

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 001.51

doi: 10.30987/2658-6436-2025-2-91-96

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА МЕТОДА ОБРАБОТКИ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Денис Владимирович Юдин^{1✉}, Александр Николаевич Феофанов²

^{1, 2} «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

¹ udindv@mail.ru

² feofanov.fan1@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в разработке функциональной модели автоматизированной системы выбора метода обработки и режущего инструмента. Данная система необходима для повышения качества и скорости разработки технологических процессов механической обработки деталей и снижения себестоимости производства при сохранении высокого качества продукции. Задача исследования состоит в проведении функционального моделирования, выполняемого на начальном этапе разработки автоматизированной системы, для определения иерархической структуры разрабатываемой автоматизированной системы и выявления внутренних взаимосвязей. При исследовании была использована методология структурного анализа, позволяющая рассматривать систему на разных уровнях абстрагирования. В рамках структурного анализа была применена технология функционального моделирования IDEF0. Новизна работы заключается в том, что в основе функциональной модели была использована классификация припуска, которая позволяет установить взаимосвязь между параметрами припуска, методами обработки и режущим инструментом. При разработке модели определены основные модули автоматизированной системы, точки интеграции с другими автоматизированными системами управления предприятия, входные и выходные данные. Результаты исследования могут быть использованы при разработке автоматизированных систем технологической подготовки производства. Дальнейшее развитие работы связано с разработкой алгоритмов реализации основных функций и создания баз данных припусков, методов обработки и режущего инструмента. Выводы. Построенная функциональная модель процессов в нотации IDEF0 позволила выявить управляющие воздействия и механизмы реализации процесса автоматизированного выбора методов обработки и режущего инструмента. Отображены взаимосвязи между процессами одного уровня. Определены потоки данных и логика выполнения процессов системы.

Ключевые слова: автоматизированная система, методы механической обработки, технологическая подготовка производства, функциональное моделирование

Для цитирования: Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Моделирование функционального состава автоматизированной системы выбора метода обработки и режущего инструмента // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2025. №2 (28). С. 91-96. doi: 10.30987/2658-6436-2025-2-91-96.

Original article

Open Access Article

MODELLING FUNCTIONAL COMPOSITION OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR SELECTING MACHINING METHOD AND CUTTING TOOL

Denis V. Yudin^{1✉}, Aleksander N. Feofanov²

^{1, 2} Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

¹ udindv@mail.ru

² feofanov.fan1@yandex.ru

Abstract. The aim of the study is to develop a functional model of an automated system for selecting a machining method and cutting tool. This system is necessary to improve the quality and speed of developing technological processes for machining parts and reducing production costs while maintaining high product quality. The objective of the study is to conduct functional modelling at the initial stage of developing an automated system to determine the hierarchical structure of the developed automated system and to identify internal relationships. The study uses the methodology of structural analysis, which allows considering the system at different abstraction levels. Within the framework of the structural analysis, the authors apply the IDEF0 functional modelling technology. The novelty of the work lies in basing the functional model on the allowance classification, which allows establishing the relationship between the parameters of the allowance, machining methods and the cutting tool. In developing the model, the authors determine the main modules of the automated system, integration points with the enterprise's other automated control systems, input and output data. The results of the study can be applied in developing automated systems for technological preparation of production. Further development of the work entails designing implementation algorithms for core functions and establishing databases for allowances, machining methods, and cutting tools. Conclusion states that the constructed functional model in IDEF0 notation allows identifying controlling influences and mechanisms for implementing the process of automatic choosing of machining methods and cutting tools. The paper displays interdependencies between the processes at one

level, determines data flows and logic for executing the system processes.

Keywords: automated system, machining methods, production engineering preparation, functional modelling

For citation: Yudin D.V., Feofanov A.N. Modelling Functional Composition of an Automated System for Selecting Machining Method and Cutting Tool. Automation and modeling in design and management, 2025, no. 2 (28). pp. 91-96. doi: 10.30987/2658-6436-2025-2-91-96.

Введение

В данной работе представлена функциональная модель процесса выбора в автоматизированном режиме методов обработки (МО) и режущего инструмента (РИ) в соответствии с параметрами удаляемого припуска. Функциональное моделирование является начальным этапом разработки автоматизированных систем (АС), т.к. оно позволяет определить иерархическую структуру, выявить взаимосвязи этапов подбора МО и РИ и определить управляющие воздействия и механизмы реализации автоматизируемого процесса.

Алгоритм подбора МО и РИ основывается на формализации припуска и его классификации, которая предоставляет возможность автоматизации разработки технологического процесса (ТП), а также унификации ТП, РИ, оборудования и технологического оснащения, применяемого при производстве [1].

Материалы, модели, эксперименты и методы

В данной работе использована методология структурного анализа. Методология основывается на применении отношения «целое-часть», что позволяет рассматривать систему на разных уровнях абстрагирования. На данном этапе анализируется не проблема, т.е. не причины ее возникновения или способы ее решения, а сама проблеморешающая система. Декомпозиция системы позволяет подробно рассмотреть, как она устроена, из чего состоит, как работает.

Методология структурного анализа использует функциональную декомпозицию. Система и ее подсистемы при этом рассматриваются как процессы, осуществляющие некоторые преобразования. Формируемое дерево процессов представляет собой модель функционального состава системы, т.к. выделение той или иной подсистемы осуществляется в соответствии с тем, какую функцию она должна выполнять, что она должна делать. То, как, каким образом, с помощью каких ресурсов подсистема выполняет свою функцию представляется в виде структурированного описания [2].

В рамках структурного анализа широкое применение получила методология моделирования из семейства *ICAM* (*Integrated Computer-Aided Manufacturing*).

IDEF – это технология функционального моделирования, разработанная в 1981 году американским департаментом военно-воздушных сил. Она используется для описания и анализа бизнес-процессов и систем. Основными аспектами и особенностями *IDEF0* являются:

– иерархическое моделирование. *IDEF0* позволяет создавать иерархические модели, где каждый уровень детализации представляет собой более детальное описание процессов;

– графическое представление. Модели *IDEF0* представляют собой графические диаграммы, которые показывают структуру и взаимосвязь бизнес-процессов одного уровня абстракции. Эти диаграммы состоят из блоков, представляющих функции, и стрелок, обозначающих входы, выходы, механизмы и управления;

– функциональные блоки. Каждый блок на диаграмме *IDEF0* представляет собой отдельную функцию или процесс. Блоки связаны между собой стрелками, которые показывают, как информация или материалы перемещаются между функциями.

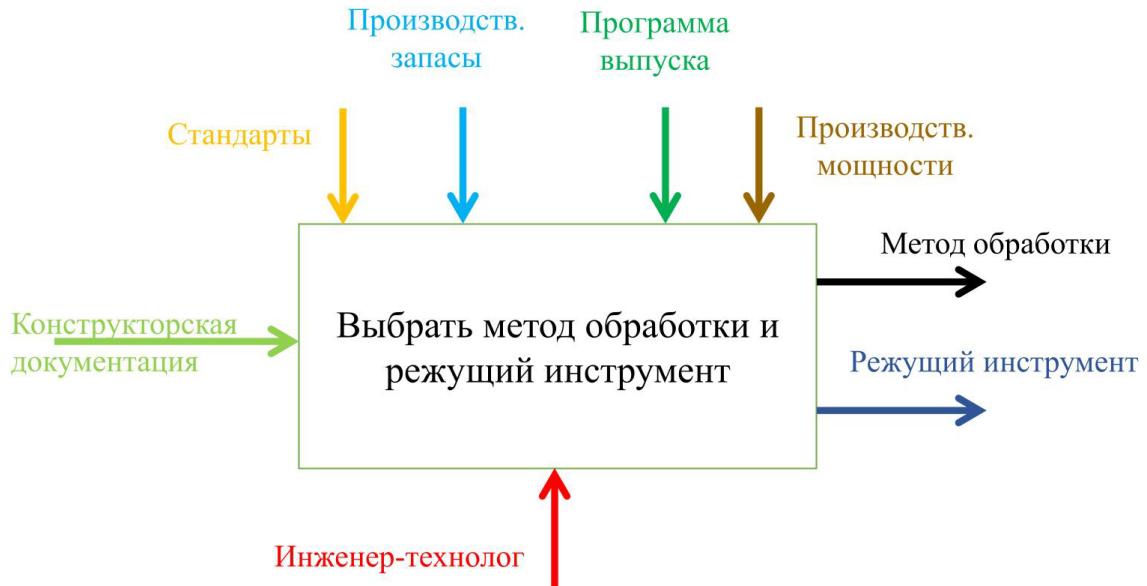
В методологии *IDEF0* используются четыре группы элементов, составляющих интерфейс функциональных блоков – вход, выход, механизм и управление [3].

В модели *IDEF0* между функциональными блоками показывают необходимые для его деятельности взаимосвязи. Степень детальности их описаний возрастает при переходе от верхних уровней к нижним. Таким образом происходит декомпозиция не только подсистем, но и связей.

Основным преимуществом методологий структурного анализа является наглядность представления структуры существующей, либо проектируемой системы. Основным недостатком – отсутствие средств отражения причинно-следственных связей между проблемой и средствами ее разрешения [4].

Результаты

Построение модели начинается с диаграммы верхнего уровня называемой контекстной диаграммой. Данная диаграмма состоит из единственного блока, отображающего систему в целом и дуги, связывающие систему с внешним окружением, а также содержит описание цели моделирования и точки зрения, с которой разрабатывается модель. Контекстная диаграмма системы выбора МО и РИ представлена на рис. 1.



Цель: повышение эффективности выбора метода обработки и режущего инструмента
Точка зрения: служба технологической подготовки предприятия

Рис. 1. Контекстная диаграмма процесса разработки ТП
Fig. 1. Context diagram of the technology development process

Схема показывает, что управляющее воздействие на этап выбора метода обработки и режущего инструмента оказывают не только параметры изготавливаемых изделий, но и данные поступающие из систем материального обеспечения и управления производством.

Проведена декомпозиция контекстной диаграммы для визуализации последовательности действий при выборе МО и РИ. Декомпозиция позволяет визуализировать принцип работы системы, опишет входы и выходы каждой функции и определит управляющие воздействия. Функциональная модель АС МО и РИ представлена на рис. 2.



Рис. 2. Функциональная модель АС МО и РИ
Fig. 2. Functional model of the automated system

Анализ функциональной модели АС МО и РИ показывает:

- существуют три основные функции АС, требующие алгоритмизации;
- точки интеграции АС с другими автоматизированными системами управления предприятия;
- входных и выходных данных для АС;
- необходимость разработки базы данных припусков, МО и РИ.

На рис. 3 – 5 представлена декомпозиция основных функций АС МО и РИ. Они представляют собой диаграммы нижнего уровня проектируемой АС

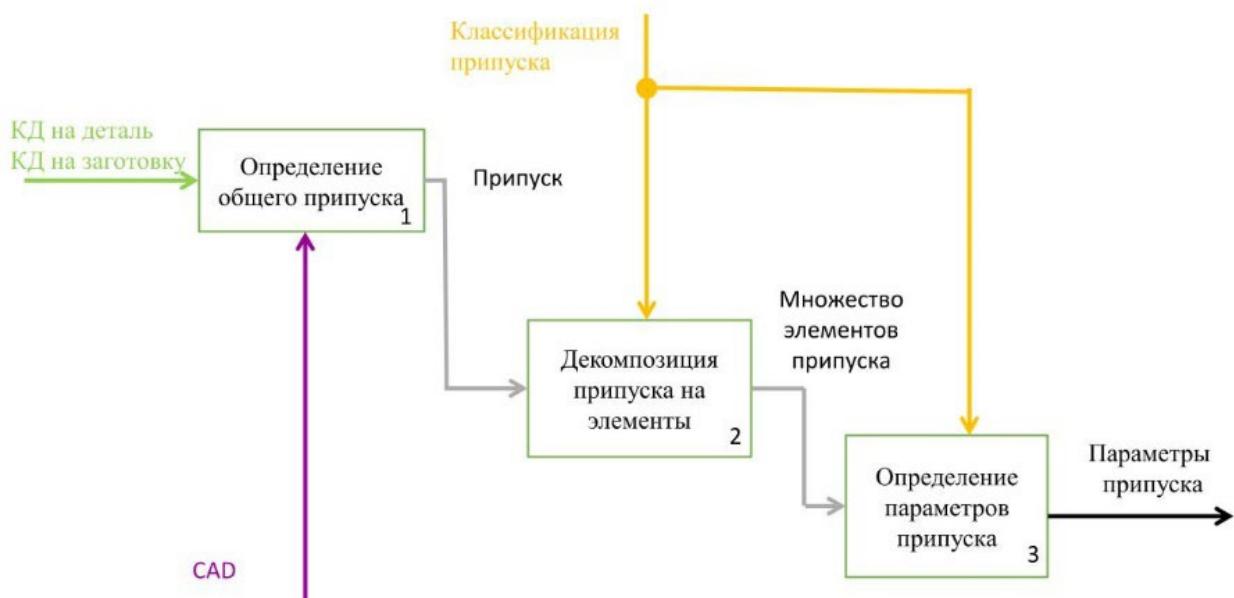


Рис. 3. Модель функции параметризации припуска
Fig. 3. Model of the allowance parameterisation function

На этапе 1 на основе 3D моделей детали и заготовки определяется общий припуск на деталь. Далее, на этапе 2, общий припуск декомпозируется на множество элементов, в соответствии с разработанной классификацией припуска. На этапе 3 каждому из элементов присваивается набор параметров однозначно его определяющих.

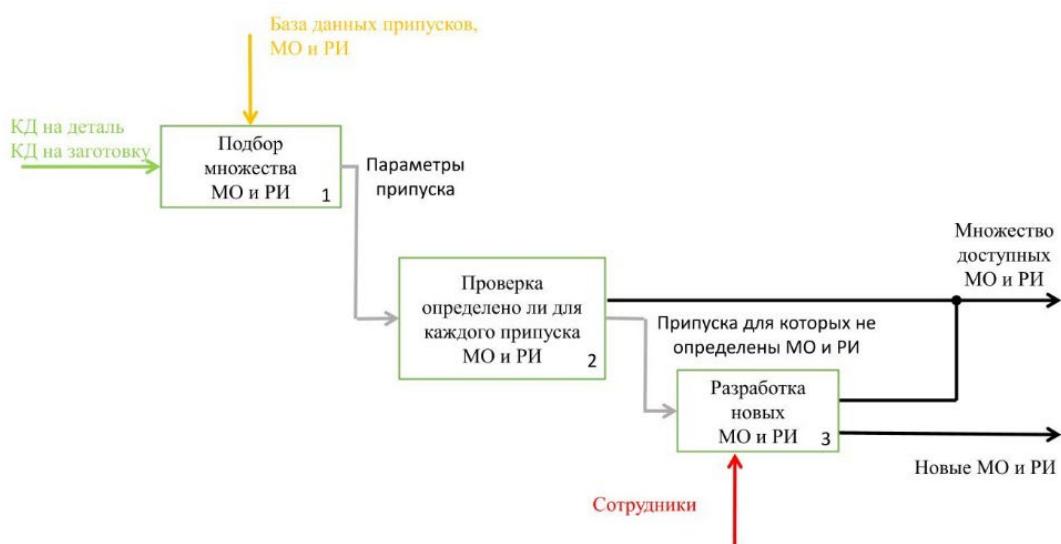


Рис. 4. Модель функции выбора множества МО и РИ
Fig. 4. Model of the selection function

Функция выбора множества МО и РИ выполняется за 3 этапа. На первом этапе, в соответствии с присвоенным каждому элементу множеству параметров выбирается множество

подходящих МО и РИ. Результатом данного этапа могут быть следующие случаи: элементу припуска подобран один МО и РИ, больше одного или нет подходящих вариантов. На втором этапе происходит отбор элементов припуска, для которых не существует подходящих МО и РИ, с последующей передачей их на третий этап. На данном этапе происходит разработка новых подходящих МО и РИ, ранее не включенных в заводскую базу данных

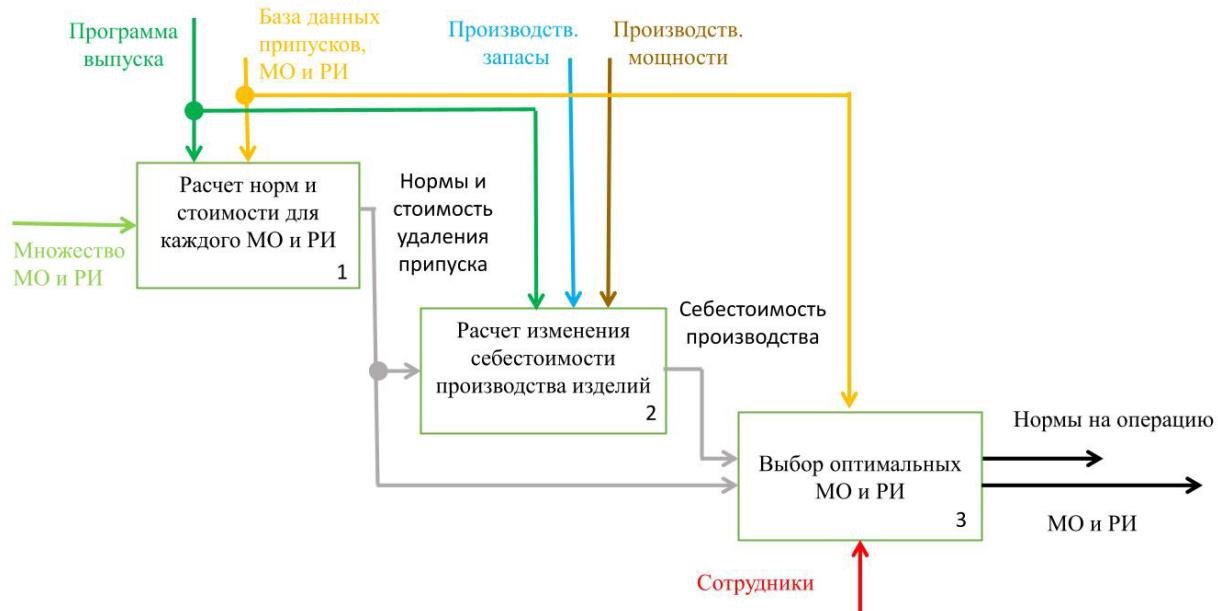


Рис. 5. Модель функции оптимизации выбора МО и РИ
Fig. 5. The model of the selection optimisation function

Функция оптимизации решает задачу по выбору МО и РИ из доступного множества вариантов, с целью формирования оптимального ТП. Под оптимальным ТП понимается процесс, при котором выбранная целевая функция принимает экстремальное значение. В качестве критерия оптимальности предполагается снижение себестоимости изготовления изделий. Для реализации данной функции на первом этапе происходит расчет стоимости каждого МО. На втором этапе происходит комплексная оценка влияния выбора конкретных МО и РИ на общую себестоимость производства. На третьем этапе на основе критериев оптимальности происходит выбор оптимального варианта.

Заключение

Полученная функциональная модель будет использована при разработке автоматизированной системы выбора методов обработки и режущего инструмента. В основе построения модели была использована взаимосвязь между параметрами припуска, методами обработки и режущим инструментом.

В модели показаны три основные функции АС: параметризация припуска, выбор допустимых МО и РИ, оптимизация выбора. Указанные функции необходимо математически formalизовать для реализации алгоритма функционирования системы. В работе выполнена декомпозиция функций АС и описаны этапы их реализации. Определены точки интеграции с другими автоматизированными системами управления предприятия, входные и выходные данные необходимые для функционирования системы.

Список источников:

1. Д.В. Юдин, А.Н. Феофанов Формализация припуска, удаляемого при обработке резанием, для решения задачи автоматизации разработки технологического процесса // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2024. – №3 (25).

References:

1. Yuodin D.V., Feofanov A.N. Formalizing the Allowance Removed During Cutting to Solve the Problem of Automating the Technological Process Development. Automation and Modelling in Design and Management. 2024;3(25).

2. Силич В.А., Силич М.П. Теория систем и системный анализ: учебное пособие. – Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 276 с.

3. Методология IDEF0. Стандарт. Русская версия. – М.: Метатехнология, 1993. – 107 с.

4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ: учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Изд-во Юрайт, 2025. – 562с.

2. Silich V.A., Silich M.P. Theory of Systems and System Analysis. Tomsk: Publishing House of National Research Tomsk Polytechnic University; 2011.

3. IDEF0 Methodology. Standard. Russian Version. Moscow: Metatechnology; 1993.

4. Volkova V.N., Denisov A.A. Theory of Systems and System Analysis. 3rd ed. Moscow: Publishing URAIT; 2025.

Информация об авторах:

Юдин Денис Владимирович
аспирант МГТУ «СТАНКИН»

Феофанов Александр Николаевич
Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной графики МГТУ «СТАНКИН», вице-президент академии проблем качества, отделение «Квалиметрия» «МГТУ «Станкин»

Information about the authors:

Yudin Denis Vladimirovich Postgraduate Student of Moscow State University of Technology «STANKIN»

Feofanov Aleksander Nikolaevich Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Engineering Graphics of Moscow State University of Technology «STANKIN», Vice President of the Academy of Quality Problems, of Qualimetry Division of Moscow State University of Technology «STANKIN»

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.04.2025; одобрена после рецензирования 30.04.2025; принята к публикации 15.05.2025.

The article was submitted 18.04.2025; approved after reviewing 30.04.2025; accepted for publication 15.05.2025.

Рецензент – Малаханова А.Г., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Malakhanova A.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

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: (4832) 56-02-61. E-mail: aim-pu@mail.ru

Вёрстка А.Г. Малаханова. Редактор Д.А. Петраченкова.

Сдано в набор 16.06.2025. Выход в свет 30.06.2025.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 11,16.

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

