вариант конструкции посредством реализации классического подхода прямым синтезом, используя в качестве алгоритмов синтеза расчетные зависимости предметной области, если присутствует полная формализация процесса синтеза для любого набора исходных критериев.

Для большинства изделий машиностроения средней и высокой степени сложности реализация указанной модели на сегодняшний день невозможна.

Этим и объясняется состав и функционал существующих и получивших широкое распространение САПР.

Указанные системы позволяют выполнять отдельные расчеты, строить 3D- и 2D-модели, оформлять техническую, в том числе и графическую, документацию, создавать и хранить базу графических примитивов. Однако процесс структурного синтеза, то есть выбор конструктивных элементов и их сопряжение, реализуется человеком – специалистом, а качество технического решения определяется его опытом и интуицией.

### Заключение

Анализ всех полученных методологических моделей показал, что модель, реализующая синтез возможного варианта конструкции путем выбора из множества возможных посредством использования переборных алгоритмов на множестве всех признаков, описывающих рассматриваемый класс объектов, является универсальной, однако для ее функционирования следует решить ряд задач:

- сформировать множество элементарных структурных единиц – построить модель объекта;
- сформировать множество ограничений – запрещенные фигуры;
- выбрать оптимальный переборный алгоритм для получения искомого множества конструкций – построить модель процесса.

### Литература

1. Малина, О.В. Модель процесса структурного синтеза объектов, построенных на дискретных структурах, и особенности его реализации / О.В. Малина, О.Ф. Валеев // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. – 2013. – № 2 (57). – С. 24–26.
2. Малина, О.В. Информационные модели в задачах структурного синтеза / О.В. Малина // Информационная математика № 1: научно-технический журнал. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2001. – С. 184–193.
3. Малина, О.В. Математическая модель процесса конструирования в САПР / О.В. Малина, О.Ф. Валеев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 67–69.
4. Малина, О.В. Создание обобщенной модели процесса преобразования ресурсов при деятельности коммерческого предприятия без учета относительно запрещенных фигур / О.В. Малина, А.В. Зорин // Информационная математика в информатологии: сб. тр. симпозиума (Москва – Ижевск, 1997). – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 1997. – С. 51–55.
5. Малина, О.В. Логическая модель класса бесконечных процессов / О.В. Малина // Проблемы характеризационного анализа и логического управления: acad. сб. науч. тр. – М.: МГТУ, 1999. – С. 196–200.
6. Малина, О.В. Чувашов С.П. Формирование информационного обеспечения системы структурного синтеза процессов сборки спироидных редукторов / О.В. Малина, С.П. Чувашов // Проблемы проектирования изделий машиностроения и информатизации: тр. науч. сотрудников и аспирантов УНЦ зубчатых передач и редукторостроения Института механики ИжГТУ. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 1999. – С. 69–75.
7. Malina, O. Aspects of Optimization of the Process of Computer-Aided Design of Complex Objects / O. Malina, O. Valeyev // Advanced Gear Engineering Mechanisms and Machine Science. – Springer, 2018. – Vol. 51. – P. 447–464. DOI: 10.1007/978-3-319-60399-5\_22
8. Malina, O. Problems of Developing the Model of Class of Objects in Intelligent CAD of Gearbox Systems / O. Malina // Advanced Gear Engineering Mechanisms and Machine Science. – Springer, 2018. – Vol. 51. – P. 393–418. DOI: 10.1007/978-3-319-60399-5\_19
9. Малина, О.В. Автоматизированное конструирование изделий машиностроения – новый подход и новые задачи / О.В. Малина, Э.Г. Зарифуллина // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 3 (27). – С. 32–34.
10. Goldfarb, V. New Concept of the Process of Designing Gearboxes and Gear Systems / V. Goldfarb, O. Malina, E. Trubachev // Theory and Practice of Gearing and Transmissions. – Springer, 2015. – Vol. 34. – P. 405–424. DOI: 10.1007/978-3-319-19740-1\_20
11. Малина, О.В. Подход к построению классификатора объектов машиностроения как основы информационного обеспечения САПР / О.В. Малина, Э.Г. Зарифуллина, О.Ф. Валеев // Научная дискуссия: вопросы технических наук: сб. ст. по материалам XVI междунар. заоч. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во «Международный центр науки и образования», 2013. – № 11 (13). – С. 111–120.
12. Goldfarb, V. GDS-4 Computerized Synthesis of Skew-Axis Gear Scheme with Given Specification (Gear Design and Synthesis) / V. Goldfarb, O. Malina // Proceedings of the JSME International Conference on Motion and Power Transmission. MPT 2001. – Fukuooka, 2001. – P. 441–445. DOI: 10.1299/jsmeimpt.II.01.202.441
13. Morozov, S.A. Of computer-aided development of metal process methods by pressure-shaping according to any set of initial restrictions / S.A. Morozov, O.V. Malina // 1st International Conference Advances in Mechatronics: Book of Abstracts. – Trencin, Slovakia, 2006. – P. 43.
14. Малина, О.В. Основные концепции структурного синтеза материальных объектов при решении задачи оптимизации структуры системы здравоохранения / О.В. Малина, О.В. Ефимова // Проблемы характеризационного анализа и логического управления: acad. сб. науч. тр. – М.: МГТУ, 1999. – С. 239–248.

Малина Ольга Васильевна, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»; malina\_0705@mail.ru.

Поступила в редакцию 12 сентября 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190413

## CLASSIFICATION FACTORS OF THE PROCESS OF STRUCTURAL SYNTHESIS OF DISCRETE OBJECTS

O.V. Malina, malina\_0705@mail.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Automation of design is the urgent problem; its solution is the basis for the quality of the developed object and the efficiency of enterprise activity aimed at the development of such an object. The possibility of automation of design stages is determined by the presence of algorithms of solving the appearing problems, that is, by the level of formalization.

One of the design stages of objects is the choice of structure of these objects – the structural synthesis, whether it be the layout of the mechanical engineering product, the manufacturing process of the item production, the university educational process of the expert training or the university activity, or the industrial enterprise as a whole. Automation of the stage of the structural synthesis is the time consuming and complex problem, since for most objects the formalized description of the process is absent, therefore, the level of qualification and intuition of the designing engineer is of crucial importance.

Nowadays there is no universal approach to the development of the computer-aided design system that implements the structural synthesis of objects. It is explained, first, by the different nature of objects with their structural synthesis to be automatized, second, by the different bulk of knowledge in each specific subject area and the level of their formalization, and third, by the level of complexity of the design object.

There are various approaches to the development of computer-aided systems of structural synthesis. As a rule, they are determined by algorithms of the subject area and implemented intuitively basing on the corresponding expert representation of the process of generation of the structure of the synthesis object.

Analysis of features of the design objects allowed not only for proposing the classification of these objects, but for stating classification factors of the process of structural synthesis. Depending on the actual situation in the subject area, these classification factors allow for choosing the ideology of automation of the process of structural synthesis.

*Keywords: structural synthesis, object of synthesis, classification of structural synthesis processes, algorithm of synthesis, forbidden figures.*

### References

1. Malina O.V., Valeev O.F. [Model of the Process of Structural Synthesis of Objects Based on Discrete Structures and Features of the Model Implementation]. *Bulletin of Kalashnikov Izhevsk State Technical University*, 2013, no. 2 (57), pp. 24–26. (in Russ.)
2. Malina O.V. [Informational Models in Problems of Structural Synthesis]. *Information Mathematics NI: Scientific Technical Journal*, 2001, pp. 184–193. (in Russ.)
3. Malina O.V., Valeev O.F. [Mathematical Model of the Design Process in CAD Systems]. *Intelligent Systems in Production*, 2014, no. 1, pp. 67–69. (in Russ.)
4. Malina O.V. Zorin A.V. [Development of the Generalized Model of the Process of Transformation of Resources within Activity of the Business Enterprise without Account of Forbidden Figures].

## Краткие сообщения

---

*Information Mathematics in Informatology: Proceeding of the Symposium*, Izhevsk, 1997, pp. 51–55. (in Russ.)

5. Malina O.V. [Logic Model of the Class of Infinite Processes]. *Problems of Characterization Analysis and Logic Control: Academic Contributed Volume of Scientific Works*. Moscow, Moscow State University of Humanities and Economics Publ., 1999, pp. 196–200. (in Russ.)

6. Malina O.V. Chuvashov S.P. [Development of Information Support of the System of Structural Synthesis of Processes of Spiroid Gearbox Assembly]. *Problems of Design of Mechanical Engineering and Informatization Products: Contributed Volume of Scientific Researchers and Post Graduates of ESC on Gears and Gearbox Engineering of Institute of Mechanics of ISTU*, Izhevsk, 1999, pp. 69–75. (in Russ.)

7. Malina O., Valeev O. Aspects of Optimization of the Process of Computer-Aided Design of Complex Objects. *Advanced Gear Engineering Mechanisms and Machine Science*. Springer, 2018, vol. 51, pp. 447–464. DOI: 10.1007/978-3-319-60399-5\_22

8. Malina O. Problems of Developing the Model of Class of Objects in Intelligent CAD of Gearbox Systems. *Advanced Gear Engineering Mechanisms and Machine Science*. Springer, 2018, vol. 51, pp. 393–418. DOI: 10.1007/978-3-319-60399-5\_19

9. Malina O.V., Zarifullina Je.G. [Computer-Aided Design of Mechanical Engineering Products – New Approach and New Problems]. *Intelligent Systems in Production*, 2015, no. 3 (27), pp. 32–34. (in Russ.)

10. Goldfarb V., Malina O., Trubachev E. New Concept of the Process of Designing Gearboxes and Gear Systems. In: *Theory and Practice of Gearing and Transmissions*. Springer, 2015, vol. 34, pp. 405–424. DOI: 10.1007/978-3-319-19740-1\_20

11. Malina O.V., Zarifullina Je.G., Valeev O.F. [Approach to Development of the Classifier of Mechanical Engineering Objects as the Basis of Informational Support of CAD Systems]. *Nauchnaya diskussiya: voprosy tekhnicheskikh nauk: sb. st. po materialam XVI mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Scientific Discussion: Issues of Technical Sciences. Proceedings of the XVIth International Distance Scientific Practical Conference]. Moscow, “International Centre for Science and Education” Publ., 2013, no. 11 (13), pp. 111–120. (in Russ.)

12. Goldfarb V., Malina O. GDS-4 Computerized Synthesis of Skew-Axis Gear Scheme with Given Specification (Gear Design and Synthesis). *Proc. of the JSME International Conference on Motion and Power Transmission. MPT 2001*. Fukuoka, 2001, pp. 441–445. DOI: 10.1299/jsmeimpt.II.01.202.441

13. Morozov S.A., Malina O.V. *Of Computer-Aided Development of Metal Process Methods by Pressure-Shaping According to Any Set of Initial Restrictions. 1st International Conference Advances in Mechatronics: Book of Abstracts*, Trencin, Slovakia, 2006, p. 43.

14. Malina O.V., Efimova O.V. [Basic Concepts of Structural Synthesis of Material Objects within Solving the Problems of Structure Optimization of the Health Care System]. *Problems of Characterization Analysis and Logic Control: Academic Contributed Volume of Scientific Works*. Moscow, Moscow State University of Humanities and Economics Publ., 1999, pp. 239–248. (in Russ.)

*Received 12 September 2019*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Малина, О.В. Классификационные факторы процесса структурного синтеза дискретных объектов / О.В. Малина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 132–138. DOI: 10.14529/ctcr190413

### FOR CITATION

Malina O.V. Classification Factors of the Process of Structural Synthesis of Discrete Objects. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 132–138. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190413