

УДК 658.011.56

А. И. Коршунов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

СЛОЖНОСТЬ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ КАК ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается понятие сложной технической системы, а также методы оценки сложности технических систем такого рода, в том числе машиностроительного изделия как частного случая такой системы.

Ключевые слова: сложность технической системы, сложность машиностроительного изделия.

При решении задач проектирования и анализа технических и информационных систем зачастую возникают проблемы, связанные не только, точнее, не столько со свойствами и поведением отдельных элементов таких систем, сколько определяемые свойствами и поведением системы в целом. При этом под свойством будем понимать всякий существенный признак объекта [1]. В таком случае при анализе систем такого рода интерес представляют лишь те свойства элементов, которые определяют особенности взаимосвязи их с другими элементами или непосредственно влияют на характер поведения и свойства системы в целом.

Что касается определения собственно сложной технической системы, то однозначного мнения на этот счет на сегодняшний момент не существует.

Н. П. Бусленко [2] считает систему сложной, если она состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов и способна выполнять сложную функцию. Предложенные им агрегативные системы достаточно полно учитывают сложный иерархический характер взаимодействия элементов и по сути представляют собой математические схемы преобразования входных сигналов в выходные, при этом учитывается вероятностная природа функционирования реальных элементов [3].

А. В. Ильичев и В. А. Грушанский полагают систему сложной [4], если она представляет собой объединение элементов для достижения определенной цели. Объединение осуществляется с помощью связей соответствующей природы, при этом система должна обладать новым качеством, не свойственным отдельным элементам.

Лазарев И. А. определяет две формы проявления сложности как неотъемлемого свойства современных технических систем [5] – явную и неявную. Явную сложность предлагается оценивать объемом информации, необходимым для адекватного описания свойств рассматриваемой системы, что определяет ее зависимость от применяемого для описания системы формального языка. В таком случае снижение явной сложности может достигаться декомпозицией систе-

мы на отдельные компоненты и рассмотрением этих систем по частям.

Неявная сложность систем в таком случае характеризуется трудностями определения ожидаемых свойств и показателей качества проектируемых систем в целом по характеристикам их элементов, что связано с невозможностью сведения свойств системы к сумме свойств ее компонентов. Для снижения неявной сложности необходимо рассматривать проектируемую систему как целостную организацию во всем многообразии возможного ее пространственного, структурного и параметрического построения, так как только в этом случае могут быть определены условия достижения оптимального компромисса между характеристиками ее элементов. В результате снижение явной сложности проектируемой системы путем ее расчленения на компоненты приводит к увеличению ее неявной сложности.

Как уже было отмечено выше, определение сложной технической системы до настоящего момента не является устоявшимся и общепризнанным. Так, В. Хубка [1] предлагает термин «техническая система» использовать как обобщающий для всех видов машин, он также вводит классификацию машин по уровню сложности, определяя четыре класса: конструктивный элемент, деталь машины; подгруппа, группа, узел, механизм; машина, прибор, аппарат; установка, предприятие, промышленный комплекс.

Вопросы сложности применительно к методам формообразования сложных поверхностей деталей рассматривались В. А. Даниловым [6]. С использованием методов теории формообразования им предложены методы синтеза способов обработки сложных поверхностей как совокупность методов обработки, схем формообразования и обрабатывающих систем.

С целью повышения эффективности обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ методы теории сложности применил Э. А. Пиль [7]. Он предложил сложность изделия описывать множеством

$$СИ = \{ПС, КС, ТС, СМ, СР\}, \quad (1)$$

где ПС – программная сложность; КС – конструкторская сложность; ТС – технологическая сложность; СМ – сложность модернизации; СР – сложность ремонта.

Для оценки сложности технической системы Н. П. Бусленко [2], а также А. В. Ильичев и В. А. Грушанский [4] предлагают использовать формулу, учитывающую сложность составляющих ее элементов:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i k_i, \quad (2)$$

где i – количество типов элементов; s_i – сложность элемента i -го типа; k_i – число элементов i -го типа, входящих в систему.

Г. С. Колесников [8] при определении сложности системы предлагает также учитывать сложность связей между элементами системы:

$$C = (1 + v\alpha) \sum_{i=1}^n C_i k_i, \quad (3)$$

где $\alpha = \frac{2M}{N(N-1)}$, $N = \sum_{i=1}^n k_i$ – общее число элементов в системе; M – фактически реализованное в системе число связей; $\frac{N(N-1)}{\alpha}$ – максимальное число связей в системе; C_i – сложность элемента i -го типа; k_i – количество элементов i -го типа; v – коэффициент, учитывающий относительную сложность связей по сравнению со средней сложностью элементов.

В общем случае понятие сложности в настоящее время применительно к исследованию природных и техногенных систем используется достаточно активно, однако преимущественно носит качественный характер. С этой точки зрения системы могут подразделяться на три уровня сложности: простые, характеризующиеся малым числом параметров и высокой степенью детерминизма; организованной сложности, характеризующиеся значительным числом параметров и достаточно высокой степенью организованности; неорганизованной сложности, характеризующиеся большим числом параметров и случайным поведением [9].

Машиностроительное изделие также может рассматриваться в качестве сложной технической системы, обладающей всеми присущими последней свойствами. В соответствии с имеющимися представлениями [1, 2, 4] сложная техническая система есть совокупность взаимосвязанных между собой элементов, способна выполнять сложную функцию и характеризуется определенным поведением. Машиностроительное изделие в этом смысле может быть отнесено, соответственно, к системам организованной сложности. Рассмотрим структурную модель последнего, которая может быть использована для оценки его сложности с учетом составных элементов и соединяющих их связей [11].

В общем случае машиностроительное изделие представляет собой деталь D_i или сборочную единицу S_i , состоящую из отдельных деталей и входящих в нее сборочных единиц, объединенных в процессе сборки и монтажа с установлением соответствующих связей R_i . В общем случае машиностроительное изделие состоит из деталей, образующих исходное множество $D = \{D_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, и сборочных единиц, также представленных множеством $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, m\}$.

В этом контексте машиностроительная деталь D_i представляет собой первичный элемент, составляющий структуру машиностроительного изделия, как комплекс взаимосвязанных поверхностей, предназначенных для выполнения определенных функций, изготавливаемый из однородного материала без использования сборочных операций и характеризующийся определенной сложностью.

Сборочная единица, соответственно, представляет собой совокупность непосредственно входящих в нее сборочных единиц и деталей, агрегирующую их сложность: $S_i = D^i \cup S^i$, где $S^i = \{S_j | j = 1, 2, \dots, r\}$ – множество сборочных единиц, входящих непосредственно в сборочную единицу S_i , причем $S^i \subseteq S$; $D^i = \{D_j | j = 1, 2, \dots, l\}$ – множество деталей, входящих непосредственно в сборочную единицу S_i , причем $D^i \subseteq D$.

В таком случае машиностроительное изделие представляет собою сборочную единицу S_1 , состоящую как минимум из одной детали.

Если допустить, что рассматривается n классов машиностроительных деталей, составляющих некоторое множество $U = \{U_j | j = 1, 2, \dots, n\}$, то каждая деталь D_i может быть отнесена только к одному из рассматриваемых классов деталей $\forall D_i (D_i \in U_j)$.

Необходимо также определить множество параметров, позволяющих охарактеризовать машиностроительное изделие $P = \{P_i | i = 1, 2, \dots, k\}$, где каждый из параметров P_i характеризуется некоторым множеством значений $Pz^i = \{pz\}$, мощность которого специфична для каждого конкретного параметра.

В таком случае деталь, относящаяся к классу U_j , характеризуется некоторой совокупностью параметров $P^{U_j} = \{P_i^{U_j} | i = 1, 2, \dots, p\}$, где $P^{U_j} \subseteq P$, которые могут быть классифицированы как конструктивные ($PK^{U_j} \subseteq P^{U_j}$) или технологические ($PT^{U_j} \subseteq P^{U_j}$).

Аналогично, каждая сборочная единица также характеризуется определенными параметрами $P^S = \{P_i^S | i = 1, 2, \dots, m\}$, где $P^S \subseteq P$, которые могут

быть классифицированы как конструктивные ($PK^S \subseteq P^S$) или технологические ($PT^S \subseteq P^S$).

Структурная связь R_i между сборочной единицей S_j и деталью D_k представляет собой отношение $R_i(S_j, D_k)$. В данном случае будем учитывать, что рассматривается r классов отношений, составляющих некоторое множество $RU = \{RU_j | j = 1, 2, \dots, q\}$. Каждое отношение R_i может быть отнесено только к одному из рассматриваемых классов отношений ($R_i \in RU$) _{j} .

Таким образом, машиностроительная деталь D_i , относящаяся к классу U_j , представляет собой первичный элемент, составляющий структуру машиностроительного изделия, представленный кортежем $D_i = \langle P^{U_j} \rangle$, где $P^{U_j} = \{P_i^{U_j} | i = 1, 2, \dots, p\}$, соответственно, $P^{U_j} \subseteq P$.

Сборочная единица представляет собой кортеж вида $S_i = \langle P^i, S^i, D^i, R^i \rangle$, где, соответственно, $P^i = \{P_j^i | j = 1, 2, \dots, m\}$ – множество параметров сборочной единицы, $P^i \subseteq P$; $S^i = \{S_j | j = 1, 2, \dots, r\}$ – множество сборочных единиц, входящих непосредственно в сборочную единицу S_i , причем $S^i \subseteq S$; $D^i = \{D_j | j = 1, 2, \dots, l\}$ – множество деталей, входящих непосредственно в сборочную единицу S_i , причем $D^i \subseteq D$; $R^i = \{R_j^i | j = 1, 2, \dots, n\}$ – множество связей, существующих между деталями и сборочными единицами, непосредственно входящими в состав данной сборочной единицы.

Также для машиностроительного изделия определяется множество отношений $R = \bigcup_{i=1}^m R^i$, где m – количество сборочных единиц, входящих в изделие. Рассмотренное представление определяет формальную структуру машиностроительного изделия, формируя его структурно-иерархическую модель.

В соответствии с разработанной структурно-иерархической моделью степень детализации информации о структуре изделия и параметрах элемен-

тов его структуры зависит от условий решаемой задачи и конкретного этапа жизненного цикла, на котором она возникает.

Проведенное моделирование вычислительной сложности идентификации машиностроительного изделия в массиве данных с применением рассмотренной структурно-иерархической модели позволило сделать вывод, что при определенных условиях эта задача может становиться трансвычислительной с учетом ограничения пределом Бремерманна [9].

Таким образом, рассматривая задачу формирования модели машиностроительного изделия, его сложности, а в дальнейшем оценки затрат ресурсов на реализацию различных этапов его жизненного цикла, необходимо обеспечить снижение объема идентифицирующих и значимых параметров при условии обеспечения необходимой степени точности получаемых результатов оценивания.

Библиографические ссылки

1. Хубка В. Теория технических систем : пер. с нем. – М. : Мир, 1987. – 208 с.
2. Бусленко Н. П., Калашиников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. – М. : Советское радио, 1973. – 444 с.
3. Железнов И. Г. Сложные технические системы (оценка характеристик) : учеб. пособие для техн. вузов. – М. : Высш. шк., 1984. – 119 с.
4. Ильичев А. В., Грущанский В. А. Эффективность адаптивных систем. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.
5. Лазарев И. А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. – М. : Радио и связь, 1986. – 312 с.
6. Данилов В. А. Формообразующие обработки сложных поверхностей резанием. – Минск : Наука и техника, 1995. – 264 с.
7. Пиль Э. А. Повышение производительности обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ на основе теории сложности : дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1999. – 465 с.
8. Колесников Г. С. Моделирование сложных систем : учеб. пособие. – М. : МИРЭА, 1986. – 95 с.
9. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач : пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1990. – 544 с.
10. Колев К. С. Технология машиностроения : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 1977. – 256 с.
11. Якимович Б. А., Коршунов А. И., Кузнецов А. П. Теоретические основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур стратегий производственных систем машиностроения : монография. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. – 280 с.

A. I. Korshunov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

B. A. Yakimovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

Complexity of an Engineering Product as a Technical System

A concept of complexity of technical systems and methods of its evaluation including engineering products as a particular case are considered.

Key words: complexity of a technical system, complexity of an engineering product.