

ПРИМЕНЕНИЕ ПОНЯТИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ К ПРИБОРАМ ОХРАННО-ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

**И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены свойства, признаки, принципы сложных технических систем. Показано различие между теориями, описывающими сложные технические системы. На основе рассмотренной теории вводится показатель конструктивной организованности, рассчитанный на примере прибора охранно-пожарной сигнализации.

Ключевые слова: система, свойство, признак, принцип, теория, сложность, блок, среда, связь, информация, уровень, показатель, организованность

В настоящее время существует много определений сложных технических систем (СТС). Например, СТС называют такие системы, состоящие из большого количества элементов, функционирование которых трудно описать (моделировать) из-за множественных зависимостей между их частями и взаимодействия данной системы с окружающей средой [1, 2].

Они характеризуются следующими специальными свойствами: нелинейность, гетерогенность, неопределенность, адаптивность (элементы СТС находятся в состояниях, определяемых суммой их энтропий), самоорганизованность (способность изменять свои свойства и возвращаться в устойчивое состояние в результате внешних воздействий), интеллект, целостность (способность сохранять свои системные свойства), многомерность, многосвязность, многокритериальность, иерархичность (петли обратной связи) и др.

Сложность технического объекта описывается следующими признаками [3, 4]:

- наличием большого числа элементов, имеющих древовидную (иерархическую, графовую) структуру;
- выполнением количества числа разных функций, описываемых в явной и неявной формах, часто не поддающихся формализации, когда изменение одних переменных влечет за собой изменение других;
- возможностью деления вышестоящей системы на ее составляющие, подчинённые единой задаче функционирования всей системы;
- наличием целенаправленного воздействия как по горизонтали, так и по вертикали;
- наличием связи с окружающей средой при воздействии случайных факторов;

- стремлением к главной цели по выработке оптимальных решений на основе критериев эффективности;
- присутствием элементов автоматизации, базирующихся на различных математических методах и языках программирования.

Современные СТС работают с использованием следующих системных принципов:

- эмерджентности, заключающейся в том, что сумма свойств элементов СТС не равна свойствам целой системы;
- функциональной принадлежности каждого элемента к компоненту системы;
- структурного описания системы в виде блоков;
- прямой и обратной связи СТС с воздействиями окружающей внешней среды.

СТС используют во многих предметных областях, поэтому для них выделяют *общие*, связанные с системным анализом, теорией систем, и *специальные*, служащие базой изучения систем применительно к предметной области или специфическому взаимодействию их со средой, характеристики.

При этом между системным анализом и теорией сложных систем есть различие. Системный анализ исследует сложные системы как некоторую абстракцию одинаковую для разных предметных областей. Он исключает особенности СТС, сводя их к абстрактной и упрощенной модели, рассматривает системы упрощенно.

Понятие СТС изучают с применением подхода, рассматривающего вопросы отношения между частями системы, приводящими к ее общему поведению и изменению ее состояния. Данный подход также включает исследование того, как система взаимодействует с внешней средой. В изучении СТС одну из главных ролей играет структурный анализ и моделирование.

Теория сложных систем направлена на изучение сложности как главной их характеристики. Эта теория рассматривает факторы, влияющие и создающие сложность системы и приводящие к понятию распределенная система, которая связана с понятием сети или сетевой системы.

Если структура системы содержит большое количество узлов, то это является признаком сложности и дает основание использовать теорию «больших графов». СТС включают большое число узлов, имеющих определенные функции.

Сложность как отношение между системой и внешней средой некоторыми учеными трактуется как неограниченное количество возможностей, которые угрожают системе [1].

СТС структурно описывают один объект. Она более устойчивая и предсказуемая по сравнению с сетью. Для устойчивости и определенности СТС необходимо разбивать на блоки с уменьшением количества переходов между ними.

В представлении сложной системы блоки или компоненты являются объединениями элементов по общему функциональному назначению. Такое представление является физическим, поскольку компоненты или блоки системы можно представить как малые системы, имеющие общий вход и выход.

СТС являются этапом в развитии сложных систем и ближе относятся к области «больших данных», «больших графов», «больших сетей», чем к области общей теории систем.

Для описания современных сложных систем должна быть написана соответствующая теория, которая качественно отличается от общей теории систем. Например, различием является понятие редукции. В общей теории систем редукция – это механизм упрощения модели как замкнутой системы. В теории сложных социальных систем – редукция это механизм уменьшения внешних воздействий на открытую систему. Для теории сложных систем применимы принципы рефлексии и самореференции, коммуникации и дифференциации, которые в теории систем отсутствуют как таковые. Наконец для теории сложных систем применимо понятие и принцип аутопойезиса, который в теории систем представлен неявно и больше выражен в синергетической теории. В целом теория сложных систем ожидает дальнейшего анализа и развития. СТС являются разновидностью систем, которые попадают в теорию сложных систем.

Различие между сетью и СТС прослеживается при анализе энтропии этих объектов.

Современная СТС является информационно-технической и включает элементы искусственного и естественного интеллекта [5]. В то же время ее особенность состоит в том, что она не является полностью интеллектуальной системой, но содержит интеллект в отдельных блоках и в человеческом участии в работе. Поэтому аутопойезис СТС формируется на основе синтеза моделей саморазвития сложных систем и человеческого интеллекта.

Аутопойезис СТС имеет следующие свойства, заключающиеся в способности:

- формировать и развивать внутреннюю модель мира;
- извлекать знания и производить новые знания;
- моделировать;
- формировать собственные ресурсы;
- трансформировать неявные знания в явные.

При наличии аутопойезиса многие блоки СТС обладают внешним или внутренним интеллектом. Каждый блок может осуществлять информационное взаимодействие с другими блоками. Сообщество блоков выполняет взаимодействие с внешней средой. Интеллектуальный блок способен к саморазвитию и кооперации с другими блоками системы.

Блоки СТС, имеющие интеллект, с течением времени накапливают системные отличия и осуществляют системную дифференциацию. В них может накапливаться информационная асимметрия и нарушаться соответствие. При этом могут возникать новые целевые функции как результат саморазвития системы, которые требуют ее периодического обновления. Наличие таких блоков с интеллектом обеспечивает адаптивность СТС и ее саморазвитие. В силу модификации и их обновления реакция СТС на одинаковое воздействие внешней среды изменяется с течением времени.

Технический объект представляет собой совокупность отдельных частей, рассматривается как СТС, отдельные части которого функционируют в тесном взаимодействии и составляют общее целое.

Отражение внутренних свойств СТС может представляться в виде иерархичной структуры и разукрупнения элементов, которые затем объединяются в классы, называемые уровнями разукрупнения [6].

Вопрос разукрупнения разрабатываемого образца заказчиком обычно не обсуждается, а рассматривается со стороны разработчика, вследствие того, что в процессе решения практической задачи ему необходимо решать вопросы о числе уровней будущего изделия. Однако возникают ситуации, при которых заинтересованность заказчика становится очевидной. Это происходит в следующих случаях [7]:

- сложные технические изделия, эксплуатируемые человеком, требуют разделения его на составные части, в зависимости от возможностей и способностей обслуживающего персонала, так называемая эргономическая составляющая;
- разукрупнение способствует проведению работы в сжатые сроки, используя параллельный метод, что существенно при вводе в эксплуатацию новых образцов техники;
- детальное, формализованное представление основных, вспомогательных, главных, второстепенных функций изделия позволяет определить излишние, требующие больших денежных средств на их реализацию (например, используя давно апробированный аппарат различных морфологических методов проектирования: функций, дерева целей, функционально-стоимостного анализа и др.) [8].

Существуют различные варианты разукрупнения изделий. Некоторые подходы предлагают оценивать их сложность по количеству и составу уровней разукрупнения. Структурное дробление конструкции изделия охранно-пожарной сигнализации, имеющего достаточное число соединительных линий от них до охранных и пожарных извещателей по горизонтали и вертикали, зависит от принятого разработчиком способа разделения составных частей на каждом иерархическом уровне, предполагающем, что базовые (несущие) уровни (0 и 1) самые универсальные, а их составные части мало зависят от выполнения

изделием своих функций по назначению. Следующие уровни – более специализированные. Число уровней разукрупнения определит его конструктивную сложность.

При определении этапов подготовки производства необходимо оперативно производить оценку конструктивной сложности проектируемого образца. Она нужна для расчета стоимости разработки, учета трудовых и материальных затрат проектировщиков (разработчиков), выявления уровня технологичности изделия.

Показатель конструктивной сложности в этом случае должен удовлетворять следующим требованиям:

- универсальности, то есть возможности использовать предложенный метод оценки к различным видам объектов, входящим в них элементов независимо от способа их изготовления;
- объективности – численные значения характеристик должны определяться через их элементы;
- достоверности, то есть в реальности должен отражать сложность и основные свойства образца.

В некоторых работах количественную оценку данного показателя определяют на основе статистической информации путем построения корреляционных соотношений, в других – способом анализа трехмерной модели изделия без ее привлечения.

С учетом этого предлагается коэффициент конструктивной сложности представлять в виде количества информации об объекте:

$$K_{\text{сл}} = \frac{k \cdot \ln(N)!}{N}, \quad (1)$$

где k – постоянный коэффициент ($k = 1,44$); N – число составных частей в устройстве.

Так же при анализе сложного объекта необходимо рассматривать его структуру – количество составных частей и связи между ними.

Поэтому необходимо дополнительно ввести еще один коэффициент K_c , определяемый как:

$$K_c = \frac{M}{N}, \quad (2)$$

где M – количество связей в образце, характеризующие потоки информации, энергии, управления и взаимодействия (в случае составления диагностической программы, также потоки при коротком замыкании и обрыве цепи).

Тогда показатель конструктивной организованности может быть выражен следующим соотношением:

$$K_{\text{орг}} = K_{\text{сл}} \cdot K_c.$$

Для проверки работоспособности проведён расчёт абстрактного прибора охранно-пожарной сигнализации. Проведенный анализ структурной, принципиальной схем, принципа действия, технических решений показал, что $N = 30$, а $M = 54$.

Тогда согласно выражениям (1) и (2):

$$K_{\text{сл}} = \frac{1,44 \cdot \ln(30)!}{30} = 0,487, \quad \text{а } K_c = \frac{54}{30} = 1,80.$$

В итоге окончательное значение будет равно $K_{\text{орг}} = 0,487 \cdot 1,80 = 0,876$.

Таким образом, применение методологического аппарата СТС к приборам охранно-пожарной сигнализации позволил ввести понятие конструктивной организованности.

Предложенный способ определения показателя конструктивной организованности является достаточно простым и универсальным. Вместе с другими характеристиками он может быть использован для определения технического уровня разрабатываемых образцов техники.

Литература

1. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10. С. 670.
2. Bar-Yam, Yaneeer. General Features of Complex Systems // Encyclopedia of Life Support Systems. EOLSS UNESCO Publishers, Oxford, UK. Retrieved 16 September 2014.
3. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Особенности модификации процедур морфологического анализа технических систем // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 1 (45). С. 112–121.
4. Peine A. Technological paradigms and complex technical systems – the case of smart homes // Research Policy. 2008. Т. 37. № 3.
5. Разработка и применение специализированных информационно-обучающих порталов / Т.А. Кузьмина [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 4 (25). С. 101–106.
6. Giffin M. Change propagation analysis in complex technical systems // Journal of Mechanical Design. 2009. Т. 131. № 8.
7. Рыбин О.А., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к методологии создания современных образцов пожарной техники // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 4. С. 133–137.
8. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к созданию современных приборов приемно-контрольных пожарных // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 105–110.